

А.С. Кольцов Е.Д. Федорков

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Учебное пособие



Воронеж 2006

ГОУВПО
«Воронежский государственный технический
университет»

А.С. Кольцов Е.Д. Федорков

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Утверждено Редакционно-издательским советом
университета в качестве учебного пособия

Воронеж 2006

УДК 681.3:550.8 (075.80)

Кольцов А.С. Геоинформационные системы: учеб. пособие /А.С. Кольцов, Е.Д. Федорков. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2006. 203 с.

В учебном пособии изложены общие сведения о геоинформатике и геоинформационных системах (ГИС). Рассмотрены методы организации данных и представления пространственных объектов в ГИС, геоинформационные технологии построения карт геологического содержания и другие области использования ГИС-технологий, а также инструментальные средства ГИС. Охарактеризованы современные проблемно-ориентированные системы обработки и интерпретации геофизической и геохимической информации.

Издание соответствует требованиям Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению 230200 «Информационные системы», специальности 230202 «Информационные технологии в образовании», дисциплине «Геоинформационные системы».

Таблица 4. Ил.10. Библиогр.: 10.

Рецензенты: зам. директора концерна «Созвездие» по науке д-р техн. наук И.И Малышев
д-р техн. наук, проф. О.Н. Чопоров

- © Кольцов А.С., Федорков Е.Д., 2006
- © Оформление. ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2006

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. Информатизация общества	8
1.1. Понятие географических информационных систем	11
2. История развития геоинформационных систем.....	13
3. Задачи, решаемые ГИС	22
3.1. Связанные технологии.	24
3.2. Картография и геоинформатика.	25
4. Сферы и уровни использования ГИС.....	31
4.1. Геоинформационные системы ресурсного типа	32
4.2. Геоинформационное картографирование	36
4.3. Карты в сетях «интернета»	39
4.4. Основные понятия, использующиеся в географической информационной системе.....	42
5. Использование компьютеров для представления географических объектов	47
5.1. Векторная модель данных.....	47
5.2. Растровая модель данных	55
5.3. Модель данных триангулированная	58
нерегулярная сеть.....	58
5.4. Совместное использование трех моделей пространственных данных.....	60
5.5. Методы представления описательной информации	60
5.6. Сравнение пространственных моделей данных.....	63
5.7. Сравнение растровой и векторной моделей данных.....	63
5.8. Сравнение растровой и ТНС моделей данных	65
5.9. Как ARC/INFO применяет ключевые понятия пространственных данных.....	66
5.10. Вывод о возможности использования ГИС ARC/INFO для задач математического моделирования	67
6. Основные черты современной настольной ГИС.....	68
6.1. Понятие настольной ГИС	68
6.2. Типы пространственных данных	69
7. Технологии создания цифровых картографических данных. средства оцифровки карт с твердой основы	84

8. Введение в дистанционное зондирование.....	88
8.1. Особенности применения данных дистанционного зондирования при работе с геоинформационными системами	89
8.2. Источники пространственных данных	97
8.3. Восстановление (коррекция) видеоинформации	97
8.4. Предварительная обработка изображений	98
8.5. Классификация	99
8.6. Преобразование изображений	101
8.7. Специализированная тематическая обработка.....	102
8.8. Приобретение данных зондирования	110
9. Применение гис в различных отраслях	116
10. Влияние гис на развитие школьного образования.....	120
10.1. Применение ГИС в сфере образования	122
10.2. Использование ГИС для анализа приема абитуриентов в вузы региона.....	126
11. Основы системы gps.....	134
11.1. Спутниковая трилатерация	134
11.2. Спутниковая дальнометрия.....	136
11.3. Точная временная привязка	137
11.4. Расположение спутников	140
11.5. Коррекция ошибок	141
12. Введение в гис с применением gps.....	143
12.1. Сбор данных	143
12.2. Типы данных	144
12.2.1. Картографические данные.....	145
12.3. Структура данных	146
12.3.1. Топология.....	146
12.3.2. Слои.....	147
12.4. Анализ данных.....	148
12.5. Отображение данных	149
12.6. Управление данными	150
13. Сбор gps данных для ГИС.....	150
13.1. Что необходимо учитывать при сборе GPS данных? 150	
13.1.1. Объем работ и типы данных.....	150
13.1.2. Когда и где собирать данные?.....	152

13.1.3. Сбор данных в поле	153
13.1.4. Обработка данных	154
14. Точность gps измерений.....	155
14.1. Оборудование	155
14.1.1. Приёмники	155
14.1.2. Накопители данных	158
14.1.3. Спутники	159
14.2. Планирование проведения работ	163
14.2.1. Время, дата и место	163
14.2.2. Использование действующего альманаха.....	164
14.3. Параметры сбора данных	170
14.3.1. Маска PDOP (Position Dilution of Precision).....	170
14.3.2. Маска уровня сигнала (SNR).....	170
14.3.3. Режимы определения координат.....	171
14.3.4. Проблемы связанные с использованием.....	173
14.3.5. Маска по углу возвышения	174
14.4. Процедуры сбора данных.....	176
14.4.1. Тип измерений	177
14.4.2. Типы файлов	177
14.4.3. Интервал измерений	180
14.4.4. Субметровый уровень точности.....	181
14.4.5. Расстояние между базовой станцией и передвижным приёмником	182
14.5. Обработка измерений.....	182
14.5.1. Местоположение базовой станции.....	182
14.5.2. Использование техники дифференциальной коррекции	183
15. Исходные геодезические даты и системы координат.....	184
15.1. ИГД (Datums). Форма и размеры Земли могут быть описаны двумя способами	184
15.2. Системы координат.....	187
16. Математическая модель распространения загрязнений в атмосфере	189
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	204
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	204

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время значительное внимание уделяется вопросам охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. Для их решения необходим комплексный подход, который требует использования больших объемов экологической, картографической и другой количественной информации о состоянии компонент природной среды, что практически невозможно без применения развитых методов и средств информатики. Наиболее перспективными методами обработки и усвоения подобных объёмов информации, на сегодняшний день, являются методы, основанные на использовании компьютерных геоинформационных технологий. Использование геоинформационных систем (ГИС), позволяющих проводить одновременный анализ многомерных данных с использованием цифровых карт, упрощает процедуры экологического прогноза и оценку комплексного воздействия на природную среду, делает возможным оперативное выявление аномалий и принятие необходимых мер для их устранения.

Задачи математического моделирования процессов, происходящих в окружающей среде, требуют визуализации расчетных данных. Современные информационные системы, в частности ГИС, позволяют эту визуализацию осуществить, причем обмен данными между моделями и ГИС может быть двунаправлен. Начальные условия для модели, в частности, координаты объектов, могут быть получены из ГИС – систем. В свою очередь, ГИС – системы отображают результаты моделирования.

В настоящее время накоплен опыт в области связывания математической модели с геоинформационной системой, и такие разработки уже достаточно широко распространены. Однако существует необходимость в разработке инструмента для связывания моделей и ГИС, обладающего расширяемостью, то есть не привязанного к конкретной модели и/или конкретной географической области.

Очень важно разработать универсальный интерфейс для обмена данными между математическими моделями и ГИС.

Разработав такой интерфейс, его можно использовать для обмена данными с любой моделью. Для обеспечения взаимодействия между моделями и ГИС средствами упомянутого интерфейса, необходимо промежуточное звено – компьютерное приложение. Приложение должно иметь возможность работать с данными, хранящимися в геоинформационной системе.

1. ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБЩЕСТВА

Информатизация коснулась сегодня всех сторон жизни общества, и трудно, пожалуй, назвать какую-либо сферу человеческой деятельности - от начального школьного образования до высокой государственной политики, - где не ощущалось бы ее мощное воздействие. Информатика дышит в затылок всем наукам, догоняя и увлекая их за собой, преобразуя, а порой и поработавшая в стремлении к бесконечному компьютерному совершенству.

В науках о Земле информационные технологии породили геоинформатику и географические информационные системы (ГИС), причем слово "географические" обозначает в данном случае не столько "пространственность" или "территориальность", а скорее комплексность и системность исследовательского похода.

Первые ГИС были созданы в Канаде и США в середине 60-х годов, а сейчас в промышленно развитых странах существуют тысячи ГИС, используемых в экономике, политике, экологии, управлении ресурсами и охране природы, кадастре, науке и образовании. ГИС охватывают все пространственные уровни: глобальный, региональный, национальный, локальный, муниципальный, интегрируя разнообразную информацию о нашей планете: картографическую, данные дистанционного зондирования, статистику и переписи, кадастровые сведения, гидрометеорологические данные, материалы полевых экспедиционных наблюдений, результаты бурения и подводного зондирования.

В создании ГИС участвуют международные организации (Организация объединенных наций, Программа по окружающей среде, Продовольственная программа), правительственные учреждения, министерства и ведомства, картографические, геологические и земельные службы, статистические управления, частные фирмы, научно-исследовательские институты и университеты. На разработку ГИС ассигнуют значительные финансовые средства, в деле участвуют целые отрас-

ли промышленности, создается разветвленная геоинформационная инфраструктура, сопряженная с телекоммуникационными сетями.

Во многих странах образованы национальные и региональные органы, в задачи которых входит развитие ГИС и автоматизированного картографирования, формирование государственной политики в области геоинформатики, национального планирования, сбора и распространения информации, включая и исследование правовых проблем, связанных с владением и передачей географической информации, с ее защитой. Федеральная программа России предусматривает создание цифровых и электронных карт масштабов 1 : 10 000 - 1 : 1 000 000 и банков данных для этих карт, разработку ГИС различного ранга и назначения (для органов государственного управления, для демаркации границ России, региональных ГИС по Северу, Байкалу, муниципальных, территориальных и отраслевых ГИС).

В Москве сформирован первый Российский научно-производственный центр геоинформации (Росгеоинформ). Одновременно развернуты региональные производственные центры в Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, Новосибирске, Иркутске и Хабаровске. При создании разветвленной ГИС-инфраструктуры к этим центрам предполагается привязать местные и отраслевые ГИС разной проблемной ориентации, а также центры сбора и обработки аэрокосмической информации. В сеть ГИС России обязательно должны быть включены научные и научно-производственные базы и банки тематических данных, существующие в институтах Академии наук, вузах, отраслевых учреждениях и ведомствах.

Сущность ГИС состоит в том, что она позволяет так или иначе собирать данные, создавать базы данных, вводить их в компьютерные системы, хранить, обрабатывать, преобразовывать и выдавать по запросу пользователя чаще всего в картографической форме, а также в виде таблиц, графиков, текстов.

Повсеместность использования ГИС привела к многообразию толкований самого понятия. В научной литературе быту-

ют десятки определений ГИС, в них отмечается, что ГИС - это аппаратно-программный и одновременно 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 задач, связанных с инвентаризацией, анализом, моделированием, прогнозированием и управлением окружающей средой и территориальной организацией общества [5]. Такая несколько тяжеловесная дефиниция верно отражает многие свойства ГИС, используемых в географии, геологии, экологии и других отраслях знания, но все же не является исчерпывающей. Попытка охватить в определении все функциональные, технологические и прикладные свойства ГИС неизбежно оборачивается неполнотой. Можно предложить несколько других толкований, характеризующих разные аспекты ГИС [1].

С научной точки зрения ГИС - это средство моделирования и познания природных и социально-экономических систем. ГИС применяется для исследования всех тех природных, общественных и природно-общественных объектов и явлений, которые изучают науки о Земле и смежные с ними социально-экономические науки, а также картография, дистанционное зондирование. В технологическом аспекте ГИС (ГИС-технология) предстает как средство сбора, хранения, преобразования, отображения и распространения пространственно-координированной географической (геологической, экологической) информации. И наконец, с производственной точки зрения ГИС является комплексом аппаратных устройств и программных продуктов (ГИС-оболочек), предназначенных для обеспечения управления и принятия решений, причем важнейший элемент этого комплекса - автоматические картографические системы. Таким образом, ГИС может одновременно рассматриваться как инструмент научного исследования, технология и продукт ГИС-индустрии. Это достаточно типичная ситуация на современном уровне научно-

технического прогресса, характеризующегося интеграцией науки и производства.

1.1. Понятие географических информационных систем

Начнем с простейших понятий:

СИСТЕМА - это группа взаимосвязанных элементов и процессов,

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА - это система, выполняющая процедуры над данными для получения информации, полезной для принятия решений

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА - это информационная система, использующая географически координированные данные

К **ГЕОГРАФИЧЕСКИ КООРДИНИРОВАННЫМ ДАННЫМ** (Geographically referenced data) относятся:

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

А теперь постараемся дать строгое определение геоинформационной системы:

ГИС – это система аппаратно-программных средств и алгоритмических процедур, созданная для цифровой поддержки, пополнения, управления, манипулирования, анализа, математико-картографического моделирования и образного отображения географических координированных данных.

Что же подразумевают люди, когда они думают, что говорят о ГИС?

На самом деле, очень разное.

Что это, например:

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

Что безусловно отличает ГИС от иных информационных систем? ГИС:

- Обеспечивает взаимосвязь между любыми количественными и качественными характеристиками географических объектов и явлений, представленных в базе данных в виде точек, линий, площадей и равномерных сеток;
- Содержит алгоритмы анализа пространственно координированных данных;

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

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

2. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

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

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

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

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

В истории развития геоинформационных систем можно выделить четыре периода

Таблица 1

Периоды развития геоинформационных систем

Пионерный период поздние 1950 - ран- ние 1970	Исследование принципиальных воз- можностей, пограничных областей зна- ний и технологий, наработка эмпириче- ского опыта, первые крупные проекты и теоретические работы
Период государ- ственных инициа- тив ранние 1970 - ранние 1980	Развитие крупных геоинформационных проектов поддерживаемых государ- ством, формирование государственных институтов в области ГИС, снижение роли и влияния отдельных исследовате- лей и небольших групп
Период коммерче- ского развития ран- ние 1980 - настоя- щее время	Широкий рынок разнообразных про- граммных средств, развитие настольных ГИС, расширение области их примене- ния за счет интеграции с базами непро- странственных данных, появление сете- вых приложений, появление значитель- ного числа непрофессиональных поль- зователей, системы, поддерживающие индивидуальные наборы данных на от- дельных компьютерах, открывают путь системам, поддерживающим корпора- тивные и распределенные базы геодан- ных

Продолжение табл. 1

<p>Пользовательский период поздние 1980 - настоящее время</p>	<p>Повышенная конкуренция среди коммерческих производителей геоинформационных технологий услуг дает преимущества пользователям ГИС, доступность и "открытость" программных средств позволяет использовать и даже модифицировать программы, появление пользовательских "клубов", телеконференций, территориально разобщенных, но связанных единой тематикой пользовательских групп, возросшая потребность в геоданных, начало формирования мировой геоинформационной инфраструктуры</p>
<p>Пионерный период Поздние 1950 - ранние 1970</p>	<p>Исследование принципиальных возможностей, пограничных областей знаний и технологий, наработка эмпирического опыта, первые крупные проекты и теоретические работы</p>

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

Большое влияние в этот период оказывают теоретические работы в области географии и пространственных взаимосвязей, а также становление количественных методов в географии в

США, Канаде, Англии, Швеции (работы У.Гаррисона (William Garrison), Т.Хагерстранда (Torsten Hagerstrand), Г.Маккарти (Harold McCarty), Я.Макхарга (Ian McNarg)).

Первый безусловный крупный успех становления геоинформатики и ГИС - это разработка и создание Географической Информационной Системы Канады (Canada Geographic Information System, CGIS). Начав свою историю в 60-х годах, эта крупномасштабная ГИС поддерживается и развивается по сей день. "Отцом" ГИС Канады считается Роджер Томлинсон (Roger Tomlinson), под руководством которого были разработаны и реализованы многие концептуальные и технологические решения.

Назначение ГИС Канады состояло в анализе многочисленных данных, накопленных Канадской службой земельного учета (Canada Land Inventory), и в получении статистических данных о земле, которые бы использовались при разработке планов землеустройства огромных площадей преимущественно сельскохозяйственного назначения.

Для этих целей требовалось создать классификацию использования земель, используя данные по сельскохозяйственной, рекреационной, экологической, лесохозяйственной пригодности земель, отразить сложившуюся структуру использования земель, включая землепользователей и землевладельцев.

Наиболее узким местом проекта являлось обеспечение эффективного ввода исходных картографических и тематических данных. Для этого разработчикам ГИС Канады, не имевшим опыта по внутренней организации больших массивов пространственных данных, потребовалось создать новую технологию, ранее нигде не применявшуюся, позволяющую оперировать отдельными слоями и делать картометрические измерения. Для ввода крупноформатных земельных планов было даже спроектировано и создано специальное сканирующее устройство.

Что же принципиально нового внесли создатели ГИС Канады в становление и развитие ГИС-технологий?

- Использование сканирования для автоматизации процесса ввода геоданных
- Расчленение картографической информации на тематические слои и разработка концептуального решения о "таблицах атрибутивных данных", что позволило разделить файлы плановой (геометрической) геоинформации о местоположении объектов и файлы, содержащие тематическую (содержательную) информацию об этих объектах.
- Функции и алгоритмы оверлейных операций с полигонами, подсчет площадей и других картометрических показателей.

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

Программное обеспечение Гарвардской лаборатории широко распространялось и помогло создать базу для развития многих ГИС-приложений. Именно в этой лаборатории Дана Томлин (Dana Tomlin) заложила основы картографической алгебры, создав знаменитое семейство растровых программных средств Map Analysis Package - MAP, PMAP, aMAP.

Благодаря работам Гарвардской лаборатории в области компьютерного картографирования была окончательно закреплена ведущая роль, которую играют картографические модели данных, картографический метод исследований, картографические способы представления информации в современных геоинформационных системах.

Наиболее известными программными продуктами Гарвардской лаборатории являются:

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

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

Потребовалась методика, обеспечивающая корректную географическую "привязку" данных переписи. Основной проблемой стала необходимость конвертирования адресов проживания населения, присутствовавших в анкетах переписи, в географические координаты таким образом, чтобы результаты переписи можно было бы оформлять в виде карт по территориальным участкам и зонам Национальной переписи.

Для этих целей Национальное Бюро Переписей США (U.S. Census Bureau) разработало комплексный подход к "географии переписей" и 1970 год - год очередной Национальной Переписи США, проводимой раз в десять лет - впервые стал годом "географически локализованной переписи"

Был разработан специальный формат представления картографических данных DIME (Dual Independent Map Encoding), для которого были определены прямоугольные координаты перекрестков, разбивающих улицы всех населенных пунктов США на отдельные сегменты.

Алгоритмы обработки и представления картографических данных были заимствованы у разработчиков ГИС Канады и Гарвардской лаборатории и оформлены в виде программы POLYVRT, осуществляющей конвертирование адресов проживания в соответствующие координаты, описывающие географические сегменты улиц.

Таким образом, в этой разработке впервые был широко использован топологический подход к организации управления географической информацией, содержащий математический способ описания пространственных взаимосвязей между объектами

Создание, государственная поддержка и обновление DIME-файлов стимулировали также развитие экспериментальных работ в области ГИС, основанных на использовании баз данных по уличным сетям:

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

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

Пользовательский период поздние 1980 - настоящее время

В этот период пример нового отношения к пользователям показали разработчики и владельцы геоинформационного программного продукта GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) для рабочих станций, созданного американскими военными специалистами (Army Corps of Engineers) для задач планирования природопользования и землеустройства.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

имеет свой опыт развития геоинформационных систем и технологий

3. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ГИС

ГИС общего назначения, в числе прочего, обычно выполняет пять процедур (задач) с данными: ввод, манипулирование, управление, запрос и анализ, визуализацию.

Ввод. Для использования в ГИС данные должны быть преобразованы в подходящий цифровой формат. Процесс преобразования данных с бумажных карт в компьютерные файлы называется оцифровкой. В современных ГИС этот процесс может быть автоматизирован с применением сканерной технологии, что особенно важно при выполнении крупных проектов, либо, при сравнительно небольшом объеме работ, данные можно вводить с помощью дигитайзера. Некоторые ГИС имеют встроенные векторизаторы, автоматизирующие процесс оцифровки растровых изображений. Многие данные уже переведены в форматы, напрямую воспринимаемые ГИС-пакетами.

Манипулирование. Часто для выполнения конкретного проекта имеющиеся данные нужно дополнительно видоизменить в соответствии с требованиями вашей системы. Например, географическая информация может быть в разных масштабах (осевые линии улиц имеются в масштабе 1: 100 000, границы округов переписи населения - в масштабе 1: 50 000, а жилые объекты - в масштабе 1: 10 000). Для совместной обработки и визуализации все данные удобнее представить в едином масштабе и одинаковой картографической проекции. ГИС-технология предоставляет разные способы манипулирования пространственными данными и выделения данных, нужных для конкретной задачи.

Управление. В небольших проектах географическая информация может храниться в виде обычных файлов. Но при увеличении объема информации и росте числа пользователей для хранения, структурирования и управления данными эффективнее применять системы управления базами данных (СУБД), специальные компьютерные средства для работы с интегрированными наборами данных (базами данных). В ГИС

наиболее удобно использовать реляционную структуру, при которой данные хранятся в табличной форме. При этом для связывания таблиц применяются общие поля. Этот простой подход достаточно гибок и широко используется во многих, как ГИС, так и не ГИС приложениях.

Запрос и анализ. При наличии ГИС и географической информации, Вы сможете получать ответы как на простые вопросы (Кто владелец данного земельного участка? На каком расстоянии друг от друга расположены эти объекты? Где расположена данная промзона?), так и на более сложные, требующие дополнительного анализа, запросы (Где есть места для строительства нового дома? Каков основной тип почв под еловыми лесами? Как повлияет на движение транспорта строительство новой дороги?). Запросы можно задавать как простым щелчком мышью на определенном объекте, так и посредством развитых аналитических средств. С помощью ГИС можно выявлять и задавать шаблоны для поиска, проигрывать сценарии по типу "что будет, если...". Современные ГИС имеют множество мощных инструментов для анализа, среди них наиболее значимы два: анализ близости и анализ наложения. Для проведения анализа близости объектов относительно друг друга в ГИС применяется процесс, называемый буферизацией. Он помогает ответить на вопросы типа: Сколько домов находится в пределах 100 м от этого водоема? Сколько покупателей живет не далее 1 км от данного магазина? Какова доля добытой нефти из скважин, находящихся в пределах 10 км от здания управления данного НГДУ? Процесс наложения включает интеграцию данных, расположенных в разных тематических слоях. В простейшем случае это операция отображения, но при ряде аналитических операций данные из разных слоев объединяются физически. Наложение, или пространственное объединение, позволяет, например, интегрировать данные о почвах, уклоне, растительности и землевладении со ставками земельного налога.

Визуализация. Для многих типов пространственных операций конечным результатом является представление данных

в виде карты или графика. Карта - это очень эффективный и информативный способ хранения, представления и передачи географической (имеющей пространственную привязку) информации. Раньше карты создавались на столетия. ГИС представляет новые удивительные инструменты, расширяющие и развивающие искусство и научные основы картографии. С ее помощью визуализация самих карт может быть легко дополнена отчетными документами, трехмерными изображениями, графиками, таблицами, диаграммами, фотографиями и другими средствами, например, мультимедийными.

3.1. Связанные технологии.

ГИС тесно связана с рядом других типов информационных систем. Ее основное отличие заключается в способности манипулировать и проводить анализ пространственных данных. Хотя и не существует единой общепринятой классификации информационных систем, приведенное ниже описание должно помочь дистанцировать ГИС от настольных картографических систем (desktop mapping), систем САПР (CAD), дистанционного зондирования (remote sensing), систем управления базами данных (СУБД или DBMS) и технологии глобального позиционирования (GPS).

Системы настольного картографирования используют картографическое представление для организации взаимодействия пользователя с данными. В таких системах все основано на картах, карта является базой данных. Большинство систем настольного картографирования имеет ограниченные возможности управления данными, пространственного анализа и настройки. Соответствующие пакеты работают на настольных компьютерах - PC, Macintosh и младших моделях UNIX рабочих станций.

Системы САПР способны создавать чертежи проектов, планы зданий и инфраструктуры. Для объединения в единую структуру они используют набор компонентов с фиксирован-

ными параметрами. Они основываются на небольшом числе правил объединения компонентов и имеют весьма ограниченные аналитические функции. Некоторые системы САПР расширены до поддержки картографического представления данных, но, как правило, имеющиеся в них утилиты не позволяют эффективно управлять и анализировать большие базы пространственных данных.

Дистанционное зондирование и GPS. Методы дистанционного зондирования - это искусство и научное направление для проведения измерений земной поверхности с использованием сенсоров, таких как различные камеры на борту летательных аппаратов, приемники системы глобального позиционирования или других устройств. Эти датчики собирают данные в виде наборов координат или изображений (в настоящее время преимущественно цифровых) и обеспечивают специализированные возможности обработки, анализа и визуализации полученных данных. Ввиду отсутствия достаточно мощных средств управления данными и их анализа, соответствующие системы в чистом виде, то есть без дополнительных функций, вряд ли можно отнести к настоящим ГИС.

Системы управления базами данных (СУБД) предназначены для хранения и управления всеми типами данных, включая географические (пространственные) данные. СУБД оптимизированы для подобных задач, поэтому во многие ГИС встроена поддержка СУБД. Эти системы в массе своей не имеют сходных с ГИС инструментов для анализа и визуализации.

Системы спутниковой навигации: ГЛОНАСС и GPS. Практическое ориентирование на местности с помощью спутниковых навигаторов. Технология глобального позиционирования [1,4, 5, 6, 8].

3.2. Картография и геоинформатика.

Одно из распространенных определений ГИС звучит следующим образом: «Географическая информационная система

(ГИС) определяется как программно-аппаратный комплекс, способный вводить, хранить, обновлять, манипулировать, анализировать и выводить все виды географически привязанной информации».

Структура ГИС, как правило, включает четыре обязательные подсистемы:

- Ввода данных, обеспечивающую ввод и/или обработку пространственных данных, полученных с карт, материалов ДЗЗ и т.д.;
- Хранения и поиска, позволяющую оперативно получать данные для соответствующего анализа, актуализировать и корректировать их;
- Обработки и анализа, которая дает возможность оценивать параметры, решать расчетно-аналитические задачи;
- Представления (выдачи) данных в различном виде (карты, таблицы, изображения, блок-диаграммы, цифровые модели местности и т.д.)

Таким образом, создание карт в круге «обязанностей» ГИС занимает далеко не первое место. Это вполне понятно – для того, чтобы получить твердую копию карты совершенно не нужна большая часть функций ГИС, или они применяются опосредовано. Тем не менее, как в мировой, так и в отечественной практике, ГИС широко используются именно для подготовки карт к изданию и, в меньшей степени, для аналитической обработки пространственных данных или управления потоками товаров и услуг. Под изданием, в данном случае, понимается получение твердой копии любым способом, необязательно офсетным.

Использование ГИС в картопостроении порождает как новые возможности, так и новые проблемы. Сначала рассмотрим характерные черты издания карт до начала применений компьютерных технологий.

Традиционный способ подготовки карт к изданию включал несколько этапов коррекции и контроля качества, как содержания, так и формы представления (символизации). Само

производство характеризовалось длительным сроком и высокой трудоемкостью. Все этапы контроля информации были ручными и требовали штата квалифицированных редакторов. На подготовку таких специалистов уходили годы.

ГИС значительно ускоряет многие этапы подготовки карт. Проанализируем этапы подготовки карт с помощью ГИС.

1. Подготовка цифровых моделей карт. Необходимые операции на этом этапе включают подготовку (выбор) математической основы (проекции), базовых слоев (как правило, это элементы топоосновы) и тематических слоев. Обязательным условием получения качественной цифровой модели должно быть наличие процедур автоматической верификации всех слоев (геометрии и атрибутики). К сожалению, на протяжении ряда лет наблюдается либо полное отсутствие таких процедур, либо их зачаточное состояние. Действующие стандарты на цифровое представление картографической информации подробно описывают атрибутивную часть (классификатор), но часто не предусматривают требований на топологические соотношения различных слоев, либо только декларируют такие требования. Более того, модели данных, заложенные в ряде действующих требований и стандартов (например, в МПР РФ), затрудняют создание таких процедур. Средства и формы представления картографической информации в ГИС также не обеспечивают полного топологического контроля.

Автор возлагает определенные надежды на возможности, заложенные в новых продуктах ESRI - объектное представление и задание «правил поведения» объектов. Однако пока не было представлено ни одной разработки, обеспечивающей полную верификацию цифровой модели. Был представлен ряд упрощенных моделей данных для линейных сетей, состоящих из различных элементов (нефтепроводы, инженерные сети), но пока нет модели, включающей большое количество разнообразных типов объектов, связанных между собой и по геометрии, и по атрибутике.

2. Символизация цифровой модели (подготовка полотна карты). Этот этап содержит, прежде всего, назначение стилей

отрисовки для различных картографических элементов и автоматическое присвоение стилей объектам карты в зависимости от атрибутов. Наличие фиксированных наборов символов для отображения картографических элементов, с одной стороны, ускоряет получение макетов, с другой стороны, эти наборы символов достаточно бедны для отображения всего разнообразия картографических элементов. Разработка новых символов бывает затруднена и трудоемка, сама кажущаяся легкость картопостроения в ГИС не располагает к кропотливой работе по созданию новых символов. Часть символов, необходимых для полной передачи атрибутивной информации по объекту, создать средствами формирования символов ГИС просто невозможно (например, многоцветный маркер). Приходится пользоваться графическими элементами, что затруднительно по сравнению с графическими пакетами общего назначения. Также не реализована символизация объекта по нескольким атрибутам одновременно. Механизм, заложенный в ArcMap, не является полноценным паллиативным решением, работающим через полное произведение значений атрибутов.

Цифровая модель и полотно карты для визуализации или печати – далеко не одно и то же. Размещение многочисленных текстовых элементов на карте делается вручную. Отдельные приложения для автоматического размещения подписей в ГИС распространены мало, а имеющиеся в составе ГИС не дают качественного результата и требуют ручной коррекции. Кроме того, многие элементы цифровой модели подвергаются при визуализации смещению, разрежению или снятию. Типичный пример - подписи изолиний и сгущения изолиний. Эти редакции, в основном, делаются вручную.

3.Зарамочное оформление. Значительная часть проблем с подготовкой карт только начинается с завершением подготовки полотна карты. Зарамочное оформление включает самые разнообразные графические элементы. В этом случае инструментарий, предлагаемый большинством ГИС (продукты ESRI не исключение), совершенно недостаточен. Необходимо создание надстроек и пользовательских приложений для ГИС

для построения элементов зарамочного оформления. Автор знаком как минимум с пятью версиями построения рамки топоосновы для проекции Гауса-Крюгера, написанными на Avenue. Широко известен инструментарий, созданный Е. Ханжияном в 1996 г., для оформления геологических карт. Есть и много новых разработок. Это говорит прежде всего о том, что базовые средства ArcView совершенно недостаточны для оформления карты. Любой графический векторный редактор значительно превосходит любую ГИС по возможностям и удобству редактирования графики (растровой и векторной).

Наиболее распространенный вариант - передача полотна карты тем или иным способом в графический редактор общего назначения (CorelDraw, Adobe Illustrator, FreeHand). Единичны случаи подготовки карт к полиграфическому изданию полностью в среде ГИС.

4. Подготовка и печать твердой копии. Последний этап при подготовке твердой копии включает прямую печать макета на принтерах или получение промежуточного графического файла (обычно на языке PostScript) для последующей растеризации и вывода. Карты отличаются большим объемом векторной информации, что часто вызывает проблемы на этапе растеризации (в драйвере устройства, на программном или аппаратном растеризаторе). К сожалению, отмечается низкое качество PostScript-файлов, получаемых с помощью экспорта в ArcView и ArcInfo. Так, при наличии в Виде растровых тем, корректный PostScript получить нельзя. Постоянно возникают проблемы с растровыми и векторными образцами для заполнения векторных полигональных объектов. Также следует отметить отсутствие режимов предварительного просмотра и недостаточное количество сервисных функций при выводе на печать.

Выводы. Вышеизложенное не является призывом к отказу от ГИС в картографии, а лишь обращает внимание на те проблемы, которые возникают при их использовании. Следует более четко определить место ГИС в процессе картосоставления и издания. Возможны два различных пути развития:

1. Обеспечение полной технологической цепочки в ГИС. Это потребует существенного совершенствования средств редактирования и графического оформления, приведения средств графического редактирования к сложившимся стандартам. На мой взгляд, это возможно для ограниченного числа относительно однородных и сильно формализованных по оформлению карт.
2. Обеспечение более тесной интеграции с программным обеспечением общего и специального назначения (например, графические редакторы и растровые процессоры).

Это позволит сосредоточиться на «прямых» обязанностях ГИС - получении корректной цифровой модели, но, в то же время, потребует доработки существующих средств конвертации данных.

4. СФЕРЫ И УРОВНИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИС

ГИС используются для решения разнообразных задач, основные из которых можно сгруппировать следующим образом [3]:

1. поиск и рациональное использование природных ресурсов;
2. территориальное и отраслевое планирование и управление размещением промышленности, транспорта, сельского хозяйства, энергетики, финансов;
3. обеспечение комплексного и отраслевого кадастра;
4. мониторинг экологических ситуаций и опасных природных явлений, оценка техногенных воздействий на среду и их последствий, обеспечение экологической безопасности страны и регионов, экологическая экспертиза;
5. контроль условий жизни населения, здравоохранение и рекреация, социальное обслуживание, обеспеченность работой и др.;
6. обеспечение деятельности органов законодательной и исполнительной власти, политических партий, движений, средств массовой информации;
7. обеспечение деятельности правоохранительных органов и силовых структур;
8. научные исследования и образование;
9. картографирование (комплексное и отраслевое): создание тематических карт и атласов, обновление карт, оперативное картографирование.

Разнообразие сфер использования ГИС порождает множественность их видов и типов, разнящихся по тематике, пространственному охвату, назначению. Принято различать следующие территориальные уровни ГИС и соответствующие им масштабы.

4.1. Геоинформационные системы ресурсного типа

Один из наиболее распространенных видов ГИС в науках о Земле - ресурсные, предназначенные для инвентаризации, оценки, охраны и рационального использования ресурсов, прогноза результатов их эксплуатации. Чаще всего для их формирования используют уже имеющиеся тематические карты, которые цифруют и вводят в базы данных в виде отдельных информационных слоев. На рис. 1 показан один из слоев макета ГИС бассейна Волги. Этот слой характеризует загрязнение рек и озер в пределах бассейна и по сути является простым компьютерным аналогом экологической карты России масштаба 1 : 4 000 000, впервые составленной в Проблемной лаборатории комплексного картографирования МГУ. Другие слои этой ГИС отражают экологическое состояние пахотных земель, пастбищ, лесов, городов, расположенных в бассейне Волги. Они могут сопровождаться дополнительной информацией по отдельным рекам, озерам, угодьям, населенным пунктам (название, источники загрязнения, степень нарушенности), каждую карту можно укрупнить, совместить с другой, сделать с нее печатную копию.

В большинстве случаев ГИС создаются на основе обширных банков и баз данных цифровой информации, куда кроме картографических материалов включаются данные многолетних непосредственных наблюдений, статистические сведения, данные дистанционного зондирования. Примером может служить ГИС "Черное море", созданная на основе международного сотрудничества стран Черноморского бассейна. Этот бассейн с разнообразной морской жизнью, обильными рыбными ресурсами, теплыми песчаными пляжами и неповторимыми по красоте прибрежными пейзажами, привлекающими туристов, в последние десятилетия испытывает катастрофическое ухудшение экологической обстановки из-за возрастающей антропогенной нагрузки на все компоненты окружающей среды, что ведет к резкому сокращению рыбных ресурсов, снижению ре-

креационного потенциала, к деградации ценнейших прибрежных водно-болотных угодий.

Для централизованного принятия срочных мер по спасению Черного моря страны региона обратились за поддержкой в Глобальный фонд сохранения окружающей среды, основанный в 1991 году Всемирным банком в соответствии с Программой ООН по окружающей среде. В результате была сформирована и начала осуществляться трехлетняя Программа по спасению Черного моря - BSEP (Black Sea Environmental Programme), нацеленная на решение трех главных задач: 1) создание и укрепление региональных механизмов воздействия на экосистему Черного моря; 2) разработка и проведение политики и программы помощи, контроля и спасения окружающей среды; 3) привлечение инвестиций в экологические программы.

Координационная группа Программы, в состав которой вошли эксперты из каждой черноморской страны, уделила особое внимание формированию геоинформационной системы по природным ресурсам и состоянию среды Черноморского бассейна [9]. Создание такой ГИС реализовано в МГУ на кафедре картографии и геоинформатики. Работа предусматривала сбор, обработку и увязку всех картографических материалов и результатов экспедиционных наблюдений, поступивших от стран-участниц, создание специализированного программного обеспечения для ввода и редактирования цифровых данных, составление электронных карт, моделирование и проведение исследований, связанных с формированием ресурсно-экологической ГИС "Черное море" [4].

ГИС реализует две функции: моделирование и информирование об объекте. Она поддерживает научно-исследовательские работы в пределах акватории и прилегающей части Черноморского бассейна, обеспечивает распространение информации всем заинтересованным пользователям и принятие решений по природоохранным и защитным мерам, направленным на спасение уникальной экогеосистемы.

В разработке ГИС "Черное море" и насыщении ее баз данных участвовали 11 научно-исследовательских институтов из стран Черноморского бассейна и более 50 экспертов. Основной информационной единицей в ГИС "Черное море" является карта, сопровождаемая легендой, текстовым описанием и дополнительной информацией, относящейся к картографируемым объектам. При этом сама карта рассматривается как набор слоев и при выводе на экран они накладываются один на другой. Каждому слою приписываются следующие атрибуты: название слоя, соответствующее представленным объектам; признак видимости; признак активности. Обычно карта имеет один (иногда больше) тематический слой и слой географической основы. Всего ГИС "Черное море" содержит около 2000 карт, сгруппированных в семь тематических разделов (блоков). На рис. 2 представлен общий вид экрана, показывающего иерархию разделов тематических электронных карт:

- география - общая информация о природе Черноморского региона;
- геология - тектоника, геологическое строение, геоморфологическое районирование, эволюция берегов;
- метеорология - типичные климатические и погодные условия;
- физическая океанография - поля солёности, плотности и температуры вод для каждого месяца и сезона года по 20 стандартным горизонтам;
- химическая океанография - распределение кислорода, сульфидов, нитратов, фосфатов для 11 стандартных горизонтов, а также содержание тяжелых металлов, нефтепродуктов и других загрязняющих веществ;
- биология - карты водно-болотных угодий Причерноморья, заповедников, зон обитания экзотических видов флоры и фауны, а также серия карт, показывающих биологическую продуктивность Черного моря, распределение фитопланктона, зоопланктона и макрозообентоса;

- рыбные ресурсы - серии карт зон обитания коммерческих видов рыб, районов их нереста и зимовки.

Внутри каждого из семи разделов содержатся наборы аналитических и синтетических карт, организованных в иерархические древовидные структуры. Навигатор ГИС позволяет перемещаться по иерархии вперед или назад вдоль любой из ветвей, для просмотра содержания разделов, подразделов или отдельных карт. Пользователь имеет возможность выбрать любую карту в разделе или подразделе, открыть ее для просмотра и получить информацию о представленных на ней объектах. Например, войдя в раздел "Метеорология", можно вначале запросить "температуру воды", месяц "январь", затем "глубину 100 м" и в результате откроется карта "Температура воды в январе на глубине 100 м".

Модули, входящие в ГИС "Черное море", позволяют выполнять следующие виды анализа:

- визуальное сопоставление двух карт путем их совмещения (оверлей);
- численный корреляционный анализ карт, включая расчет коэффициента корреляции или построение корреляционной карты для двух анализируемых показателей (включая выбор размеров скользящего окна в процентах от площади карты);
- запуск анимации (с прямым и обратным ходом времени и заданной скоростью) для анализа изменений динамических показателей (климатических, гидрофизических, гидрохимических) и интерполяция данных на любую заданную дату;
- активизация информационной подсистемы по рекам бассейна Черного моря, которая содержит осредненные по годам гидрологические характеристики для всех рек, показанных на карте.

При работе с любой картой можно выполнять ее масштабирование, определять координаты любой точки, на которую указывает курсор, сдвигать изображение, выводить легенду, просматривать текст описания карты, вызывать дополнитель-

ную информацию, привязанную к тому или иному объекту на карте. Меняя размеры окон, оператор может автоматически размещать на экране одновременно несколько карт либо вывести их на печать. На рис. 3 показан экран, содержащий сразу четыре карты солености (слева) и температуры вод (справа) для разных горизонтов. После визуального анализа особенностей размещения этих двух физических характеристик можно провести расчет корреляции и при необходимости составить и вывести на экран производные карты пространственной взаимосвязи солености и температуры.

4.2. Геоинформационное картографирование

Взаимодействие геоинформатики и картографии стало основой для формирования нового направления - геоинформационного картографирования, суть которого составляет автоматизированное информационно-картографическое моделирование природных и социально-экономических геосистем на основе ГИС и баз знаний [1].

Традиционная картография испытывает сегодня перестройку, сопоставимую, возможно, лишь с теми изменениями, которые сопровождали переход от рукописных карт к печатным полиграфическим оттискам. В некоторых случаях геоинформационное картографирование почти полностью заменило традиционные методы картосоставления и картоиздания.

Четкая целевая установка и преимущественно прикладной характер - вот, пожалуй, наиболее важные отличительные черты геоинформационного картографирования. Согласно подсчетам, до 80% карт, составляемых с помощью ГИС, носят оценочный или прогнозный характер либо отражают то или иное целевое районирование территории.

Программно-управляемое картографирование по-новому освещает многие традиционные проблемы, связанные с выбором математической основы и компоновки карт (возможность перехода от проекции к проекции, свободное масштабирование, отсутствие фиксированной нарезки листов), введением

новых изобразительных средств (например, мигающие или перемещающиеся на карте знаки), генерализацией (использование фильтрации, сглаживания и т.п.).

Происходит тесное соединение двух основных ветвей картографии: создания и использования карт. Многие трудоемкие прежде операции, связанные с подсчетом длин и площадей, преобразованием изображений или их совмещением, стали рутинными процедурами. Возникла электронная динамическая картометрия. Создание и использование карт, в особенности если речь идет о цифровых моделях, стали как бы единым интегрированным процессом, поскольку в ходе компьютерного анализа происходит постоянное взаимное трансформирование изображений. Даже чисто методически стало трудно различить, где завершается составление исходной карты и начинается построение производной.

ГИС-технологии породили еще одно направление - оперативное картографирование, то есть создание и использование карт в реальном или близком к реальному масштабе времени для быстрого, а точнее сказать, своевременного информирования пользователей и воздействия на ход процесса. При этом реальный масштаб времени понимается как характеристика скорости создания-использования карт, то есть темпа, обеспечивающего немедленную обработку поступающей информации, ее картографическую визуализацию для оценки, мониторинга, управления, контроля процессов и явлений, изменяющихся в том же темпе.

Оперативные карты предназначены для инвентаризации объектов, предупреждения (сигнализации) о неблагоприятных или опасных процессах, слежения за их развитием, составления рекомендаций и прогнозов, выбора вариантов контроля, стабилизации или изменения хода процесса в самых разных сферах - от экологических ситуаций до политических событий. Исходными данными для оперативного картографирования служат материалы аэрокосмических съемок, непосредственных наблюдений и замеров, статистические данные, результа-

ты опросов, переписей, референдумов, кадастровая информация.

Огромные возможности и порой неожиданные эффекты дают картографические анимации. Разнообразные модули анимационных программ обеспечивают перемещение картографического изображения по экрану, мультипликационную смену карт-кадров или трехмерных диаграмм, изменение скорости демонстрации, возврат к избранному фрагменту карты, перемещение отдельных элементов содержания (объектов, знаков) по карте, их мигание и вибрацию окраски, изменение фона и освещенности карты, подсвечивание и затенение отдельных фрагментов изображения и т.п. Совершенно необычны для картографии эффекты панорамирования, изменения перспективы, масштабирование частей изображения (наплывы и удаления объектов), а также иллюзии движения над картой (облет территории), в том числе с разной скоростью.

В обозримом будущем перспективы развития картографии в науках о Земле связываются прежде всего и почти целиком с геоинформационным картографированием. Они исключают необходимость готовить печатные тиражи карт. "В любой момент, - пишет Дж. Моррисон [7], - в режиме реального времени можно будет получить на экране дисплея визуализированное изображение изучаемого объекта или явления... И вместо совершенствования устаревших методов и технологий следует постоянно расширять применение ГИС и осваивать решение новых задач". Внедрение электронных технологий "означает конец трехсотлетнего периода картографического черчения и издания печатной картографической продукции". Взамен мелкомасштабных карт и атласов пользователь сможет затребовать и сразу получить все необходимые данные в машинночитаемом или визуализированном виде, и даже само понятие "атлас" подлежит пересмотру.

Сегодня новые карты и атласы уже не пахнут типографской краской, а подмигивают с экрана яркими огоньками значков и меняют окраску в зависимости от нашего желания и настроения. Возможно, недалеко то время, когда картографи-

ческие голограммы создадут полную иллюзию реальной местности, а пейзажные компьютерные модели сведут на нет различия между картой и живописным полотном.

4.3. Карты в сетях «интернета»

И все же самые головокружительные перспективы сулит включение карт и других геоизображений в системы телекоммуникации. Уже сегодня гораздо дешевле разместить цветную карту в "Интернете", чем напечатать ее на бумаге. Если учесть еще и затраты на распространение традиционной картографической продукции, то экономическая выгода становится очевидной. В этом одна из причин того, что в недалеком будущем "Интернет" станет, видимо, главным каналом картографической коммуникации, основным средством взаимодействия создателей и потребителей карт.

Объем геоизображений, обращающихся сегодня в "Интернете", поражает воображение - это сотни тысяч документов. Все они могут быть разделены на четыре большие категории:

- статичные геоизображения (карты и атласы, полученные путем сканирования печатных или рукописных оригиналов);
- интерактивные геоизображения, составляемые и обновляемые по запросам пользователей;
- анимации, фильмы, мультимедийные геоизображения;
- геоизображения в ГИС.

Основные тематические группы карт в "Интернете" составляют:

- - обзорные справочные карты;
- - карты погоды и опасных атмосферных явлений;
- - навигационные и транспортные карты, условий проезда по дорогам;
- - карты окружающей среды и риска природных катастроф;

- - карты текущих политических событий, горячих точек и т.п.;
- - карты для туризма, отдыха, путешествий.

Все они отвечают конкретным целям, и прежде всего поиску актуальной справочной информации. По некоторым оценкам, основной объем карт в "Интернете" составляют карты погоды, а вторые по частоте встречаемости - карты городов и автомобильных дорог. Но есть много геоизображений, ориентированных и на специализированное применение, на профессиональные интересы пользователей (например, разновременные планы, карты, снимки городов, или спутниковые иконокарты для сельского хозяйства). Наконец, особую группу составляют геоизображения для образовательных целей, содержащие материал по тем или иным учебным курсам, инструкции, упражнения.

Как показывают обследования, сегодня основные пользователи "Интернета" - это сравнительно молодые люди с достаточно высоким уровнем образования, хорошо ориентированные в компьютерных технологиях и информатике. В массе своей это интеллектуалы: 51% - представители науки и образования, 30% - предприниматели и деловые люди и лишь 19% - работники правительственных, административно-управленческих, военных и других организаций.

Географическое распределение пользователей "Интернета" неравномерно. Наибольшее их число сосредоточено в Северной Америке, Европе, Австралии и Новой Зеландии. Но если судить по относительным показателям, то наивысший уровень достигнут в Скандинавских странах. В Финляндии на тысячу жителей приходится более 47 серверов - это наивысший показатель в мире. В США - 10-20 серверов на 1000 жителей, в Канаде, Великобритании, ФРГ - примерно 10, в России - около 5. На рис. 4 приведена карта, характеризующая число абонентов телекоммуникационных сетей в крупнейших городах России. В целом по стране пользователи научных организаций и вузов имеют примерно равные доли - 49 и 43% соответственно [2].

Обилие карт и других геоизображений, обращающихся в "Интернете", - это, однако, не только благо, но и большая проблема для пользователя. Информация захлестывает его, ему трудно ориентироваться. Графические документы избыточны и не всегда упорядочены. По меткому выражению Дж. Батлера [8], обращение к "Интернету" порой напоминает попытку напиться из пожарного шланга. Поэтому важнейшей проблемой в ближайшем будущем станет разработка навигаторов, позволяющих передвигаться по "Интернету" для поиска требуемого геоизображения, а также создание дружественных пользовательских интерфейсов.

Одно из таких средств - виртуальные атласы, то есть атласы, которые можно формировать, применяя определенные правила работы в "Интернете". По сути, это своеобразные пользовательские графические интерфейсы, создаваемые для работы с ресурсами пространственной информации: картами, снимками, анимациями, другими геоизображениями, текстами, звуками, статистическими данными, метаданными, разного рода указателями.

Виртуальные атласы обеспечивают доступ к пространственным данным разных уровней от глобального обзора до отдельной страны или региона. Они могут иметь разные назначения, проблемную ориентацию, пространственный охват, быть учебными, справочными или туристскими - все определяется системой навигации и интерфейсом. При этом они постоянно обновляются за счет новых геоизображений, вводимых в "Интернет". Для этого разрабатываются специальные системы слежения и выявления (своеобразного мониторинга) вновь поступающих ресурсов пространственной информации и ее оперативной оценки с точки зрения целесообразности включения в виртуальный атлас.

Итак, если задуматься о картах будущего, то, видимо, это будут "разумные изображения" (Intelligent Images), синтезирующие информацию из разных источников, обращающиеся в компьютерных сетях в реальном масштабе времени и с переменным разрешением. Такое мнение высказал недавно Л.

Джордан, президент одной из ведущих американских компаний по разработке ГИС [6]. Пользователь сможет работать с такими геоизображениями в интерактивном режиме и перемещаться по ним в любом направлении в двух, трех или четырех измерениях.

4.4. Основные понятия, использующиеся в географической информационной системе

Рассмотрим понятия пространственных данных, их реализацию с использованием компьютера, методы представления описательной информации и сравним разные модели представления данных. Затем рассмотрим, как ключевые понятия пространственных данных реализованы в ГИС ARC/INFO.

Понятия пространственных данных

Использование карт для представления географических особенностей

Географические особенности – это объекты, расположенные на или около поверхности Земли. Географические особенности могут быть естественными (реки, растительность), могут быть конструкциями (дороги, трубопроводы, здания) и могут быть подразделениями земли (округи, участки земли, политические подразделения).

Как карты передают географическую информацию

Карты моделируют реальный мир с помощью точек, линий и областей. Символы и подписи (текстовые) описывают эти объекты.

Точки определяют дискретные расположения тех географических особенностей, которые слишком малы для изображения их в виде линий и областей, таких как колодцы, телефонные столбы и здания. Точки также могут представлять объекты, которые не имеют площади, такие как вершина горы.

Линии изображают формы таких географических объектов, которые слишком узки для изображения областью, такие как улицы и реки, или линейные особенности которые имеют длину, но не имеют площади, такие как контуры подьема.

Области это закрытые фигуры, которые представляют форму и расположение однородных объектов, таких как штаты, округа, земельные наделы, типы почвы или зоны использования земли.

Поверхность описывает что-то, что имеет значение для каждой точки на Земле. Взять, к примеру, подъем: каждая точка на Земле имеет подъем. Трудность представления поверхностей состоит в том, что нельзя определить четкие границы. Поверхности обычно представлены на картах как серии изолиний.

Контур подъема – это тип изолинии, который определяет линию с равными значениями. Изолинии также могут быть использованы для представления других типов поверхностей, таких как дождевой сток, концентрация загрязнений и уровень воды.

Как карты передают описательную информацию

Карты представляют описательную информацию о географических объектах, используя символы и подписи. Вот несколько общих способов, которыми карты представляют описательную информацию о географических объектах:

Дороги рисуются с помощью линий различной толщины, структуры и цветов для представления различных классов дорог (например, межобластные автомагистрали нарисованы как широкие сплошные линии красного цвета).

Потоки и участки воды обычно нарисованы голубым цветом для обозначения воды.

Специальные символы обозначают специфические объекты, такие как железные дороги (Рис.1), и аэропорты (Рис.2).



Рис.1 - Обозначение железной дороги



Рис.2 - Обозначение аэропорта

Городские улицы помечены их названиями и часто диапазонами адресов.

Специальные здания помечены их названиями или функциями.

Как карты передают пространственные взаимосвязи

Взаимосвязи важны для нас, они помогают нам понимать ситуации и принимать решения. Взаимосвязь между географическими объектами, основанная на их расположении, называется пространственной взаимосвязью.

Пространственные взаимосвязи подразумеваются на картах, и как их интерпретировать, зависит от вас. Например, вы можете определить:

- какие географические объекты соединяются с другими;
- какие географические объекты соседствуют с другими (например, железная дорога проходит вдоль автомобильной);
- какие географические объекты содержатся в области;
- какие географические объекты пересекаются (например, железная дорога пересекает автомобильную);
- какие географические объекты расположены близко к другим;
- различие в подъеме географических объектов;
- относительное расположение между географическими объектами.

Из этих взаимосвязей можно получить полезную информацию. Например, можно:

- найти маршрут к зданию от выезда с трассы;
- определить эффективный маршрут для доставки почтовых посылок;
- определить области, непригодные для строительства новой школы, которая не может быть расположена рядом с железными или крупными автомобильными дорогами.

Такая информация не представлена полностью на карте. Вместо этого, вы интерпретируете взаимосвязи и получаете информацию из позиций объектов на карте, таких как дороги, контуры, здания, озера, железные дороги и другие объекты.

Дополнительные понятия

Масштаб карты.

Отдаленность – важная часть отношений между географическими объектами. Часто необходимо знать, как далеко друг от друга расположены объекты, например, расстояние до аэропорта, или расстояние от библиотеки до почты. Для перевода расстояний на карте в реальные расстояния, необходимо знать отношение расстояний на карте к расстояниям на Земле. Это отношение называется масштабом карты.

Масштаб карты обозначается разными способами: как дробь (1:1000), словесное указание (в одном сантиметре один километр), или как полоска (Рис.3).

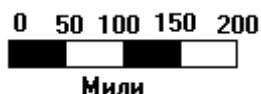


Рис.3 Полоска масштаба

Чем больше масштаб, тем больше объект на карте. Масштаб 1:1000 больше чем 1:100000.

Необходимо обратить внимание на влияние масштаба на разрешение и точность. Например, на 1:1000000 разрешение грубое, так что вы не сможете нарисовать очертания зданий так, как при более высоком разрешении 1:1000. Также, значение ширины дороги на 1:60000 карте будет менее точным, чем то же значение на 1:1000 карте.

Декартова система координат.

Карты устанавливают расположение географических объектов на поверхности Земли. Точная идентификация требует структуру для определения по карте реального расположения объектов. Плоскость, или декартова система координат, является такой структурой.

Декартова система координат использует две оси: горизонтальную (x), представляющую восток-запад, и вертикальную (y), представляющую север-юг. Точка, в которой они пересекаются, называется точкой отсчета. Расположение географических объектов определяется относительно точки отсчета, используя запись (x,y) , где x обозначает расстояние вдоль го-

ризонтальной оси, а y – вдоль вертикальной оси. Точка отсчета определяется как $(0,0)$.

Поскольку Земля круглая, картографы сталкиваются с проблемой: как представить реальный мир на чем-то плоском. Процесс «уплощения» Земли называется проекцией, отсюда термин картографическая проекция. Все картографические проекции представляют всю или часть поверхности Земли в виде плоской карты, создавая искажения в расстоянии, площади, форме или направлении.

Широта и долгота

Расположение географического объекта на поверхности Земли описывается широтой и долготой. Это мера угла (в градусах) от центра Земли до точки на ее поверхности. Широта – это угол, измеренный к северу или к югу от экватора, а долгота измеряется к западу или к востоку от нулевого меридиана (воображаемая линия, проходящая от Северного полюса к Южному через Гринвич в Англии).

Люди часто рассматривают меры широты-долготы как x, y координаты; но это не так. Широта-долгота это единица измерения меры для сферической (трехмерной) системы координат. Картографическая проекция преобразует расположение, выраженное в широте и долготе, в декартовы координаты (двухмерные) на карте.

Картографические проекции

Существует много различных картографических проекций. Они различаются по их пригодности для представления различных местоположений и количеству охватываемой земли, а также по их способности сохранять расстояние, площадь, форму и направление. Подбор картографической проекции для ваших нужд – важное решение.

5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРОВ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Мы использовали понятия карт для описания того, как реальный мир описан на картах и как карты передают информацию. ГИС должны предоставлять те же возможности. Сила ГИС идет не только от способности хранить географические данные, но и от способности анализировать их более эффективно и более удобно, чем это возможно с бумажными картами.

Этот раздел рассматривает три компьютерные модели, называемые моделями пространственных данных, на предмет представления географических объектов и показывает, как они поддерживают вышеупомянутые принципы, представленные в предыдущем разделе.

5.1. Векторная модель данных

Векторная модель данных представляет географические объекты подобно тому, как это делают карты. Точки изображают географические объекты, которые слишком малы, чтобы быть представленными как линия или область. Линии представляют географические объекты, которые слишком узки, чтобы быть представленными как область. Области представляют однородные географические объекты. Декартова система координат отражает реальное расположение объекта.

В векторной модели данных каждое местоположение записывается как пара координат x, y . Точки записываются как простая пара координат. Линии записываются как серии упорядоченных пар координат. Области записываются как серии пар координат, определяющих сегменты линий, которые окружают область. Отсюда термин «полигон», означающий «многоугольная фигура».

С помощью x, y координат можно представлять точки, линии и полигоны в виде списка координат вместо картинки или

графика. Первая и последняя пары координат полигона совпадают; полигон всегда замкнут. Каждому объекту присваивается уникальный идентификационный номер или тэг. Затем список координат для каждого объекта связывается с тэгом объекта (Рис.4).

Номер полигона	Координаты x,y
1	1,4 1,5 2,7 5,7 4,4 1,4
2	1,2 2,3 4,3 5,4 7,5 7,3 6,1 3,1 1,2

Рис.4 Векторная модель данных

Структура данных дуга-узел

Для того, чтобы нарисовать границы двух соседних участков земли на карте, вы, вероятно, не будете перерисовывать общую границу; это неэффективно. То же самое применяется к хранению общей границы в компьютере.

Повторение пары координат для точки, разделяемой несколькими линиями, неэффективно. Хранение каждого полигона как замкнутого контура также неэффективно, потому что линии между соседними полигонами будут сохранены дважды. Более эффективный путь для хранения векторных данных – структура данных дуга-узел.

Структура данных дуга-узел хранит данные так, что узлы образуют дуги и дуги образуют полигоны. Узлы определяют две конечные точки дуги; они могут соединять две или более дуги. Дуга – это сегмент линии между двумя узлами. Дуга состоит из ее двух узлов и упорядоченной серии точек, называемых вершинами, которые определяют ее форму. Узлы и вершины представляются координатами x и y.

Топология

Стоя на углу улицы и смотря на карту, легко определить пересекающиеся улицы и объекты, которые к ним прилегают. Компьютер «видит» эти взаимоотношения с помощью средств топологии. Топология точно определяет пространственные

взаимоотношения. На практике принцип достаточно простой: пространственные связи выражены в виде списков (например, полигон определяется с помощью списка дуг, охватывающих его границы).

Создание и хранение топологических взаимоотношений имеет много преимуществ. Данные хранятся эффективно, так что большие наборы данных могут быть просто обработаны. Топология делает удобными аналитические функции, такие как моделирование потока через соединяющиеся линии в сети, сочетания соседних полигонов с подобными характеристиками, идентификация соседних и перекрывающихся объектов.

Структура данных дуга-узел поддерживает три основных топологических понятия:

- соединенность: дуги соединяются друг с другом в узлах;
- определение области: дуги, которые соединяются и окружают область, определяют полигон;
- прилегание: дуги имеют направление, левую и правую границы.

Соединенность позволяет определить маршрут в аэропорт или соединить потоки к рекам или проследить путь от водочистительной станции к дому.

Теперь о том, как это работает. Вспомним структуру данных дуга-узел. Дуга определяется двумя точками, from-узел показывает, где дуга начинается, и to-узел показывает, где она кончается. Это называется «топология дуга-узел».

Топология дуга-узел поддерживается с помощью списков дуга-узел. Список определяет from- и to- узлы для каждой дуги. Соединяющиеся дуги определяются с помощью поиска в списке общих узлов. В следующем примере (Рис. 5) можно определить, что дуги 1,2,3 пересекаются, потому что они имеют общий узел 11. Компьютер может определить, что можно проследовать по дуге 1 и повернуть на дугу 3, потому что они имеют общий узел 11 (Рис. 6), но невозможно повернуть непосредственно с дуги 1 на дугу 5.

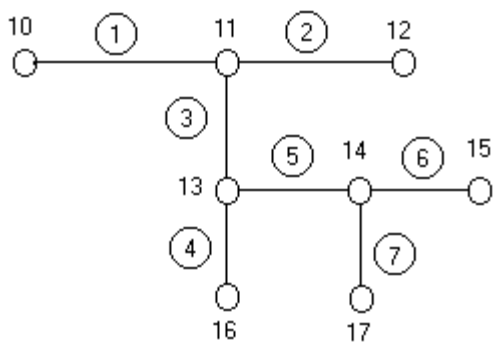


Рис.5 – Пример

Дуга	From-узел	To-узел
1	10	11
2	11	12
3	11	13
4	13	16
5	13	14
6	14	15
7	14	17

Рис.6 – Табличное представление

Определение области

Многие из географических объектов, которые мы хотим представлять, покрывают определенную область на поверхности Земли, такие как озера, земельные участки. Область представлена в векторной модели с помощью одной или нескольких границ, определяющих полигон. Представим озеро с островом посередине. Озеро в действительности имеет две границы - внешнюю и внутреннюю, определяемую островом. В терминологии векторной модели, остров определяет внутреннюю границу (или отверстие) полигона. Так топология используется для определения областей.

Вспомним, что структура дуга-узел представляет полигоны скорее как упорядоченный список дуг, чем замкнутую петлю точек x,y. Это называется полигон-дуга топологией. Каж-

дая дуга встречается в двух полигонах. Так как полигон – просто список дуг, определяющих его границы, координаты дуг хранятся без дублирования, таким образом, уменьшается количество данных и гарантируется, что границы соседних полигонов не перекрываются.

Прилегание

Два географических объекта с общей границей называются соседними. Прилегание – топологическое понятие, которое позволяет определять соседство в векторной модели данных.

Вспомним, что from-узел и to-узел определяют дугу. Они показывают направление дуги, так что можно определить полигоны по правую и левую стороны дуги. Топология «слева-справа» относится к полигонам по левую и правую стороны дуги.

Заметим, что для того, чтобы каждая дуга всегда имела определенные левую и правую стороны, вводится внешний, или универсальный полигон, который представляет мир за границами рассматриваемой области.

Расширение векторной модели данных

Топология позволяет нам определять области и моделировать два типа соотношений: соединенность и прилегание. Другие соотношения между географическими объектами могут быть не менее важными для модели:

- географический объект может быть составлен из других объектов. Жилой комплекс может быть составлен из набора зданий. Автобусный маршрут может быть составлен из сегментов улиц.

один и тот же географический объект может изменяться с течением времени, и историческое отслеживание изменений важно. Например, форма и распространение нефтяного пятна. Транспортный поток по маршруту меняется в разные периоды времени, такие как час пик.

- два географических объекта одного класса могут перекрываться. Области распределения двух видов птиц могут перекрываться. Области сбыта двух конкурирующих магазинов

могут включать одни и те же районы. Два автобусных маршрута используют одну и ту же секцию улицы.

Описанные понятия векторной модели данных не поддерживают этих новых типов ассоциаций. Регионы и маршруты поддерживают моделирование этих сложных взаимоотношений.

Регионы

Регионы поддерживают моделирование сложных взаимосвязей между географическими объектами, представленными полигонами. Тогда как составляющей частью полигона является дуга, составляющей частью региона является полигон. Поэтому регион представляется как набор полигонов.

Одной из основных предпосылок того, что географические объекты представляются полигонами, является то, что полигоны не перекрываются и полностью накрывают представляемую область (Рис.7). Это ограничение устраняется для регионов. В регионе полигоны, представляющие географические объекты, могут располагаться отдельно от других, они могут перекрываться и они не обязаны накрывать всю область (Рис.8). Например, регион повреждений от лесного пожара представляется полигонами, показывающими область и время повреждений.



Рис.7. Неперекрывающееся, полное деление области



Рис.8. Возможно перекрывание и допускаются пустые области

Другая предпосылка полигонов – это то, что каждый географический объект представлен одним полигоном. Этот принцип расширяется для регионов, так что один географический объект может быть представлен несколькими полигонами. Например, острова, входящие в состав штата Гавайи, это регион, составленный из нескольких полигонов.

Так же, как точкам, линиям и полигонам, каждому региону дается уникальный идентификатор. Как и для полигонов, для каждого региона поддерживаются площадь и периметр.

Составление регионов из полигонов подобно составлению полигонов из дуг. Тогда как полигон – это список дуг, регион – это просто список полигонов. Есть важное отличие: порядок полигонов не имеет значения.

Составление перекрывающихся регионов также подобно составлению полигонов. Тогда как полигоны разделяют дугу, на которой они встречаются, регионы разделяют полигон, на котором они пересекаются.

Регионы существенно улучшают управление данными, потому что они интегрируют много различных видов географических объектов в один, сохраняя характеристики оригинальных географических объектов. Управление взаимосвязями между географическими объектами в этой модели данных особенно важно при выполнении комплексного анализа.

Маршруты

Маршруты определяют пути по существующему набору линейных объектов, такие как путь по уличной сети от вашего дома до аэропорта. Маршруты основаны на дугах. Они могут идти из одной точки в другую, могут быть окружностью,

начинающейся и заканчивающейся в одной и той же точке, могут быть разъединенными. Маршруты могут начинаться в узлах или в точке на дуге, тогда это означает, что используется только часть дуги. Тогда требуется изменение в описании, чтобы было возможно описать, где на дуге начинается маршрут.

Это требует дополнительной информации, описывающей, какая часть дуги используется и где на дуге начинается маршрут. Эту информацию предоставляют секции (Рис.9). Секция представлена строкой в таблице, описывающей маршрут, которому она принадлежит, дугу, частью которой она является, и два типа меры по дуге (Рис.10). Две колонки, называемые F-Meas и T-Meas, описывают промежуток по маршруту, который эта секция представляет. Второй набор колонок, названных F-Pos и T-Pos, описывают, какая доля дуги использована.

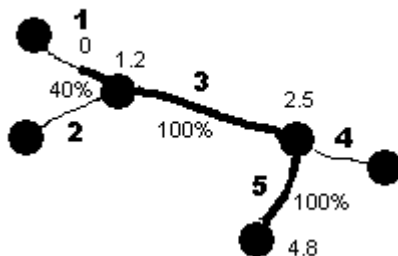


Рис.9 - Маршруты, основанные на дугах

Номер дуги	F-Meas	T-Meas	F-Pos	T-Pos
1	0.0	1.2	60%	100%
3	1.2	2.5	0%	100%
5	2.5	4.8	0%	100%

Рис.10 – Табличное представление маршрута

События на маршруте

События описывают местонахождения объектов, расположенных на дороге. Встречаются два типа событий на маршруте: точечные события и линейные события. Точечное событие описывает расположение точечного объекта на маршруте, например ДТП. Они расположены как мера по маршруту. Линейное событие описывает расположение линейного объекта вдоль маршрута, например, состояние дорожного покрытия. Они расположены как от-(F-Meas) и до-(T-Meas) меры вдоль маршрута.

Как векторная модель данных представляет поверхности

Векторная модель данных представляет каждую поверхность в виде серий изолиний; например, возвышение будет представлено в виде серий контуров. Несмотря на полезность для отображения информации, эта модель не без труда поддерживает вычисления характеристик поверхностей, таких как наклон поверхности в отдельной точке или направление, к которому обращен наклон. Обе эти характеристики используются для анализа, относящегося к поверхностям.

5.2. Растровая модель данных

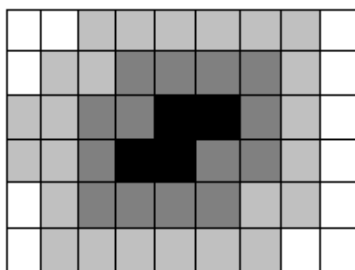
Обсуждение карт и векторной модели данных фокусировалось на том, как представлять географические объекты. В растровой модели данных фокус приходится на расположение. Растровая модель данных больше похожа на фотографию, чем на карту.

Если посмотреть на фотографию через сильное увеличительное стекло, можно увидеть, что она состоит из серий точек разных цветов или оттенков серого. Растровая модель данных работает подобным образом: это правильная сетка точек (называемых ячейками или пикселями) с занесенными значениями. На фотографии нет границ, чтобы отличать объекты; это непрерывная поверхность. С использованием растровой модели данных, Земля представляется как одна непрерывная поверхность.

Есть три способа интерпретировать каждую точку на фотографии. Первый – классифицировать каждую точку как принадлежащую чему-нибудь – тогда группа подобным образом классифицированных пикселей становится объектом, как улица. Второй способ интерпретации – просто измерение значения цвета или оттенка серого точки. Третий путь – определить пиксель относительно известной эталонной точки, например среднего уровня моря (для возвышенности) или точки разлива нефти. Например, высота зданий и растительности может быть измерена относительно уровня улицы.

Те же три способа интерпретации могут быть использованы для растровой модели данных в ГИС. Значение ячейки может представлять классификацию, например, тип растительности. Это может быть интерпретацией высоты над уровнем моря.

В растровой модели данных каждое местоположение представлено ячейкой (Рис.11). Матрица ячеек, организованных в строки и колонки, называется сеткой. Каждая строка содержит группу ячеек со значениями, представляющими географические явления. Значения ячеек являются числами, представляющими номинальные данные, такие как классы землепользования, меры интенсивности света или относительные меры.






	Значение ячейки	Распространение пожара
	1	1 день
	2	2 день
	3	3 день

Рис.11. Непрерывные объекты представленные сеткой

Как и векторная модель данных, растровая модель может представлять дискретные точечные, линейные и площадные объекты. Точечные объекты представлены как значение в одной ячейке, линейные объекты – как серии связанных ячеек, описывающих длину, площадные объекты – как группу связанных ячеек, описывающих форму (как в примере выше). Точность карты зависит от масштаба карты. В растровой модели разрешение и, следовательно, точность карты зависит от реальной области, представленной каждой ячейкой сетки. Чем больше представленная область, тем меньше разрешение и точность. Чем меньше область, покрываемая ячейкой, тем больше разрешение и более точно представлены объекты.

Как растровая модель данных представляет пространственные взаимоотношения

Так как растровая модель данных является правильной сеткой, пространственные взаимоотношения скрыты. Поэтому явное хранение пространственных взаимоотношений не требуется, как для векторной модели данных.

Заметим, что каждая ячейка в сетке имеет восемь соседних ячеек (исключение составляют ячейки на внешних краях): четыре по углам и четыре по сторонам. Ячейки идентифицируются по их расположению в сетке. Например, если ячейка третья от начала отсчета по оси X и вторая по оси Y, то она идентифицируется как ячейка (3,2). Нахождение любой из восьми соседних ячеек требует просто прибавления или вычитания единицы из значений X или Y. Например, ячейка слева от (3,2) – (3-1,2), то есть (2,2).

Растровые данные привязываются к реальной поверхности Земли указанием координатной системы, к которой приведена сетка, расположения в реальном мире точки привязки и размера ячейки в реальном мире. Обычно в качестве точки привязки используется левый верхний или левый нижний угол сетки. Эта точка привязки вместе с размером ячейки может быть использована для определения географического положения любой ячейки в растровом наборе данных. При использовании одной и той же координатной системы растровые наборы данных могут быть логически организованы в объекты для географического анализа.

Как растровая модель данных представляет поверхности

При представлении поверхностей, значение поверхности (например, высота над уровнем моря) хранится для каждой ячейки. Это значение представляет не всю ячейку, а только центральную ее точку. Этот набор центральных точек ячеек в сетке называется решеткой. Решетка поддерживает точные поверхностные вычисления. Типы поверхностных вычислений, используемых для анализа, включают подъем (скорость изменения величины ячейки с расстоянием), сторону (направление, к которому обращен наклон) и интерполяции контуров по решетке.

5.3. Модель данных триангулированная нерегулярная сеть

Эта модель, называемая ТНС, является альтернативой растровой модели данных для представления непрерывных поверхностей. Она позволяет эффективно генерировать модели поверхностей для анализа и изображения физических особенностей местности и других типов поверхностей.

ТНС модель представляет поверхность в виде серий сцепленных треугольников, отсюда прилагательное «триангулированная». Треугольники получены с помощью трех точек, которые расположены в произвольных местах, отсюда прилагательное «нерегулярная». Это контрастирует с растровой моде-

лью, где точки в решетке расположены равномерно. Наконец, ТНС модель создает «сеть» треугольников с помощью хранения топологических взаимосвязей треугольников.

Фундаментальным строительным блоком ТНС модели данных является узел. Узлы соединены со своими ближайшими соседями с помощью ребер согласно набору правил. Для определения смежных треугольников используется топология «слева-справа».

Треугольники конструируются, основываясь на вводимых весовых точках и линиях излома, которые предоставляют данные и ограничения относительно поверхности.

ТНС модель создает треугольники из набора точек, называемых весовыми точками, которые всегда становятся узлами. Пользователь не обязан выбирать все узлы, которые будут использованы для создания треугольников; дополнительные узлы добавляются в соответствии с набором правил. Весовые точки могут быть расположены где угодно, и чем тщательнее они выбираются, тем более точная модель поверхности. Хорошо расположенные весовые точки – те, где есть значительное изменение формы поверхности, например, вершина горы, дно долины, край (верхний и нижний) обрыва. С помощью соединения точек на дне долины или вдоль края обрыва может быть определен линейный излом поверхности. Эти линии называются линиями излома. Реки и береговые линии часто используются в качестве линий излома. Линии излома могут управлять формой модели поверхности. Они всегда образуют ребра треугольников и, как правило, не могут быть перемещены.

Треугольник всегда имеет три и только три прямых стороны, что делает его представление довольно простым. Треугольник имеет уникальный идентификатор и определяется по его трем узлам и его двум или трем соседним треугольникам. Ребра в этой модели задаются неявно. Первое ребро определено от узла 1 к узлу 2, второе – от 2 к 3 и третье – от 3 к 1. Порядок соседних треугольников соответствует порядку ребер,

так что первый соседний треугольник разделяет первое ребро и так далее.

5.4. Совместное использование трех моделей пространственных данных

Векторная, растровая и ТНС модели данных являются мощными средствами моделирования Земли. Каждая из них использует декартову систему координат для определения местоположения на поверхности Земли. Выбор общих картографической проекции, масштаба и подгонка координат таким образом, чтобы все модели имели общую точку начала координат, гарантирует, что одна и та же координата представляет одно и то же местоположение в каждой модели. Это называется географической привязкой и является важным принципом, потому что позволяет выбрать оптимальную модель данных для представления определенной области Земли. Это также обеспечивает большую гибкость для анализа и отображения данных.

5.5. Методы представления описательной информации

В предыдущем разделе были представлены методы для представления географических объектов. В этом разделе рассматриваются возможные методы для представления описательной информации о географических объектах. Мы рассмотрим, как описательные данные организованы и как они связаны с географическими объектами в наших пространственных моделях данных.

Описательные атрибуты, связанные с географическими объектами, хранятся в компьютере способом, подобным тому, как хранятся координаты. Атрибуты хранятся как наборы чисел и символов. Например, атрибуты для дорог могут включать:

Тип дороги: разделенное шоссе, магистральная или коллекторная дорога, главная дорога, улица в жилом массиве, дорога без покрытия.

Материал поверхности: бетон, асфальт, гравий

Ширина: измеренная в метрах

Количество рядов: число рядов

Название: название каждой дороги

Для каждого географического объекта в файле данных хранится один набор атрибутов (Рис.12).

Номер	Тип дороги	Покрытие	Ширина	Число рядов	Название
1	1	Бетон	20	4	42 шоссе
2	2	асфальт	16	4	14 шоссе
3	4	асфальт	11	2	улица Садовая



Рис.12 – Пример графического и табличного описания дороги

Такой файл данных называется таблицей атрибутов. Каждая строка в таблице является записью и содержит описательную информацию об одном объекте. В каждой записи имеются одинаковые столбцы (поля). Эти столбцы называются пунктами.

Связывание атрибутов с объектами – геосвязывающая модель

На картах символы и текст передают описательную информацию. Часто текстовая информация предоставляет способ доступа к дополнительной информации, организованной в других файлах. Тогда карта становится мощным средством справочной информации.

Такая же идея применяется к пространственным моделям данных. Одна мощная возможность ГИС заключается в связи между пространственными данными и табличными (описательными) данными. Смешанная модель данных, часто называемая геосвязывающей моделью, используется для поддержания связи между объектами и их описательными данными.

Как создается связь между пространственным определением объектов и их соответствующими атрибутивными записями? Ответ довольно простой – уникальный идентификатор объекта связывает атрибуты с координатами объекта, поддерживая согласование один - к - одному между пространственными записями и атрибутивными записями. Однажды установив эту связь,

вы можете отображать атрибутивную информацию или создать карту, основанную на атрибутах, помещенных в атрибутивную таблицу. В геосвязывающей модели объекты и соответствующие атрибутивные записи «скрепляются» с помощью общего идентификатора объекта. Относительный принцип может быть применен не только к поддержанию связи объектов и их атрибутов. Между любыми двумя таблицами с общим атрибутом может быть установлено отношение. Отношение использует общий пункт для установления связей между соответствующими записями в двух таблицах. В отношении каждая запись в одной таблице соединена с той записью в другой таблице, которая имеет то же значение общего пункта. Общий пункт называется ключом.

Таблица атрибутивных данных может храниться в базе данных, отдельной от ГИС. Относительный принцип поддерживает связывание информации в ГИС с корпоративными базами данных и наоборот.

Географический объект может иметь многозначный атрибут, тогда имеет место отношение один - ко - многим.

5.6. Сравнение пространственных моделей данных

Выше был дан обзор некоторых моделей, используемых для представления географической информации. Прежде чем добавлять какую-нибудь информацию в вашу базу данных, вы должны классифицировать ваши данные и выбрать наиболее подходящую пространственную модель данных. ARC/INFO поддерживает каждую из описанных моделей и имеет возможности для их интеграции.

5.7. Сравнение растровой и векторной моделей данных

Приведем сравнение растровой и векторной моделей данных. Цель состоит в обзоре их характеристик и сравнении их преимуществ и недостатков. Хотя трудно указать точные правила, которых придерживаются растровая и векторная струк-

туры данных, дадим несколько полезных обобщений, которые используются.

Основной фокус векторной модели данных – географический объект; растровой – местоположение.

Векторная модель данных больше соответствует вопросу «Что я знаю об этом географическом объекте?» Растровая модель отвечает на вопрос «Какое географическое явление имеется в этом месте?»

Векторная модель использует x, y координаты для представления географических объектов, растровая хранит строки и столбцы значений ячеек.

Векторная модель данных определяет границы. В растровой модели границы не определены.

Векторная модель представляет местоположение как x, y координаты в декартовой системе координат. Растровая модель представляет местоположение в виде ячеек, также в декартовой системе координат.

Векторная модель представляет форму объекта точно; растровая модель представляет прямоугольные области и поэтому является более обобщенной и менее точной.

Векторная модель представляет объекты с хорошо определенными границами; растровая модель представляет более общую точку зрения. Растровая модель может также представлять постепенный переход между объектами и поверхностями, такой как классификация загрязнений и высота над уровнем моря.

Векторная модель используется для высококачественной картографии и там, где важны четкость и точность, например, для кадастровых применений. Растровая модель данных полезна для хранения изображений и хорошо подходит для многих операций пространственного моделирования, таких как выбор оптимального маршрута, моделирование ливневого стока поверхности распространения лесного пожара.

Операция перекрывания проверяет два набора данных для определения, какие географические объекты находятся в одном и том же месте. Перекрывание векторов является сложной

операцией, в то время как природа векторной модели данных позволяет простое и быстрое перекрывание.

Когда необходимо конвертировать данные из одной модели данных в другую, используют растеризацию и векторизацию. Создание полигонов из сетки относительно просто: нужно только следовать по границам между ячейками с разными значениями. Однако векторизация линейных объектов из сетки – более сложная и требует более тонких операций.

5.8. Сравнение растровой и ТНС моделей данных

Хотя трудно указать точные правила, которых придерживаются растровая и ТНС структуры данных, ниже даны некоторые обобщения.

Основной фокус ТНС модели данных – деление поверхности на треугольники; основной фокус растровой модели данных - месторасположение.

ТНС модель данных больше соответствует вопросу: «Как выглядит поверхность в этом месте?». Растровая модель данных отвечает на вопрос: «Какое географическое явление находится в этом месте?»

ТНС модель использует треугольники для представления формы поверхности; растровая хранит строки и столбцы значений ячеек.

ТНС модель представляет вершины треугольников как x, y координаты в декартовой системе координат. Растровая модель представляет местоположение в виде ячеек, также в декартовой системе координат.

Благодаря тому, что разрешено неравномерное распределение вершин, ТНС модель представляет форму поверхности более точно; растровая модель основана на равномерно расположенных точках и поэтому является более обобщенной.

Обе модели могут представлять постепенный переход на поверхности, например, высота над уровнем моря.

5.9. Как ARC/INFO применяет ключевые понятия пространственных данных

Модель данных ARC/INFO является композицией вышеприведенных принципов и понятий моделей данных. Здесь дается краткий обзор ключевых понятий и того, как они применяются в ARC/INFO.

Два типа информации представляют географические объекты в ГИС: данные о местоположении и описательные данные. ARC/INFO применяет смешанную модель данных, называемую геореляционной моделью, для представления географических объектов. Данные о местоположении (пространственные) хранятся с использованием векторной или растровой структуры данных. Соответствующие описательные (атрибутные) данные для каждого географического объекта хранятся в наборе таблиц. Данные о местоположении и описательные данные связаны так, что оба вида информации всегда доступны.

Географические объекты классифицированы для обеспечения организации в базе данных.

Покрытие является главным методом для представления векторных данных. Оно хорошо приспособлено для точного изображения местоположения и формы точек, линий и областей.

Регион используется для создания географических объектов из набора полигонов, в то время как маршрут представляет объект, составленный из набора дуг.

Сетка является главным методом для представления растровых данных. Сетки могут представлять области, точки и линии так же, как и непрерывные поверхности.

Непрерывные поверхности могут быть представлены, используя либо ТНС, либо сетку, либо решетку.

Покрытие хранит линейные и полигональные объекты топологически. Это оптимизирует хранение данных с помощью уменьшения избыточности координат и облегчает ряд ключевых пространственных операций, таких как перекрытие поли-

гонов, нахождение пути с помощью соединенности дуг, анализ смежности.

Покртия, сетки и ТНС могут быть геосвязаны, используя одну и ту же координатную систему и картографическую проекцию.

В ARC/INFO можно показывать изображения и управлять ими, используя растровую модель данных. Поддерживаются изображения карт, так же как и картинки в качестве описательных данных о географических объектах.

5.10. Вывод о возможности использования ГИС ARC/INFO для задач математического моделирования

Географическая информационная система ARC/INFO обладает необходимыми средствами для выполнения поставленной задачи отображения результатов математического моделирования.

Одна из используемых в ARC/INFO моделей пространственных данных, векторная, предоставляет большие возможности для применения в математическом моделировании. Особенность данной модели заключается в том, что известны точные координаты любой точки изучаемой области. Используя информацию об объектах изучаемой географической области, можно, например, задавать граничные условия для математической модели. Кроме того, использование этой модели данных делает возможным отображение результатов математических расчетов с высокой точностью.

К другим достоинствам системы, позволяющим говорить о возможности применения ARC/INFO для выполнения поставленных задач, следует отнести функциональное богатство системы, реализованное значительным количеством команд и наличием встроенного макроязыка.

А теперь перейдем к модели распространения загрязнений в атмосфере, результаты расчетов которой требуется визуализировать в географической информационной системе ARC/INFO.

6. ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СОВРЕМЕННОЙ НАСТОЛЬНОЙ ГИС

6.1. Понятие настольной ГИС

В настоящее время геоинформационные системы (ГИС) завоевывают все большую популярность в различных областях науки и экономики. ГИС сейчас можно встретить практически в любой сфере деятельности - от экологического мониторинга до службы транспортных перевозок. Вместе с тем ясно, что было бы абсурдным выдвигать перед пользователями ГИС требование быть еще и специалистами в области геоинформатики. Для большинства пользователей геоинформационные системы - не более, чем инструмент для решения их повседневных задач. Очевидна необходимость в настольных геоинформационных системах, то есть ГИС класса desktop.

Одним из важнейших критериев массовости является наличие версии программного продукта для PC, которые составляют около 60% работающей вычислительной техники в мире, и, наверное, более 90% в России.

Другой важный критерий, особенно актуальный для России - невысокая стоимость систем указанного класса, из которых в России и СНГ наиболее известны: ArcView (ESRI), MapInfo (MapInfo Corp.), Atlas GIS (Strategic Mapping Inc.), GeoGraph (ЦГИ ИГ РАН), Sinteks/Tri (Трисофт), WinGIS (Progis). Указанные системы отличает не слишком высокие требования к аппаратной платформе (процессор от 386 и, в среднем, около 8 Мб оперативной памяти) и относительная простота в освоении.

Данные

Первое, с чего начинает пользователь при выборе ГИС - средства представления данных. Сами собой возникают три вопроса:

- какие модели и форматы пространственных данных система поддерживает?

- какие базы данных могут быть использованы?

Типы пространственных данных

как эти два типа информации могут быть связаны друг с другом, или с другой информацией?

Из пространственных данных во всех рассмотренных системах применяются векторные и растровые, в некоторых - поверхности и сети. Два первых типа заслуживают детального рассмотрения как наиболее распространенные.

6.2. Типы пространственных данных

Векторная информация

Структура

Векторная информация представляют собой набор слоев (покрытий), каждый из которых содержит ряд векторных объектов (как правило, точек, линий и полигонов). Такая концепция - концепция слоев - поддерживается во всех рассматриваемых ГИС, но с некоторыми вариациями. Так, в одних системах каждый слой однороден, то есть содержит в себе объекты только одного типа - например, точки. В других системах в слое могут лежать объекты различных типов. В целом, это не принципиально, кроме случаев, когда речь идет о визуализации информации.

Однако на однородность слоев все же следует обратить внимание, так как это теоретически может быть необходимым условием решения одних задач и препятствием для решения других.

Подготовка

Несколько слов о подготовке векторной информации. Средства ввода и редактирования графической (метрической) информации редко бывают встроены в ГИС desktop-класса. Так, отечественная разработка GeoGraph обычно поставляется с картографическим редактором GeoDraw (самостоятельный программный продукт), в котором выполняется не только ввод графической информации, но и ее географическая привязка, а также присоединение атрибутивной таблицы. Если средства редактирования и присутствуют, то лишь как дополнение к функциональной части системы. На пример, в популярном па-

кете ArcView есть встроенный редактор шэйпов (shapes) (shapefile - собственный объектно-ориентированный нетопологический формат, воспринимаемый ArcView помимо покрытий Arc/Info), но он, на мой взгляд, не может рассматриваться как профессиональное средство создания карт, поскольку имеет весьма ограниченный набор функций.

В большинстве случаев графический редактор по отношению к ГИС является отдельным продуктом.

Отображение

Итак, множество объектов на карте перекрывается при их отображении, и требуется как-то отличать отдельные элементы карты. Для этого их отображают по-разному, о чем сообщается в легенде карты - дающей информацию о способе визуализации объектов. Отображение может быть различным в зависимости от того, к какому слою принадлежат объекты на карте (линейные - дороги и реки отображаются по-разному), или в зависимости от некоего количественного или качественного параметра, связанного с самим объектом (точечные - города, размер пунсона на карте зависит от количества населения). Легенда несет в себе информацию о том, каким цветом и каким заполнителем будут обозначены в разных слоях полигоны, каким типом линии проведены линейные объекты, какими значками показаны точные объекты и т.д. В легенде также отражается зависимость между внешним видом объектов и связанными с ним количественными или качественными параметрами (площадь, периметр, загрязненность, национальность...).

При отображении на плоскости участков сфероидической поверхности (к которым относится и земная) неизбежно возникают искажения. В зависимости от того, какая из характеристик: площадь, направление или расстояние, - являются наиболее значимыми при показе, какие районы являются наиболее важными, в работе используют различные способы проектирования земной поверхности на плоскость (картографические проекции). Для получения исходной информации могут быть использованы картографические материалы, составленные в различных проекциях. Для решения задач сов-

мещения исходной информации и ее наиболее адекватного отображения на экране монитора большинство из указанных систем поддерживает работу с наиболее употребительными проекциями (Меркатора, Гаусса-Крюгера, УТМ и т.д., всего около 20). В некоторых системах есть средства для описания пользовательских проекций.

Генерализация

Важно заранее представлять себе ту карту, которая появится перед конечным пользователем на экране или на бумаге, то есть какие элементы и как будут изображаться в зависимости от масштаба карты. Весьма полезна возможность при увеличении масштаба показать какие-то более мелкие объекты, более детализировать увеличенный фрагмент карты. Так, нефтегазовые месторождения на карте России масштаба 1:1000000 логично показать небольшими полигонами, а при увеличении одного из них показать отдельные нефтяные скважины, прилежащие здания, мелкие пути сообщения и коммуникации. Поэтому очень полезно, если в ГИС можно задать, какие объекты при каких масштабах будут видны, а при каких скрыты. Это организуется заданием для каждого слоя, от какого и до какого масштаба слой будет виден.

Далее, организация визуализации карты включает "защиту" от попадания нескольких деталей на карте в одно и то же место при переходе к мелкому масштабу. Это, в принципе, должно реализовываться автоматически системой - к примеру, чтобы, изрезанные береговые очертания при мелком масштабе не слились в сплошную широкую линию.

Продумывая структуру электронной карты, нужно помнить и о вложенности электронных карт. Дело в том, что некоторые системы предоставляют возможности hot link(а - горячей связи, или открытия нового документа при "выборе" объекта на карте. Простой пример, когда это может понадобиться - переход от просмотра мелкомасштабной карты страны с городами, к просмотру крупномасштабной карты выбранного города.

Растровая информация

Растры представляют собой, по сути, привычные для нас сплошные изображения. Это обычно отсканированная картографическая основа, аэро- или космические снимки, хотя растры могут представлять и статистическую информацию - распределение чего-либо на территории. В ГИС класса desktop не используются изолированные возможности обработки изображений (image processing). Растры отображаются как подложка под векторными слоями карты. С точки зрения карты растр - такой же слой, лежащий, естественно, ниже всех векторных. В качестве растров в большинстве систем берутся изображения в хорошо известных форматах BMP, GIF, TIFF, JPEG, Targa, PCX, и в некоторых других. Отображаемые системой ArcView grid(ы, или сетки, принципиально не отличаются от других видов растров, для их представления используются те же средства.

При работе с растром нужно обратить внимание на три момента - картографическую привязку, поддержку многокомпонентных изображений, и средства коррекции изображения. Привязка растра может представлять некоторые сложности, так как интегрирована не во все ГИС. В некоторых продуктах она выполняется отдельной программой, в других предполагается, что середина растра находится в центре системы координат, что является наименее удобным решением.

Обработка многокомпонентных изображений (в том числе и спутниковых) не входит в прямые задачи настольных ГИС.

Коррекция изображения реализована не во всех рассматриваемых системах. Цветовая коррекция может понадобиться для редакции палитры изображения с индексированными цветами (так называемые pseudocolor, или псевдоцветные изображения). Необходимость корректировки яркости или контраста растра в составе карты возникает очень редко. Средства геометрической коррекции изображений в настольные ГИС не встроены. Для этого существуют мощные специализированные средства image processing(a. Однако, следует знать, что и в настольных ГИС присутствуют некоторые минимальные средства работы с растрами.

Можно встретить немного задач, в которых применение ГИС ограничивалось бы только отображением векторных и растровых слоев. Требуется, как правило, хотя бы самые минимальные средства обработки этих данных. В зависимости от мощности системы это могут быть и простейшие картометрические операции, и запросы различной сложности (как к векторным графическим объектам, так и к базе данных) и простейшие функции пространственного анализа.

Пространственный анализ

Пространственные запросы - запросы к графическим объектам - являются одной из главных задач любой ГИС. Самый простой и известный из них - ручное выделение объектов на карте, когда Вы "мышью" выделяете один или несколько объектов. При этом подсвечиваются объекты, а также связанные с ними записи атрибутивной таблицы. Более же серьезные задачи решаются с помощью операций определения пространственного положения объектов(лежит внутри, лежит вне, включает,пересекает) относительно друг друга и относительно буферных зон .

Буферные зоны организуются логически вокруг графических объектов. Для точки буфером будет обычно круг, для линии и полигона - полигон. Буфер сам не является обычно объектом карты, он лишь служит для выделения пересекающих его или целиком лежащих в нем объектов, то есть работает, в конечном счете, с помощью оверлеев. Хотя в отдельных системах можно и создать графический объект из буферной зоны.

Атрибутивная информация

Структура

Выше я неоднократно упоминал об атрибутах графических объектов. Действительно, реальные физические объекты не только существуют, но и обладают некоторыми свойствами. Так, у города есть размер населения, у района - периметр и имя главы администрации, у страны - общая площадь и тип государственного управления. И для хранения всей этой информации применяются атрибутивные таблицы. В них каждому картографическому объекту соответствует запись базы

данных, отдельные поля которой - числовые, символьные, логические - определяют различные атрибуты объекта: номер, уникальное имя, степень загрязнения, дату создания, и еще что угодно. В зависимости от числовых и логических параметров можно по-разному показать разные типы объектов, скажем, различить асфальтовые, грунтовые и проселочные дороги.

Необязательно хранить все атрибутивные данные слоя в одной таблице - можно информацию из разных источников держать в разных таблицах, и связывать их (горизонтально, запись к записи) логически в одну большую таблицу. Для этого можно использовать одинаковое во всех таблицах и в то время уникальное в пределах отдельно взятой таблицы поле - номер объекта. Это важно, поскольку в современном мире информация постоянно меняется, то есть достаточно обновлять только одну из исходных табличек. Логическая связка будет действовать следующим образом - при выделении атрибутивной информации объекта в одной таблице выделение отобразится и во все другие. Таким вот методом можно связать несколько таблиц не только логически, но и физически "сшить" их в одну большую, хотя такая операция редко приносит пользу, скорее добавит проблем, связанных с ограничением на размер БД.

Обработка

В ГИС обычно встроены не только средства отображения базы данных, а есть также небольшая СУБД - модуль работы с таблицами. Он позволяет создать новую атрибутивную таблицу, заполнить ее (добавляя записи и поля), и, в отдельных системах, привязать ее к карте. К сожалению, операции реструктуризации базы поддерживаются далеко не везде. Так, в известном продукте ArcView после того, как база создана, нельзя даже переназначить имена полей - пользователю остается только задать отображаемые вместо истинных имен полей псевдонимы (aliases) или "спрятать" от пользователя отдельные поля в таблице. При этом никаких изменений в самой БД реально не происходит.

Не следует понимать, что графические объекты живут сами по себе, а атрибутика - сама по себе. Напротив, интеграция достигает порой той степени, когда графический объект физически хранится как одно из полей атрибутивной таблицы, несколько же других полей реально в таблице базы данных не существуют, а отображают автоматически отслеживаемые географические параметры объекта (длину, периметр, площадь...)

Логический запрос. Предположим, мы обрабатываем базу данных по ряду квартир. Нам нужно выбрать все те, у которых число комнат более 2-х.

На языке SQL этот запрос выглядел бы так:

```
SELECT ( FROM Sells  
WHERE Roomcount > 2
```

В ArcView (а его язык запросов базируется на SQL) этот же запрос задается следующим образом:

Тот же запрос с помощью шаблона QBE. (поддерживаются только элементарные логические операции; поля, значения которых безразличны, оставляются в шаблоне чистыми).

Анализ

Атрибутивные базы данных не только помогают по-разному отобразить объекты с различными свойствами. При выполнении пространственных запросов атрибутика помогает более точно идентифицировать объект - в самом простом случае мы можем указать объект на карте и получить о нем подробную информацию (номер, имя, размер и т.д.) Можно, разумеется, организовывать выбор объектов на карте посредством запросов к атрибутивной таблице, так как мы знаем, что выделение объектов связано с выделением их атрибутивных записей. В любой ГИС можно организовать запрос к атрибутике. Предпочтение отдается двум формам: языку запросов наподобие SQL (Structured Query Language), или шаблону, совпадающие с которым записи и выделяются. Последний называется QBE (Query By Example).

Говоря о запросах вообще (и пространственных, и атрибутивных), затронем логические операции. Первое, что надо знать - это операции с выборкой. В идеальном случае должны

быть команды "выбрать все объекты слоя", "отменить выборку для всех" и "инвертировать выборку". Второе - логические операции при запросах. Везде результаты более нового запроса перекрывают результаты предыдущего, но полезны бывают также "логическое умножение" (AND), "логическое сложение" (OR) и "исключающее или" (XOR) с предыдущей выборкой.

Подходы

В наиболее простом случае используются внутренние базы данных - то есть ГИС работает с ними на уровне файлового обмена, и поддерживает только несколько определенных. Это почти всегда dBase, более экзотичны Paradox и R:Base. Применение ASCII Delimited хотя и обеспечит восприятие Вашей базы данных большинством систем, однако скоростные характеристики при работе с ним весьма низки. У наиболее популярного в ГИС формата dBase II есть серьезное ограничение в 65 тыс. записей и размер одной записи не более 4 Кб, у других форматов ограничения также реальны. Чтобы избежать проблем при росте БД, можно прибегнуть к помощи внешних баз данных.

Внешние базы данных

Технология обмена с внешними базами данных заключается не в работе с их файлами напрямую, а в обращении к интегратору баз данных. В среде Windows из таких наиболее известный ODBC (Open DataBase Connectivity), другой интегратор - IDAPI производства Borland. Суть состоит в том, чтобы уже интегратор брал на себя проблемы работы или с файлами баз данных, или выполнял свою работу через "большие" СУБД, такие как Oracle, Informix и т. д. Во-первых, "верхняя планка" размерных ограничений таких баз гораздо выше, а во вторых, в руки ГИС дается простое и эффективное средство работы практически с любой БД. Однако взаимодействие с внешней базой все же сильно отличается от внутренней. Самым лучшим вариантом для ГИС было бы, несомненно, если бы работа с внешней БД проходила идентично внутренней, реально же в каждой геоинформационной системе оно имеет свою специфику. Так, ArcView, Atlas GIS, скажем, ограничи-

ваются копированием по SQL-запросу части внешней базы данных во временную внутреннюю, что, конечно, не является удовлетворительным решением для серьезных задач анализа информации. Такая система обмена является по сути и односторонней - об обновлении данных из ГИС во внешнюю базу речь не идет.

Технология

Типичная схема обмена с внешними БД

Поскольку "большие" СУБД применяются в основном тогда, когда обрабатываемая база данных достигает размера в десятки и сотни тысяч записей, становится уже невозможным хранить весь этот объем на локальном диске пользовательского компьютера. Приходится специально выделять высокопроизводительную систему с большим дисковым пространством - сервер баз данных - и хранить атрибутивные таблицы на нем в виде внешних баз данных под управлением Oracle, Informix и им подобных; обмен данными с рабочими местами осуществляется через сеть. На сетях мы остановимся подробнее.

Типичная схема обмена с внешними БД

Многопользовательский доступ

Одной из важнейших тенденций современного компьютерного мира является переход в сетевую среду. И в нашей стране, и за рубежом множество малых и средних компаний или уже соединили свои компьютеры в сеть (насколько эффективно, это уже другой разговор), или собираются это сделать в обозримом будущем. Важно то, что такая работа дает не только новые преимущества, но и принципиально новые проблемы. Первая - совместный доступ к данным. На заре развития PC, еще в MS DOS версии 3.30 были заложены определенные возможности по разделению доступа. Блокировка осуществлялась на уровне файлов - если файл модифицируется кем-то одним, то другие, в лучшем случае, могут его только просматривать. Можно было заблокировать файл и частично... Операционная оболочка Windows полностью наследовала DOS'у.

Перспективы

Но шли годы, развивались системы управления базами данных, и таких примитивных средств стало явно недостаточно. Поэтому желанию "тянуть" в будущее совместимость со старыми приложениями, с одной стороны, и необходимость достичь высокой производительности, с другой, побудили искать разработчиков свои средства сетевой поддержки. Первым по-настоящему серьезным шагом в области ГИС к полноценной сетевой поддержке стало появление Spatial Data Option корпорации Oracle. Причиной к этому стало создание альянса ESRI-Oracle. Вообще, в последние годы крупные производители стремятся создавать альянсы - ESRI вступает в союз с Oracle, MapInfo углубленно сотрудничает с Microsoft, а IBM представляет продукцию Vision Solutions. Насколько это выгодно пользователю - покажет время, однако уже ArcView версии 3.0 работает как клиент по отношению к серверу SDO (Spatial Data Option), что открывает возможности сетевого многопользовательского доступа к пространственным данным. Суть метода состоит в том, что с клиентского рабочего места подаются запросы на получение или модификацию графического объекта, а SDO-сервер уже управляет разделением доступа. Так появляется понятие не только внешних и внутренних атрибутивных, но также внешних и внутренних графических баз данных. О сетевом функционировании внешних атрибутивных баз данных специально говорить не нужно: для Oracle, Informix, Sybase сеть - естественная среда обитания.

Прикладные задачи

Мы рассмотрели теоретическую часть геоинформационной технологии применительно к настольным ГИС, но пока это, так сказать, существовало все абстрактно, без учета практического применения в жизни. Настал черед поговорить и о том, как геоинформационные системы помогают решить конкретные задачи.

ГИС вообще давно уже перестали быть чисто научными инструментами исследователя. Геоинформатика - наука прикладная, решающая проблемы других, тематических областей.

Даже самый полнофункциональный ГИС не может учесть потребности всех и каждого. Реальные же применения имеют свою специфику, которая может сильно расходиться с тем, что предполагал разработчик системы. Нарастающая функциональная часть - вот одна из важнейших черт современных геоинформационных систем. Вы можете создать свою, новую функцию, соединяющую сотню уже существующих в ГИС. Другая причина - напротив, "облегчение" системы. Пользователю не нужны средства работы с сетями, графами и рельефом, когда он только смотрит отдельные объекты на карте. Да и многое из того, что входит в основной модуль ГИС (а современная архитектура, в том числе подразумевает и модульность), может никогда не пригодиться. Зачем вся мощь системы, когда используется только малая часть? Конечному пользователю ГИС-проекта нужно только самое необходимое (под ГИС-проектом мы в данном случае подразумеваем очень широкое понятие: и исходные данные, обрабатываемые в рамках задачи, и удобную в отдельно взятом случае настройку системы, и алгоритмы обработки данных, разработанные специально для решения поставленной задачи). "Облегчение" системы снизит аппаратные требования пользовательского рабочего места и поможет не запутаться в своей работе самому пользователю. Вот эти причины - наращивание системы и устранение лишних функций - и вызывают необходимость в наличии инструментария, или инструментальных средств разработчика. Сам инструментарий включает две вещи: средства настройки пользовательского интерфейса и создания приложений. Результатом (в идеальном случае) должен быть runtime-модуль - минимальная версия ГИС, делающая только то, что ей предписано в рамках поставленной задачи, и так, как это в данном случае удобнее всего.

Пользовательский интерфейс - это средства общения программы с человеком. Он, что важно, является "лицом" программы, по нему пользователь составляет первое впечатление о программном продукте. Это, в конечном счете, серьезно влияет на потребительские качества продукта. Удобно организо-

ванный интерфейс зачастую не менее важен для пользователя, чем функциональная часть. Типичные возможности настройки интерфейса позволяют изменить главное меню программы, создать новые диалоговые окна программы, определить "горячие клавиши" (hot keys) для убыстрения наиболее часто повторяющихся операций. Настройка удобного интерфейса осуществляется или внутри самого ГИС, или отдельной программой, поставляемой вместе с ним.

Решения

Под ГИС-приложениями мы будем понимать специально разработанные для решения каких-то конкретных задач алгоритмы обработки данных. Если обобщить известные средства создания приложений, их можно четко разделить на две неравные группы.

Первая - преобладающая - располагает собственной, встроенной средой разработки, имеет свой оригинальный язык программирования. Это ArcView, MapInfo, Sinteks. Такие ГИС живут каждая "внутри себя", то есть и речи не идет о том, чтобы быстро и эффективно перенести приложение с одной ГИС на другую - слишком уж разные языки и идеология построения. Однако сам подход обладает тем несомненным достоинством, что обеспечивает 99-процентную межплатформенную переносимость. Попробуйте перенести приложение ArcView или MapInfo с PC на Macintosh - почти 99 процентов кода останется работоспособным ! Хотя, с другой стороны, достоинства платформенно-независимого кода можно и оспорить: в угоду переносимости мы существенно теряем в производительности.

Поэтому другая (меньшая) часть ГИС только помогает разработчику создать геоинформационное приложение, а сами среды разработки не несут в себе. GIS Component (Геоконструктор) GeoGraph - это библиотека для Visual-сред программирования (Visual C, Delphi); WinGIS вообще работает в режиме DDE-сервера, обслуживая запросы внешних программ, поэтому тут уже вообще сложно говорить о собственных средствах разработки ГИС-приложений. В этой, второй, группе

очень сложно также говорить о будущем перенесении Ваших приложений на другие платформы, однако относительно просто достигнуть высокой производительности - за программу целиком отвечаете Вы сами, программа ориентирована на конкретную архитектуру системы, оптимизация целиком в Ваших руках.

В обеих перечисленных группах в последние годы наметились следующие тенденции: переход к объектно-ориентированному методу, ориентация на непрофессионала даже в плане создания приложений, объединение максимума потенциальных возможностей (а именно - обмена с GPS, доступа к "большим" БД, средств импорта из форматов множества других систем) в рамках единой, интегрированной среды.

Схема DDE-взаимодействия.

Интеграция

Остановимся более подробно на вышеупомянутых средствах интеграции - DDE и OLE. DDE (Dynamic Data Exchange) - принятый де-факто в Windows стандарт динамического обмена данными. Это значит, что несколько программ в системе в реальном масштабе времени обмениваются информацией и вызывают функции друг друга. DDE - незаменимое средство интеграции различных технологий: ГИС и GPS, например. В идеологии DDE основными считаются следующие понятия: DDE-клиент, DDE-сервер и сеанс связи (conversation). Взаимодействие происходит следующим образом: два процесса через интерфейс DDE открывают сеанс связи; при этом один из них выполняет запросы другого, и, соответственно, является сервером. Термин процесс здесь выбран не случайно - он означает программу, выполняющуюся в системе изолированно от других; общепринятый в рамках многозадачных операционных систем, он лишней раз подчеркивает, что наш динамический обмен проходит абсолютно "прозрачно", незаметно для пользователя.

OLE - Object Link & Embedding - технология внедрения и связи объектов. Заключается она в том, что в один документ (скажем, в текст) внедряется другой (например, географиче-

ская карта). Внешне это выглядит как небольшое изображение, вставленное в текст, но "нажатие" мышью на карту может активизировать вызов другого приложения (скажем, ГИС) для обработки карты. У технологии есть две вариации - Link, когда внедренный документ физически хранится отдельно, и Embedding, когда внедрение происходит реально, "файл в файл". В рамках OLE тоже есть понятия клиента и сервера, но они очень условны: клиентом будет документ, в который внедрена наша карта; сервером - приложение, вызываемое для ее обработки.

Коммерческая сторона вопроса

Пытаясь сравнить несколько ГИСов, нельзя забывать и о коммерческой стороне вопроса: на российском рынке простые системы, стоящие не более 1000 долларов, сразу уже становятся более привлекательными для неискушенного пользователя, чем полнофункциональные продукты, которые стоят в 2-3 раза дороже.

Проблемы

Остро стоит у нас в стране вопрос лицензирования. Нормой жизни стало незаконное пользование краденным программным обеспечением. Но в этом виноват не пользователь - практикуемая на PC защита ключом несовершенна, ответственные "взломщики" программ высококвалифицированы, а западные производители далеки от реалий нашей жизни. Действительно, кто станет покупать более чем за 1000\$ операционную систему Windows NT, если ее можно получить за сумму в 200 раз меньшую, или вообще бесплатно? Спрос на ГИС не так высок, но он растет и рождает предложение - уже можно увидеть на "пиратских" компакт-дисках MapInfo с MapBasic версии 2.0 :

Если говорить о специфике рынка, то надо отметить высокую потребность в локализации, т.е. не только о переводе справочного руководства и меню ГИС на русский язык, а о детальном переводе всех компонентов. С ГИС чуть лучше общего отношения западных производителей программных продуктов к странам СНГ. На примере Microsoft, Borland, Symantec

мы видим и запоздалое, мягко говоря, появление новых версий, и крайне неохотную локализацию продукта, и большие сложности с технической поддержкой. Новые версии лучших программных продуктов выходят на всех мировых языках, но русскоязычных версий ждать приходится долее всего, часто безуспешно. Говоря о русификации ГИС, нужно отдать должное MapInfo Corp., которая первая серьезно отнеслась к российскому рынку. Два других продукта, при работе с которыми не будет языкового барьера, - GeoGraf и Sinteks/Trj, но это уже чисто российские разработки. Если же продукт не отечественный и не русифицирован, надо хотя бы предложить пользователю краткое руководство, как поступили в случае с ArcView.

Требования

Последнее, о чем хотелось бы подробно рассказать, - аппаратные требования. С сожалением отметим, что для пользователя этот вопрос зачастую первый и определяющий дальнейший выбор. Вначале уже было сказано, что нормой жизни считается 486 с 8 Мб памяти. Некоторые системы (GeoGraf, MapInfo) довольствуются меньшим, и только ArcView проявляет "повышенные" на первый взгляд, аппетиты - 12 Мб. Впрочем это оправдывается обширной функциональной частью. Если система уже хоть как-то работает на ПК, то главный параметр, определяющий производительность - объем установленной памяти. При его увеличении производительность растет не линейно, а с ощутимыми скачками при достижении 8 Мб, затем 12 - 16 Мб и, наконец, между 24 - 32 Мб. Причиной тому - специфика MS Windows.

Все же оптимальной конфигурацией для функционирования большинства ГИС следует считать 486 PC с 16 Мб памяти, быстрым дисковым контроллером (E-IDE или SCSI) и хорошим графическим ускорителем (S3 и Diamond Stealth). Несколько десятков мегабайт свободного дискового пространства - само собой разумеющееся. Это нормальное *пользовательское рабочее место*, на котором можно решать большинство задач.

7. ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ. СРЕДСТВА ОЦИФРОВКИ КАРТ С ТВЕРДОЙ ОСНОВЫ

Как известно, стоимость данных для ГИС составляет большую часть стоимости всего проекта. По некоторым источникам - до 70% затрат.

Источники получения цифровых карт:

- Оцифровка существующих карт на твердой основе
- Данные дистанционного зондирования
- Наземная съемка
- Конвертация существующих данных

Несколько слов об актуальности используемого материала. Большинство карт, создаваемых с твердой основы сильно устарели. Многие из них отображают состояние десятилетней и более давности. Хотя есть карты и новые, составляемые традиционными способами, и лишь затем переводящиеся в электронную форму.

Данные дистанционного зондирования делятся на аэро-съемку (крупномасштабные карты и планы) и мелкомасштабные (космическая съемка). Хотя в последнее время космическая съемка захватывает рынок аэросъемочных работ (доступное разрешение 4 м обеспечивает построение карт 1:20 000 масштаба, закрытое пока разрешение 2 м - 1:10 000; для создания цифровых карт по уже имеющимся данным разрешение 4м используется для обновления карт 1:10 000, 2 м - 1:5 000). В настоящее время известны примеры работ, в ходе которых данные аэрозалетов были обработаны в течение одного года.

Наземная съемка обрабатывается в течение нескольких месяцев.

Способы получения цифровых карт

Вы можете создавать данные сами или получать (заказывать) их извне. Соответственно доклад я хотел бы разделить на две части: инструменты для создания данных (только с твердой основы) и источникам готовых (заказываемых) карт.

В ходе своей работы часто приходится сталкиваться с мнением приступающих к созданию ГИС пользователей, которые считают, что создание цифровых карт - крайне простая работа, не требующая серьезной подготовки и умения.

Оцифровка - это профессиональная работа, требующая квалифицированных кадров, отлаженной технологической схемы, профессионального инструмента.

Самостоятельная оцифровка

Сканеры и дигитайзеры

Дигитайзерный метод эффективен при небольших объемах картографической продукции, порядка нескольких листов в месяц. Сканерный метод безусловно необходим в промышленном производстве порядка сотен листов в месяц. Подробная классификация сканеров дается в 2(9) номере "Информационного Бюллетеня".

Программы для оцифровки

Круг наиболее популярных программ, предназначенных для ввода с твердых носителей - ГИС Панорама (разработчик - Военно-топографическое управление, представление системы на рынке - ГеоСпектрумИнт), GeoDraw (ЦГИ ИГ РАН), Easy Trace (Easy Trace Group), IntelVec (АОЗТ "Тетраком"), MapEDIT (АОЗТ "Резидент"). Зарубежные системы ввода (корпорации Intergraph, фирм Bentley, Audre), несмотря на большие функциональные возможности применяются мало. Эти продукты используются в первую очередь в крупных организациях - системы дороги и продвигаются на рынок недостаточно активно, вероятно, от того, что платежеспособных фирм, профессионально работающих на рынке оцифровки, пока не так много. Рядовому потребителю больше известно о российских системах, чем о западных, благодаря активной рекламной позиции и широкой сети региональных партнеров, представляющих интересы российских фирм.

Общие тенденции

Наиболее распространенные системы для ввода предусматривают ручную и полуавтоматическую обработку. Среди перечисленных российских разработок лишь GeoDraw не об-

ладает инструментами для интерактивной векторизации. О практическом применении автоматических векторизаторов мне слышать не приходилось - время, требующееся на доводку таких материалов, зачастую превышает ручную векторизацию.

Стоимость перечисленных программ для оцифровки колеблется около 500\$.

Общей тенденцией стал вопрос создания не только инструмента, но и технологии. Так, ГИС-Панорама, изначально ориентированная на ввод топографических карт, имеет соответственно развитую технологическую поддержку, в систему жестко зашиты классификаторы. Как часть системы существует технология контроля качества.

Другие системы, например MapEDIT или Easy Trace, ориентированы на широкий круг вводимых материалов, имеют средства для создания своих систем классификаций. В этих системах тоже появились средства распараллеливания работ. Например, Easy Trace состоит из двух программ. ЦГИ ИГ РАН обладает опытом по использованию своего продукта в технологической цепочке, рассчитанной на 15 тысяч планшетов.

Многие программы осуществляют не только функцию редактирования, но и обрабатывают ряд других источников. Например, ГИС-Панорама, IntelVec обрабатывают и снимки (существует аналог IntelVec для обработки снимков - IntelPhoto), GeoDraw может воспринимать сигналы GPS, GeoDraw, MapEDIT, Easy Trace выходят на рынок в качестве конвертеров и систем для доработки/редактирования существующих карт.

Все перечисленные программы позволяют объединять исходные фрагменты, предусматривают функции для коррекции изображений.

Все эти системы позволяют получить не только графику, но и атрибутивные данные.

В рассматриваемых системах есть возможность использовать цветной растр. Средства редактирования растра представляются мало нужными, в большинстве пакетов они отсутствуют

В основном, системы ввода не предусматривают дописывание пользователями своих программ и процедур (для мелкого и среднего производства это не целесообразно, да и разработчики еще в состоянии отслеживать требования различных пользователей), для крупного производства (на мой взгляд) заметно применение своих средств или мощных импортных систем.

Если Вы выбираете инструмент для работы, поинтересуйтесь, есть ли возможность посмотреть его в действии (лучше в вашем регионе). Кроме перечисленных свойств, желательно, чтобы предлагаемый инструмент обладал следующими функциями:

- набором конверторов в интересующие вас ГИС;
- возможностью построения цепочно-узловой структуры;
- в ряде случаев должна обеспечиваться возможность установки положения векторного объекта или его составляющих посредством прямого ввода координат в заданных метрических единицах;

встроенные средства контроля корректности цепочно-узловой структуры должны выявлять нарушения структуры непосредственно в пакете векторизации до передачи информации в ГИС, где устранение таких ошибок без потери точности зачастую просто невозможно.

Векторизатор не должен заниматься "украшательством" с целью достижения сходства между исходным растровым изображением и его векторным аналогом. Любые заливки, штриховки или прорисовки специальных типов линий и сложных топографических знаков катастрофически замедляют скорость регенерации изображения на экране, зачастую затеняя исходное изображение и просто мешая процессу векторизации. К тому же все эти "украшательства" будут потеряны на этапе экспорта в конечную ГИС.

8. ВВЕДЕНИЕ В ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

Дистанционное зондирование (ДЗ) можно представить как процесс, посредством которого собирается информация об объекте, территории или явлении без непосредственного контакта с ним. Методы ДЗ основаны на регистрации в аналоговой или цифровой форме отраженного или собственного электромагнитного излучения участков поверхности в широком спектральном диапазоне. Космическое зондирование, интенсивно развивающиеся в последние десятилетия, предоставило наукам о Земле новые возможности для исследования земной поверхности. За этот период существенно возросли объем, разнообразие и качество материалов ДЗ. К настоящему времени накоплен огромный фонд (более 100 миллионов) аэрокосмических снимков, полностью покрывающих всю поверхность Земли, а для значительной части районов с многократным перекрытием.

Часть данных ДЗ (ДДЗ) сразу поступает в цифровом виде, что позволяет непосредственно использовать для их обработки современные компьютерные технологии. Снимки на фотоносителях могут быть преобразованы в цифровую растровую форму представления с помощью специальных сканирующих устройств (сканеров). Цифровое изображение в форме растра представляет из себя матрицу чисел. Каждый элемент этой матрицы, называемый пикселом, отвечает какой-либо характеристике (отражательной способности, температуре и т.д.) участка местности в определенной зоне электромагнитного спектра. Следует отметить, что размер этого участка зависит от разрешения снимка. Данные многозональной съемки в цифровом виде можно рассматривать как многомерную матрицу, в этом случае каждому участку поверхности будет соответствовать целый набор значений, называемый вектором характеристик. Следует отметить, что основные методы тематической

обработки ДДЗ, специфичные для многозональной съемки, основаны на операциях с многомерными матрицами.

Системы для обработки ДДЗ появились фактически в результате дальнейшего качественного развития программных средств, предназначенных для цифровой обработки изображений общего назначения (графических редакторов) таких, как PhotoStyler, PhotoShop и т. п. Оба класса систем имеют много общего: работают с растровой моделью данных, используют базирующиеся на аналогичном математическом аппарате методы обработки изображений. Однако следует отметить ряд существенных отличий, связанных со спецификой данных зондирования:

- ДДЗ - это файлы весьма большого объема, для эффективной работы с которыми, необходимы специальные средства, в том числе особые форматы данных.
- ДДЗ - это многомерные данные, число и параметры спектральных зон съемки которых не позволяют трактовать их как RGB изображения, кроме того, могут использоваться еще и другие координаты измерения (например, время).
- ДДЗ нуждаются в предварительной геометрической, радиометрической и радиационной коррекции.
- ДДЗ - это пространственная информация, имеющая, как правило, координатную привязку.
- Возможность быстрого перехода от предварительной обработки и тематического дешифрирования к выполнению операций моделирования и пространственного анализа средствами геоинформационных систем (интеграция в ГИС).

8.1. Особенности применения данных дистанционного зондирования при работе с геоинформационными системами

1. Краткая история и условия использования ДДЗ

Данные дистанционного зондирования (ДДЗ) прежде использовались в основном в рамках географических информационных систем (ГИС). История развития методов ДЗ и ГИС очень интересна и началась более чем 100 лет назад. Ранние ГИС, еще до появления компьютеров, использовали нарисованные от руки и накладываемые друг на друга слои (кальки) из прозрачного материала, которые содержали информацию о почвах, рельефе и растительности. Разглядывая их на просвет, ландшафтные архитекторы и градостроители могли принимать обоснованные решения о наилучших местах для размещения новых сооружений, учитывая практические потребности и параметры окружающей среды. В начале 1960-х гг. разработанные в Гарвардском университете и MIT универсальные компьютеры и программное обеспечение, сформировали основу для автоматизированной обработки географической информации. Будучи примитивными в сравнении с сегодняшним уровнем, они, тем не менее, были предвестниками технологии, которая сегодня называется ГИС.

В 1969 г. г-н Данжермонд основал ESRI, который сегодня является мировым лидером ГИС индустрии, создающим программное обеспечение и предоставляющим другие услуги для более чем миллиона пользователей, постоянно расширяющим свою технологическую базу и долю на рынке.

Цифровые ДДЗ вышли на сцену в 1972 г. с запуском первого спутника LANDSAT, и последние 25 лет они вели нас к рубежу совершенно новой эры коммерчески доступных материалов с высоким разрешением и почти в реальном времени. ДДЗ играют все большую роль в создании и обновлении баз данных ГИС. Фундаментальные исследования, лежащие в основе этих технологий, служат тем ключом, который за последние два десятилетия породил совершенно новую отрасль.

Не менее интересны, чем прошедшие 25 лет, текущий период и ближайшее будущее – это наиболее обещающие и интересные этапы в истории дистанционного зондирования и ГИС. Мы находимся на пороге нового "Века изобразительной информации". Слияние ГИС и дистанционного зондирования

создает не предполагавшиеся ранее возможности улучшения качества жизни американского общества и мирового сообщества в целом. Относится ли приложение к археологическому открытию "в реальном масштабе времени" затерянного в джунглях храма индейцев Майя, или к уничтожению непарного шелкопряда в лесах Мичигана, пользователи постоянно движутся вперед, используя дистанционное зондирование так, как никто даже не предполагал при запуске LANDSAT 1 в 1972 г. Далее мы приведем примеры таких приложений.

2. Бурный рост рынка ДДЗ

Объем и темпы роста рынка дистанционного зондирования – ключ к пониманию его потенциала. Фактический рост сбыта данных между 1992 г. и 1997 г. оказался почти вдвое выше, чем прогнозировалось. А прогноз на ближайшие несколько лет, основанный на ожидаемой доступности спутниковых изображений с разрешением 1 – 4 метра, ясно предсказывает резкое увеличение спроса. Такие ДДЗ будут поступать с сети новых спутников, запускаемых рядом международных агентств. В ближайшие 2-5 лет будет запущено более пятидесяти новых спутников для сбора ДДЗ. Эти данные покроют весь спектр пространственного и спектрального разрешения. А увеличение пространственного разрешения от 30 до 1 метра открывает совершенно новые возможности использования ДДЗ, которые раньше и не предполагались.

3. Примеры успешных разработок на основе ДДЗ

В контексте геоинформационных систем, ДДЗ могут быть движущей силой успешных приложений местного, общенационального и даже мирового масштаба. При объединении ДДЗ с соответствующими инструментальными средствами (программное обеспечение) и услугами (обучение и поддержка) может быть получен новый конечный продукт, обеспечивающий эффективное решение определенной задачи. В каждой фазе этого подхода очевидна роль фундаментальных исследований, о чем будет сказано ниже. Приведем четыре небольших примера успешных разработок, иллюстрирующих лишь неко-

торые из многочисленных приложений дистанционного зондирования:

Пример 1: Проект "Американские Леса" по программе "Городские Леса" показал важность лесных насаждений для городских условий. Используя дистанционное зондирование и другие методы ГИС, включенные в программное обеспечение CITYGREEN (см. ARCREVIEW №3(10) за 1999 г., стр. 8), удалось обнаружить прямую корреляцию между снижением численности деревьев и ростом стока ливневых вод и загрязнения воздуха. Городская среда ставит трудную задачу по обработке ДДЗ. Тем не менее, при использовании специальных алгоритмов было обнаружено, что в городских областях Пьюджет-Саунд утрачено 37% деревьев, которые перехватывали 34 млн. кубометров воды и 16 тыс. тонн загрязнителей, вызывающих разрушение озона. Проект также помог определить, где следует высаживать деревья, чтобы улучшить городскую среду. Разработка доведена до настоящей системы управления, способной помочь любому городскому планировщику. Дополнительную информацию о проекте можно получить по адресу www.amforest.org.

Пример 2: Защитные дамбы в Соединенных Штатах должны противостоять паводкам и наводнениям, которые могут возникнуть с вероятностью один раз в 100 лет. Недавно по заказу компании Consumers Power была разработана и реализована методика соотнесения существующих почвенных карт с ландшафтными данными, полученными по растровым изображениям. Этот подход обеспечил быстрое создание карты стока по бассейну р. О-Сейбл всего за 20% стоимости, необходимой при использовании традиционных методов. Кроме того, выполненный анализ оказался значительно более точным.

Пример 3: Фирмой Maryland Consulting для проведения анализа производства сельскохозяйственной продукции по малоизученным территориям была разработана и реализована методика, на 60% уменьшающая время и стоимость такого анализа. Вместо закупки и обработки данных LANDSAT на большие территории компания создала линейную регрессион-

ную модель для определения вероятной ошибки выделения сельскохозяйственных областей по снимкам AVHRR. Корректность модели была проверена по снимкам более высокого разрешения. Была статистически доказана достоверность классификации ландшафтов на региональном уровне. Эта методика теперь применяется для сельскохозяйственных оценок в Северной Корее и Китае.

Пример 4: Корпорация SPOT IMAGE инициировала программу обзора состояния сельскохозяйственных полей и современных методов ведения сельского хозяйства. Она предоставляет через Internet данные ДЗ и простые в использовании программные средства, которые по ценам вполне доступны фермерам Среднего Запада. С их помощью фермеры могут следить за состоянием своих полей, своевременно и выборочно вносить дорогостоящие удобрения. Это выгодно производителям и приносит экологическую пользу всему обществу.

4. Быстрое развитие программного обеспечения

Ключевой элемент в успешном применении ДДЗ – наличие простых в использовании и доступных программных средств. Чтобы извлекать из снимков наиболее полезную и точную информацию, эти средства с самого начала должны разрабатываться с пониманием всех аспектов дистанционного зондирования, включая конструкцию сенсора, его геометрию, радиометрические, орбитальные параметры и сложные форматы данных.

Сейчас уже существует обширный спектр коммерчески доступных программных средств, которые отвечают этим критериям. Для рынка ГИС доминирующей системой программного обеспечения является пакет ArcView GIS от ESRI с более чем 200 тыс. инсталляций. Для обработки ДДЗ в среде ArcView создан модуль Image Analysis, который имеет специальные средства извлечения полезной информации из изображений и полной интеграции их в ГИС.

5. Роль правительства США и коммерческого сектора

Правительство должно найти способ стимулировать коммерческий сектор. Первый шаг состоит в признании того, что

разработка специальных алгоритмов обработки данных не должна требовать отказа от уже существующей технологической базы. Всё разработанное государственными организациями программное обеспечение для работы с ДДЗ должно быть объектно-ориентированным, иметь развитый, основанный на стандартных средствах интерфейс прикладного программирования (API), легко встраиваться в любой коммерческий программный пакет. Благодаря этому подходу "принятия алгоритма", разработки государственных и академических организаций будут коммерчески жизнеспособными.

Правительство не должно сосредоточиваться исключительно на компенсации затрат на развитие алгоритмов и закупку пространственных данных. Если только доступ к файлам TIGER позволил почтовой службе UPS использовать на 20% меньше грузовиков, то преимущества от сокращения расходов на ремонт дорог и снижение выбросов озоноразрушающих загрязнителей во много раз перекрывают стоимость данных.

Наконец, правительство должно принять стандарты форматов данных, а не создавать их заново. Нет ничего плохого в том, что правительство будет предоставлять пространственные данные в коммерческих форматах при условии, что формат открытый, полностью документированный и не требуется оплаты за его использование. К сожалению, из-за того, что внутри государственных организаций данные распространяются в своих стандартах, коммерческие организации тратят большие ресурсы, чтобы просто написать подпрограммы ввода-вывода для новых версий громоздких государственных спецификаций типа SDTS, NLAPS и других. Коммерческие форматы данных доказали свою надежность, а процедуры прекодирования данных достаточно хорошо разработаны.

Вторая задача состоит в использовании ДДЗ исследовательскими агентствами правительства США. Наш опыт и коммерческая перспектива указывают на заметную активность в этой области. Технологии дистанционного зондирования можно найти почти в каждом правительственном агентстве, где

они используются для исследовательских и прикладных целей. К таким известным федеральным организациям относятся, в частности, Государственный департамент, Федеральное агентство по чрезвычайным ситуациям (FEMA), Лесная служба, Управление по охране окружающей среды, Бюро переписи, Федеральная ассоциация авиации, Национальный отдел безопасности на транспорте, ФБР, Министерство энергетики, Служба парков и Геологическая служба США. Специальные правительственные лаборатории, использующие наше программное обеспечение, включают, но не ограничиваются следующими учреждениями: Sandia, Lawrence Livermore, Pacific Northwest, Топографический инженерный центр, Центр контроля заболеваемости, Экспериментальная станция водных путей, Национальные лаборатории Argonne и Национальная лаборатория Oak Ridge. Естественно, NASA и Лаборатория реактивного движения (JPL) – две главные силы продвижения технологии дистанционного зондирования.

Мы также рады видеть лидерство, демонстрируемое Министерством обороны и Национальным агентством по картографии и космическим съемкам (NIMA), а также и другими государственными организациями, работающими со снимками, в их тесном сотрудничестве с коммерческим сектором. Тенденция, которую мы наблюдаем – сильный положительный сдвиг в сторону использования как коммерческих снимков, так и коммерческих программных средств. Кроме того, теперь в правительстве ведется важная работа, благодаря которой снимки из недоступных ранее источников преобразуются в несекретный формат через выбранные каналы. Ее цель в том, чтобы сделать эти данные доступными в государственных организациях, таких как FEMA, занимающихся чрезвычайными ситуациями – ураганами, пожарами, наводнениями, землетрясениями и т.д. Такой ход событий радует нас, но я понимаю, что национальная безопасность имеет приоритет над любым коммерческим интересом и, следовательно, мы должны быть внимательны к защите наших источников данных и методов обработки от несанкционированного доступа или непродуман-

ных решений. Защита информации – обширное поле для применения результатов фундаментальных исследований.

6. Тенденции на ближайшее будущее, существующие проблемы и рекомендуемые действия

Мы видим связь между усовершенствованиями в технологии, ростом рынка ГИС и дистанционного зондирования. Наблюдается также тенденция ухода от заказных аппаратно-привязанных решений к решениям в виде гибкого корпоративного программного обеспечения. С этим связано развитие применения ГИС и дистанционного зондирования от отдельных разрозненных пользователей до целой корпорации и распространение технологии до уровня всего общества. С появлением метрового разрешения, снимки "персонального масштаба" станут катализатором таких изменений. В будущем Internet станет главным каналом распространения ДДЗ. Мы предполагаем, что появится канал "домашних покупок" для заказа изображений, к которому будут обращаться через "информационный прибор", известный нам сейчас в виде трех отдельных устройств: телевизора, телефона и компьютера. Будущее станет трехмерным и фотореалистичным.

Существенно также и то, чтобы в будущем эта технология больше помогала людям с ограниченными возможностями. Уже проводились многие гуманитарные акции по оказанию помощи с использованием ДДЗ. Эти усилия должны расширяться и далее.

Сегодня главная проблема, которую нужно решить – конкуренция государства с частным сектором в области разработки программного обеспечения. Правительство должно принять оправдавшие себя коммерческие базовые стандарты и строить всё на их основе, а не создавать "доморощенные" коды, которые дорого поддерживать "для себя" и едва ли возможно будет внедрить в среде массовых пользователей.

8.2. Источники пространственных данных

Цифровую обработку ДДЗ можно разделить на следующие основные (типовые) группы операций:

- Восстановление или коррекция.
- Предварительная обработка.
- Классификация.
- Преобразование изображений.
- Специализированная тематическая обработка.

8.3. Восстановление (коррекция) видеоинформации

Основной задачей восстановления изображений является исправление получаемых данных для достижения как можно более правдоподобного изображения земной поверхности. ДДЗ содержат целый ряд случайных, системных и систематических искажений, связанных с влиянием атмосферы, кривизны Земли, движения съемочного аппарата относительно ее поверхности в момент съемки, физическими характеристиками используемых датчиков и каналов связи. Для устранения упомянутых, довольно многочисленных искажений, с учетом их специфики, используется коррекция нескольких видов: радиационная, радиометрическая, геометрическая и калибровка. Радиационное восстановление связано с корректировкой количества электромагнитной энергии принимаемой каждым датчиком, поскольку атмосфера не одинаково пропускает излучение различных участков спектрального диапазона. Калибровка заключается в преобразовании безразмерных данных, получаемых с датчиков отдельных спектральных зон в истинные нормализованные значения отраженной или излучаемой энергии. Еще одна операция радиометрической коррекции связана с устранением искажений, вносимых самими датчиками и устройствами передачи и приема данных (системных искажений). Геометрическая коррекция или трансформирование снимков предназначено для устранения искажений вызванных кривизной и вращением Земли, а также углом наклона орбиты

спутника к плоскости экватора. Этот вид коррекции на первом этапе может выполняться автоматически по информации о параметрах орбиты спутника. Более точное трансформирование и привязка снимка к определенной координатной системе обычно выполняется с использованием интерактивно задаваемых опорных точек. В процессе трансформирования происходит пересчет значений пикселей на новую сетку раstra, при этом формы объектов на изображении в большей или меньшей степени меняются, а рамка снимка из обычно прямоугольной превращается в параллелепипед или в более сложную фигуру с криволинейными границами. Часто для представления и совместной обработки материалов разных видов (типов) съемок, а также разновременных снимков одной и той же территории, используется проекция называемая ортопланом, которая применяется в мировой практике в качестве обменного стандарта. При геометрической коррекции фотографических изображений высокого разрешения устраняются искажения возникающие за счет рельефа местности.

8.4. Предварительная обработка изображений

Основное предназначение этой группы операций - модификация данных с целью улучшения зрительного восприятия изображения, либо преобразование его в форму, более удобную для дальнейшего визуального или компьютерного анализа. По особенностям организации обработки данных, операции этой группы можно разбить на несколько типов. К первому типу относятся модификации значений каждого отдельного пикселя, выполняемые, как правило, с использованием табличного способа представления преобразующей функции (таблица перекодировки). Различные виды линейного и нелинейного контрастирования, предназначенные для улучшения визуального восприятия видеоинформации, являются характерными представителями данных преобразований. Следующий тип - это локальные операции, особенностью которых является модификация значения каждого элемента изображения

с использованием значений соседних пикселей в какой-либо ограниченной (локальной) окрестности. Типичными преобразованиями этого вида являются операции фильтрации изображений. Сглаживающие или низкочастотные фильтры позволяют снять шум и убрать мелкие детали, что позволяет получать более однородные участки изображения, пригодные для дальнейшей обработки с целью выявления тех или иных объектов. Высокочастотные фильтры предназначены для выделения или подчеркивания перепадов значений пикселей, что используется при поиске на изображении границ объектов и выявлении различных структур, проявляющихся в виде сдвига или скачка значений элементов изображения. Преобразования геометрических характеристик изображений составляют следующий вид рассматриваемой группы операций. К ним относятся: монтаж (мозаика) изображений из отдельных снимков или их фрагментов; вырезание нужного фрагмента; сжатие изображения или его растяжение; трансформирование снимка в какую-либо картографическую проекцию. Еще один вид рассматриваемых операций предназначен для создания различных цветовых композиций оптимальных для визуального восприятия. Эта группа преобразований позволяет получать цветные изображения в условных (ложных) и псевдоцветах, что является одним из способов обработки многомерных видеоданных.

8.5. Классификация

Классификация - это тематическая обработка, которая позволяет производить автоматизированное разбиение снимков на однородные по какому-либо критерию области (классы объектов). Получающееся при этом изображение называется тематической картой. Поскольку обычно выделяют содержательно интерпретируемые классы объектов, то классификацию можно рассматривать как процедуру автоматизированного дешифрирования ДДЗ. Процедура классификации основывается чаще всего на статистическом анализе различных характеристик изображения: пространственных, спектральных или временных. К простейшим полезным пространственным характери-

стикам относятся: текстура, контекст, форма и структурные соотношения. Под временными характеристиками следует понимать сезонные изменения земных покровов (особенно растительности), которые могут служить их индикаторами. Однако принято считать, что основную информацию о природе объектов на земной поверхности содержат их спектральные характеристики. Поэтому в большинстве известных алгоритмов классификации используются спектральные образы (сигнатуры) типов покрытий.

Различают два основных методологических подхода к проведению рассматриваемой процедуры: классификацию с обучением и автоматическую классификацию. В случае классификации с обучением, задача состоит в обнаружении на изображении объектов уже известных типов, что требует некоторых предварительных знаний об исследуемом участке земной поверхности. На первом шаге процедуры необходимо интерактивно выбрать на изображении эталонные участки являющиеся характерными (типичными) представителями выделяемых классов объектов. Этап обучения заключается фактически в расчете и анализе некоторого набора статистических характеристик распределения значений пикселей составляющих эти полигоны. Однако большей популярностью пользуется другой вид классификации, который не требует дополнительной наземной информации и глубокого знания дистанционных методов обработки. Методологической основой автоматической классификации является кластерный анализ, в ходе которого пытаются определить все встречаемые типы объектов при некотором уровне обобщения (выбранных критериях объединения, разделения или числа классов), а задача их интерпретации решается на втором этапе. Существуют алгоритмы сочетающие элементы классификаций с обучением и автоматической.

По способу отнесения отдельных элементов изображения к тому или иному классу объектов, различают жесткие и мягкие классификаторы. В случае жестких (традиционных) классификаторов, принимается строго определенное решение от-

носителем принадлежности пикселей к некоторому классу. Мягкие же классификаторы оценивают вероятность, с которой анализируемый элемент изображения может принадлежать всем рассматриваемым классам покрытий (включая и неизвестные). Современные классификаторы позволяют также вводить элемент неопределенности на разных стадиях процесса, что допускает присутствие смешанных классов покрытий в каждом отдельном пикселе (субпиксельная классификация). Еще один сравнительно новый вид классификации связан с обработкой гиперспектральных данных. Такие данные поступают с экспериментальных систем ДЗ работающих с очень узкой шириной зон традиционного спектрального диапазона, что увеличивает количество спектральных каналов до десятков и даже сотен. В этом случае для автоматизированного выделения классов объектов покрытий используются библиотеки спектральных кривых различных земных материалов.

Часто возникает необходимость тематической корректировки результатов классификации, особенно автоматической, выполняемой фактически по информационным характеристикам объектов. Для этого используется целый набор процедур, называемый операциями после классификационной обработки: слияние классов, разделение классов, устранение мелких ложных объектов, сглаживание границ объектов и т.п.

Важным этапом в процессе классификации является оценка точности полученных изображений, которая может выполняться как по данным полевых измерений, так и путем сравнения с соответствующими тематическими картами.

Данная область обработки ДДЗ в настоящее время довольно интенсивно развивается: появляются новые классификаторы, основанные на последних достижениях в области моделирования искусственного интеллекта и других областях прикладной математики (например, нейронные сети).

8.6. Преобразование изображений

Эта группа операций позволяет создавать новые (вторичные) изображения в процессе математических преобразований нескольких спектральных зон исходного (первичного) изображения. Данный вид операций часто называют алгеброй изображений. Одним из широко используемых вторичных изображений являются различные вегетационные индексы, которые вычисляются как линейная комбинация инфракрасного и красного спектральных каналов. Другой пример вторичных видеоданных - изображение главных компонент первичного снимка. Анализ главных компонент используется для преобразования нескольких спектральных зон снимка таким образом, чтобы новые зоны вторичного изображения (называемые компонентами) не коррелировали друг с другом и располагались в порядке убывания количества информации, которую они содержат. Каждая такая компонента всегда несет только уникальную информацию, причем первые несколько новых зон содержат большую часть информации о первичном изображении.

8.7. Специализированная тематическая обработка

К этой группе относятся операции выделения каких-либо специфических природных или антропогенных объектов. Обычно такие объекты детектируются именно по их характерным особенностям. К этому типу относятся, например, операции предназначенные для обнаружения и выделения линейных или кольцевых структур.

Материалы дистанционного зондирования - аэро- и космосъемка - доступные материалы для извлечения различной полезной пространственной экологической информации, изготовления различных тематических карт и обновления данных в ГИС.

Здесь рассмотрим только материалы, имеющие прямое отношение к российским регионам и полезные экологами. Системы, мало пригодные для экологических целей, подробно не описываются (например, съемки всего полушария в целом).

Важнейшей характеристикой аэро или космоснимка является его разрешение на местности - чаще всего чем оно выше, тем лучше; а второй по важности количество спектральных зон, в каждой из которых одна и та же местность должна быть снята - чем их больше, тем больше возможностей для получения информации (то есть у дешифровщика оказывается несколько идентичных снимков, только сделанных каждый в своей зоне спектра). Простейший случай - панхроматический снимок, он делается просто в видимом свете, то есть сразу в нескольких зонах спектра. Это обычная фотография.

Космические снимки сейчас могут иметь практически те же масштабы и разрешение, что и аэро. Однако аэросъемка имеет свою нишу. Это наиболее оперативный способ для получения данных высокого разрешения для конкретных небольших территорий и аэросъемка обычно дешевле в случае очень высоких разрешений (десятки сантиметров). Кроме того, при съемке длиннофокусной оптикой равнинной местности геометрическая точность аэроснимка настолько высока, что можно обойтись без геометрической коррекции.

Основные наиболее применимые типы съемок:

- фотоснимки (аналоговые снимки) - негативы с фотоаппарата и отпечатки с них;
- цифровые снимки - принимаются с фотосканеров, тепловых сканеров и матриц светочувствительных элементов - "CCD2-D array";
- радиолокационные снимки (впрочем, они тоже являются цифровыми).

Цифровые снимки принимаются из космоса на приемных станциях, а негативы аналоговых снимков отстреливаются на Землю в капсуле. Цифровые снимки по сравнению с аналоговыми значительно удобнее для применения, поскольку не требуют для компьютерной обработки предварительной прецизионной оцифровки на специально откалиброванных сканерах.

Аэроснимки

Аэроснимки на все территории в большом количестве имеются в фондах аэрогеодезических предприятий, которые

их производят. Там можно заказать отдельные негативы, отпечатки или накидной монтаж. Эти материалы кроме того на сельскохозяйственные регионы имеются в институтах НИИГи-прозем, на отдельные территории обычно можно найти и в других организациях. С распространением в 90-е годы малой авиации, в частности мотодельтапланов, аэросъемку многие нуждающиеся стали делать самостоятельно.

Российские космические снимки

Дистанционным зондированием из космоса и эксплуатацией предназначенных для этого космических аппаратов и наземных средств приема в России занимаются ведомства Росийского космического агенства (РКА), Минобороны, Роскартографии и Росгидромета. При этом гражданские спутники контролируются Российским космическим агенством.

В России всего пять первичных производителей материалов зондирования из космоса:

- Центр конверсионных технологий (ЦКТ)
- Государственный научно-исследовательский и производственный центр "Природа" (Госцентр "Природа")
- Межотраслевая ассоциация "Совинформспутник"
- Научно-исследовательский центр изучения природных ресурсов НПО "Планета" (НИЦ ИПР)
- Научно-инженерный центр "Алмаз" НПО "Машиностроение" (НИЦ "Алмаз").

Реально источников получения российских космических снимков больше, но другие источники являются вторичными. Например, ряд организаций в разных регионах уже имеют собственные автономные приемные комплексы и сами принимают съемку со спутника.

Центр конверсионных технологий Российского космического агенства организован около 1994 г. и сейчас производит съемку новейшими системами, как фотографическими, так и цифровыми. Для простых граждан снимки ЦКТ не доступны.

Межотраслевая ассоциация "Совинформспутник" один из самых старых производителей космосъемки. Производящим элементом в ней является Научно-производственный

ракетно-космический центр "ЦСКБ-Прогресс" в Самаре. Совинформспутник эксплуатирует спутники серии "Космос" и выполняет съемку с помощью камер ТК-200, ТК-250, ТК-350 и КВР-1000 (цифра означает фокусное расстояние в мм.). Снимки фотографические, панхроматические, черно-белые:

- Камера ТК-200: разрешение 30 м., один кадр охватывает 225x225 км.
- ТК-250: разрешение 20 м., в кадре 200x270 км.
- ТК-350: разрешение 10 м., кадр 200x300 км.
- КВР-1000: одна из лучших, имеет разрешение 2 м., в кадре полоса 40x180 км. (эти снимки секретны).

Совинформспутник предлагает главным образом рассекреченные снимки, сделанные военными спутниками до 90-х годов. На многие регионы в ЦСКБ есть много снимков разных лет (архив находится в Москве). Им выпущен также распространенный в открытой продаже снимок в полиграфическом исполнении "Жемчужина России - Самарская Лука из космоса". Он имеет масштаб 1:110 000 и фактическое разрешение около 12 м. Дата - 12 июня 1991 г. Область применения снимков Совинформспутника достаточно узка. Их недостатки - единичность (съемка нерегулярна, на какие-то районы снимков нет вовсе), плохое соответствие компьютерным методам обработки (снимки аналоговые, сделаны в одной зоне спектра). Однако, с деятельностью МА "Совинформспутник" в ближайшее время, вероятно, может быть связана наиболее перспективная из гражданских отечественная система космического наблюдения. Центром "ЦСКБ-Прогресс" разрабатывается комплекс "Ресурс-ДК" для многозональной сканерной съемки высокого разрешения (1.7-4 м. в различных зонах). Запуск планируется в 1999 г.

Госцентр "Природа" Роскартографии (Москва) также один из старых производителей и хранителей космоснимков для гражданских нужд. Он эксплуатирует спутники серии "Ресурс-Ф", запускавшиеся в 1974-1993 гг. до 5 раз в год. Сейчас новых снимков в "Природе" нет. ГЦ "Природа" вел съемку с

помощью камер КФА-1000, КФА-3000, МК-4, КАТЭ-200. Снимки фотографические:

- КАТЭ-200: трехзональные, разрешение 20 м., площадь кадра 50 000 км².
- КФА-1000: как панхроматические черно-белые, так и двухзональные (в зависимости от пленки), разрешение 5 м., площадь кадра 6400 км².
- КФА-3000: панхроматические черно-белые, разрешение 2-3 м., площадь кадра 440 км². (эти снимки секретны)
- МК-4: трехзональные (зеленый, красный, ближний инфракрасный зоны), разрешение 8-10 м., площадь кадра 30 000 км².

Наиболее популярны снимки МК-4. Эти снимки 90-х годов есть на многие территории, многозональность также их положительное качество. Но для применений, требующих регулярного и оперативного поступления информации, они также непригодны. Стоимость снимков МК-4. Негатив размером 18x18 см. на март 1996 г. стоил 13 т.р. Каждый отпечаток, разогнанный до масштаба примерно 1:250 000, размером 60x60 см., стоил 26 т.р. Уже синтезированные по трем каналам отпечатки, соответственно, 120 т.р. Но насколько нам известно, в 1997 г. цены были подняты в 20 раз. Специальный заказ витка Ресурс-Ф на 1997 г. стоит 10 млн. руб.

Научно-исследовательский центр изучения природных ресурсов НПО "Планета" Росгидромет, находится в г. Долгопрудный, с офисом в Москве. Эксплуатирует спутники типов "Ресурс-О" (серии "Ресурс-О1" и "Ресурс-О3"), "Метеор" ("Метеор-2" и "Метеор-3") и "Океан". Производит съемку низкого и среднего разрешения гидрометеорологического, природно-ресурсного и океанографического назначения. "Ресурс-О" с 1991 г. ведет съемку с помощью сканеров МСУ-Э, МСУ-СК и МСУ-С. Съемка цифровая:

- МСУ-СК: разрешение 160 м., пять спектральных диапазонов (зеленый, красный, два в ближнем инфракрасном и дальний инфракрасный)

- МСУ-Э: разрешение 45 м., трехзональная (желто-зеленая, оранжево-красная и ближняя инфракрасная зоны спектра), каждый снимок представляет собой полосу шириной 30-40 км. в направлении с с-с-в на ю-ю-з.

Спутники "Метеор" производят телевизионную съемку в световом диапазоне с разрешением 700-1400 м., ширина полосы 3.1 км. На данный момент из российских снимков МСУ-Э являются наиболее подходящим типом для большинства применений, требующих регулярного обновления съемки и не требующих высокого разрешения, поскольку обеспечивают высокую повторяемость при невысокой цене. Покрываемые территории и повторяемость съемки достаточно высоки. Например на территорию Самарской области ежегодно приходится несколько пригодных (дневное время, малая облачность) полос съемки, причем в разное время года. НИЦ ИПР имеет службу Государственного архивного фонда спутниковых данных, обеспечивающую продажу снимков потребителям. Покупатель может подобрать снимки по электронному каталогу, просмотреть архивные изображения, получить консультацию и оформить заказ. Возможен специальный заказ витка "Ресурс-О". На сентябрь 1997 г. один кадр МСУ-Э в одном спектральном канале (1 Мб) цифровой информации стоил около 80 т.р. Дубль-негатив одного кадра с камеры стоил 70 т.р., фотоотпечаток 60 т.р. Специальный заказ нужного витка спутников "Ресурс-О" - 140-440 т.р. Один кадр снимков "Метеор" - 80 т.р.

Научно-инженерный центр "Алмаз" НПО "Машиностроение", находится в г.Реутов, с офисом в Москве. Специализируется на проведении особого типа съемок - радиолокационных (комплекс Алмаз-1). Этот вид съемок производится активным сенсором - радаром (радар с синтетической апертурой - РСА). На Землю принимаются цифровые голограммы, снимок получается путем их специальной обработки. Разрешение снимков 15-20 м., ширина полосы 40 км. Такая съемка замечательна тем, что не зависит ни от времени суток, ни от погоды, поскольку для радиоволн облака и темнота не имеют значения. Очень чувствительно отражают поверхность растительного

покрова и содержание воды в почве и растениях. Комплекс Алмаз-1 работал в 1987 и 1991-1992 гг., производил съемку по специальным заказам и снимки есть лишь на немногие территории.

Зарубежные космические снимки

США и страны Западной Европы накопили за годы холодной войны большие массивы снимков на территорию России. Снимков нашей территории с военных систем за рубежом гораздо больше, чем в самой России.

Военные фотографические съемки США, проведенные до 1972 г., в 1995 г. рассекречены. Они сделаны камерами серии КН с разрешением 1.5-12 м. (КН-5 - 140 м.). Образцы этих снимков есть в Интернете по <http://edcwww.cr.usgs.gov>. Но даже если они будут недороги, они слишком старые.

Landsat. Серия американских гражданских спутников Landsat запускается с 1972 г. На них используется цифровая аппаратура MSS (Multispectral Scanner) и ТМ (Thematic Mapper):

- MSS: разрешение 80 м., 4 зоны спектра (зеленая, красная, две ближних инфракрасных)
- ТМ: разрешение 30 м., 7 зон спектра (синяя, зеленая, красная, ближняя инфракрасная (ИК), две средних ИК, дальняя ИК).

Размер кадра Landsat 185x170 км. Спутник постоянно ведет съемку полосы пролета, и данных на любую часть России очень много. Стоимость этих снимков - около \$3000 за кадр. В России их распространяет фирма "СП ДАТА+". Она имеет базы данных и специальные карты залетов, по которым можно найти любые подходящие снимки по времени, географическим координатам, облачности, углу съемки.

SPOT. Французские гражданские спутники серии SPOT запускаются с 1986 г. Они находятся на околополярной солнечно-синхронной орбите, повторность снятия любой точки не реже 1 раза в 1-2 дня. На них используется цифровая аппаратура XS и P, ведущая два вида съемки:

- XS: разрешение 20 м., 3 зоны спектра (зеленая, красная, ближняя ИК)
- P: разрешение 10 м., панхроматическая съемка.

Ширина полосы съемки SPOT 60-80 км. Есть масса снимков на многие регионы России (разногодовые снимки). С апреля 1997 г. информация со SPOT непосредственно принимается и в России (станция НПО Планета в Обнинске). Стоимость каждого кадра SPOT 60x60 км. около \$2800. За дополнительную плату заказать специальную съемку необходимой территории. В России снимки можно купить в Москве у представителя Spot Image - фирмы DERSI, а также в "СП ДАТА+".

Радиолокационные системы также имеются за рубежом:

- RADARSAT (Канада, с 1995 г.): дает наилучшее разрешение - от 9 м., ширина полосы съемки 50-500 км.
- SIR-C (США, 1994 г.): разрешение также от 9 м., ширина полосы съемки 15-90 км.
- JERS-1 (Япония): разрешение 18 м.
- Seasat (США): разрешение 25 м.
- ERS-1 и ERS-2 (Европа): разрешение 30 м.

Обработанные снимки RADARSAT стоят около 4000\$, ERS - 300 экю (кадр 100x100 км.). В России Radarsat и ERS можно приобрести в НИЦ Алмаз.

Метеорологические спутники. Ведут непрерывную трансляцию цифровых снимков очень низкого разрешения (несколько километров) всего полушария. Это геостационарные спутники Meteosat (Европейское космическое агенство), GMS (Япония), GOES (США), INSAT (Индия).

NOAA. Метеорологические спутники серии NOAA (аббревиатура Национального управления океанов и атмосферы США) имеют полярную орбиту, то есть могут снимать любой участок Земли. На них стоит цифровая аппаратура AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometr), обеспечивающая низкое разрешение 1.1 км., съемку в пяти зонах спектра (от зеленого до дальнего ИК), ширина полосы 2700 км. Данные NOAA, согласно концепции открытого неба ВМО, бесплатны. Доступны в Интернет по <http://www.ssec.wisc.edu/>

data/comp/latest_moll.gif и <http://smis.iki.rssi.ru> (последний - Институт космических исследований РАН); где часто, до двух раз в сутки, обновляются. В России их можно приобрести в НИЦ ИПР: дубль-негатив с NOAA в 1996 г. стоил 80 т.р., другие зарубежные метеоспутники 90 т.р., отпечатки кадра, соответственно, 30 т.р. и 40 т.р.

Space Imaging. За последние 10 лет в связи с известными событиями в России крупные американские фирмы-контракторы в оборонной области остались без заказов. Получив разрешение правительства на коммерческую реализацию снимков и технологий, они с 1996 г. начали запуск серии спутников для коммерческой съемки: Worldview, Eyeglass, Space Imaging, Earth WATCH. На них предполагается установка цифровой сканерной аппаратуры, обеспечивающей в панхроматическом режиме разрешение 1-3 м., в многозональном 4-15 м. В 1997 г. фирмой Space Imaging EOSAT уже запущен спутник для получения снимков с разрешением 1 м. для черно-белых и 4м. - многозональных.

Режимы доступа Данные дистанционного зондирования (любого производителя) с разрешением от 4 м. и меньше являются открытыми и приобретаются свободно, а разрешением выше 4 м. - секретными. Специальных лицензий на работу с ДДЗ не нужно.

8.8. Приобретение данных дистанционного зондирования

Выбор снимков

Описания различных типов снимков, их цены и способа приобретения приведены выше. Кроме того, для первоначальной ориентации в производительности и цене различных цифровых космоснимков приведем таблицу.

Таблица 2

Сравнительные характеристики сканерных космических систем съемки (по Гершензону, Таракановой, ГИС-обозрение, 1'04).

Спутник / сенсор	Страна / агенство	Кол-во каналов	Стоимость снимка, USD	Ширина полосы съемки / кадра	Разрешение, м. в пикселе	Стоимость снимка пл. 100км ² , USD
Meteosat / MVIRI	Евр. косм. агенство	3	113	полушарие	2500	0
NOAA / AVHRR	США	5	115	2400км	1000	0
Ресурс-О / МСУ-СК	Россия	4	1300	600 км	150	0.36
IRS	Индия	4	300	130 км	36	2
MOS	Япония	4	316	100 км	50	3
Landsat / MSS	США	4	1233	185x170 км	80	4
Ресурс-О / МСУ-Э	Россия	3	200	45 км	35	10
Landsat / TM	США	7	5180	185x170 км	30	16
Spot / XS	Франция	3	2487	60 км	20	69
Spot / P	Франция	1	3133	60 км	10	87

Выбор поставщика.

Для российских данных дистанционного зондирования первый способ приобретения - покупка их у организации-производителя. Для аэроснимков - это местные аэрогеодезические предприятия, производители космоснимков рассматривались выше. МА "Совинформспутник" имеет филиалы в Самаре и Москве, НИЦ ИПР имеет центры приема данных в Москве, Новосибирске и Хабаровске, Госцентр "Природа" имеет филиал в Красноярске. Большую часть официальных дистрибьютеров российских снимков составляют зарубежные фирмы, а из самих российских известны НТЦ "СканЭКС" и Институт космических исследований РАН - распространители данных со спутников серии "Ресурс". Вместе с тем существует масса фирм, как российских, так и зарубежных, перепродающих российские космические снимки. Однако фактически рынок в этой области на данный момент еще не сложился, и в общем

случае нельзя порекомендовать покупать снимки у них (как правило, это не официальные распространители, нет характеристик съемочной аппаратуры, не гарантируется, что время и другие характеристики снимка соответствуют действительности и др.).

Кроме того, с 1995 г. начали работать несколько малых автономных станций приема данных со спутников серии "Ресурс-01". Эти станции находятся в собственности купивших их организаций. Известны приемные центры в Кургане, Лабитнанги, Красноярске, Ханты-Мансийске, Томске, Н.Новгороде.

Для зарубежных данных дистанционного зондирования напротив предпочтительно приобретение у российских дистрибьютеров соответствующих зарубежных фирм. Круг продавцов зарубежных снимков в России ограничен (эти снимки дороги и рынок их узок), пиратство не распространено. Известны такие российские поставщики зарубежных снимков:

Во всех зарубежных и некоторых российских фирмах-производителях и дистрибьютерах заказ данных может быть сделан по Интернет (см. ниже), но большинство российских производителей ("Природа", "Алмаз" и т.д.) пока там не представлены, и для просмотра каталога снимков и заказа требуется посещение этих организаций.

Получение данных.

Фотоснимки и их негативы предпочтительно приобретать в обычной аналоговой форме фотоснимка. Это дешевле и дает больше возможностей манипулирования ими в дальнейшем (оцифровать можно самостоятельно). Цифровые снимки можно:

- переписать при покупке на дискеты
- приобрести на серийном CD-диске
- скачать в Интернете (см. ниже).

CD. Из российских производителей CD-диски выпускаются ИТЦ "Скан" - со снимками серии "Ресурс-01". Поскольку этот спутник ведет непрерывную съемку, диски выпускаются регулярно, и на них можно оформить подписку в этой фирме. Ряд зарубежных фирм выпускают серии на CD, в том числе с

российскими снимками. Например, шведская фирма SSC Satellitbild выпустила серию CD-ROM со снимками Ресурс-01 и LANDSAT. Выпускаются также специальные рекламные CD-диски с набором демонстрационных снимков, отличающиеся от обычных тем, что их можно только просматривать (например, такое есть у фирмы Eurimage).

Интернет. Одним из важных способов получения как российских, так и зарубежных данных дистанционного зондирования является Интернет. В особенности это касается тех данных, которые предназначаются для оперативного использования - цифровых снимков и снимков низкого разрешения. В Интернет можно выбрать снимки по каталогу, заказать их или сразу получить по сети. Немаловажно, что это позволяет ориентироваться в динамично развивающемся рынке данных дистанционного зондирования, ознакомившись с характеристиками спутников, съемочной аппаратуры, станций приема и самой продукции. В Интернет часто имеют представительство как фирмы-производители (как зарубежные, так в последнее время и российские), так и распространители спутниковой информации. К компаниям-распространителям снимки, в т.ч. российские, поступают через центры приема, например такой центр есть в Швеции (Кируна). На их серверах помещается информация о спутниках, съемочных системах, снимках, приводятся примеры снимков и условия продажи. Можно посмотреть обзорные изображения выбранных по каталогу снимков. Часто кроме снимков представлены продукты их обработки (карты и др.). В ответ на запрос предоставляется список данных, и после оплаты фирма высылает снимки по почте (на дисках или в виде отпечатков). Например:

- на сервере Eurimage (<http://www.eurimage.it>) представлена информация о системах МК-4 (Космос), КФА-1000 (Мир), ТК-250, КБП-1000, TIROS/AVHRR (NOAA), аппаратах Landsat, Spot, Ресурс-01, IRS 1С, RADARSAT, ERS, JERS и др.
- на сервере Spin-2, <http://www.spin-2.com>, (совместный фирм Совинформспутник, Aerial Images Inc. и Central Trading Systems Inc.) представлены данные систем КБП-1000, ТК-250.

- сервер Spot Image (<http://www.spotimage.fr>, <http://www.spotimage.com>). Содержит каталог по около 5 млн. снимков, можно посмотреть их обзорные изображения.

- на сервере Geospace (<http://ofd.ac.at>) находятся данные Landsat, Spot, IRS 1C, ERS, RADARSAT, JERS, Ресурс-01, российских спутников высокого разрешения.

- сервер Германского центра данных дистанционного зондирования (<http://www.dfd.dlr.de/welcome.html>). Содержит данные Ресурс-01, Landsat и др.

- на сервере <http://www.tentoten.co.uk> (английская компания, официальный дистрибьютер российских спутниковых изображений) предоставляются данные приборов КФА-1000, КФА-3000, ТК-350, МК-4.

- Система ImageNet (<http://coresw.com>), в ней предоставляются данные фирм EarthObservation Corporation (Landsat), SPOT Image Corporation (SPOT), Совинформспутник (КВР-1000, ТК-350).

- Архив CARTERRA ТМ фирмы Space Imaging EOSAT по www.spaceimage.com/browse, позволяет получить образцы и заказать снимки IRS и Landsat, а с декабря 1997 г. и снимки Space Imaging с разрешением до 1 м.

Есть ряд других серверов с подобным кругом информации:

- <http://www.eoc.nasda.go.jp>
- <http://sedac.ciesin.org>
- <http://www-eosdis.ornl.gov>
- <http://www-nsidc.colorado.edu>
- <http://eosdis.larc.nasa.gov>
- <http://podaac-www.jpl.nasa.gov>
- <http://daac.gsfc.nasa.gov>
- <http://edcwww.cr.usgs.gov>
- <http://www.asf.alaska.edu>
- <http://services.esrin.esa.it>
- <http://radarsat.space.gc.ca>
- <http://pid.da.op.dir.de>

В большинстве случаев невозможно, или очень сложно, получить снимки непосредственно по сети, вследствие их больших объемов (от нескольких до сотен мегабайт). Как правило, снимки высокого разрешения (и соответственно большого объема), а также любые данные, оперативность получения которых не имеет важного значения, даже при технической возможности дешевле приобретать у производителя на магнитном носителе или CD-диске. Пока непосредственное скачивание снимков в Интернет возможно в основном для данных низкого разрешения с метеорологических спутников (NOAA, Ресурс, GMS). Это бесплатная категория снимков, и они часто обновляются, что дает возможность осуществлять оперативный метеорологический мониторинг Земли по сети. На такую категорию спутниковых данных рассчитаны, например

- сервер Лаборатории информационной поддержки космического мониторинга (SMIS) Института космических исследований РАН (<http://smis.iki.rssi.ru>). Спутниковые данные NOAA, Ресурс, Гомс, становятся доступны через 20-30 мин. после их приема. Данные за последние месяца содержатся в сервере в архиве, совсем старые - переносятся на CD-диски.

- сервер NOAA (<http://www.saa.noaa.gov/data-available.html>).

- сервер приемной станции университета в Данди (Англия) (<http://www.sat.dundee.ac.uk>), также содержащий данные NOAA, часть данных доступна за плату.

- Консорциум ведущих европейских поставщиков спутниковых изображений (MATRA CAP Systems и SPOT Image (Франция), Dasa Dornier (ФРГ), ESA-ESRIN, Eurimage (Италия) и др.) планирует открыть в 1997 г. свой сервер с мощными возможностями подбора, скачивания и даже обработки снимков по Интернет.

Возможно, могут быть полезны также указатели ГИС-ресурсов:

- <ftp://gis.queensu.ca/pub/gis/docs/gissites.html>
- <http://www.laum.uni-hannover.de/gis/gisnet/gisnet/html>.

9. ПРИМЕНЕНИЕ ГИС В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ

Области применения ГИС

1. Если вы — бизнесмен. Люди, занимающиеся бизнесом, используют ГИС в разных областях своей деятельности: для анализа и отслеживания текущего состояния и тенденций изменения интересующей их области рынка; при планировании деловой активности; для оптимального по разным критериям выбора местоположения новых филиалов фирмы или банка, торговых точек, складов, производственных мощностей; с целью поддержки принятия решений; для выбора кратчайших или наиболее безопасных маршрутов перевозок и путей распределения продукции; в процессе анализа риска материальных вложений и урегулирования разногласий; для демографических исследований, определения привязанного к территории спроса на их продукцию; при создании и географической привязке баз данных о земле и домовладении.

2. Если Вы управляете крупным предприятием. Представьте схему работы всего предприятия (с изображением цехов, потоков сырья, продукции и т.д.) с обозначениями вентилялей, измерительных приборов, источников и потребителей энергии (атомного горючего, мазута, дров, калош, - любых измеримых ресурсов). Благодаря возможности ГИС связывать объекты схемы с чем угодно по щелчку мыши (называется "point and click") схема оживает. Значок видеокамеры на схеме вызовет окошко, в которое будет передаваться изображение с камеры; значок измерительного устройства даст показания прибора, значок замка или вентиля вызовет его если значком обозначен сложный объект, то по щелчку можно вызвать его схему (и далее вглубь иерархии), и т.д. и т.п. - возможностей море. Управление и разрешение конфликтов, предотвращение аварий сводится к минимуму операции, повышению надежности, и уменьшению задействованного персонала.

3. Бурите нефтяные скважины. ГИС поможет рассчитать оптимальное количество и расположение скважин, основыва-

ясь на результатах бурения, также оптимальный путь трубопровода.

4. Занимаетесь охраной предприятия. ГИС определить оптимальное расположение камер наблюдения и других устройств, затем будет выдавать их сообщения в реальном времени, распечатывать отчеты в заданное время. Представьте себе схему здания, на котором отмечены охранные устройства и информация об их состоянии. И схему действий, появляющуюся при нарушении.

5. Оказываете транспортные услуги. Вы сможете узнать в любой момент, где находятся ваши грузовики, состояние дорожного покрытия, информацию о пробках на дорогах, оптимальнее рассчитать загруженность транспорта и наиболее эффективную траекторию.

6. Находитесь в торговой сфере. Вам небезинтересно знать, где отовариваются ваши потенциальные клиенты. Но обладая просто базой данных вы будете знать лишь адреса клиентов и их любимых магазинов. Представьте себе клиента, который проезжает довольно приличное расстояние, чтобы добраться до нужной ему торговой точки, хотя точно такая же (по ассортименту) находится у него под боком. Значит дело не только в ассортименте? Такого типа информация необходима, чтобы понять поведение потребителя, а это можно проанализировать и понять только рассматривая геодемографические характеристики.

7. Тушите пожары. Пожарные департаменты получают в руки мощное средство по координированию действий отдельных подразделений, охват и наблюдение за большей площадью, расчет направления огня и прогнозирование скорости его распространения учитывая множество показателей.

8. Проводите маркетинговые исследования. Использование ГИС приложений помогает переориентировать главную цель маркетинговых усилий с удовлетворения осредненных потребностей населения города или района на оперативное реагирование на запросы каждого человека, живущего или работающего в зоне реализации товаров фирмы. Достижимый при

таким подходе принципиально новый уровень сервиса получил наименование персонифицированного маркетинга (personal marketing).

9. Занимаетесь аналитическими услугами. Прочитав все описанное здесь, вы сможете понять открывающиеся перспективы в области оказания аналитических услуг различным предприятиям.

10. Создаете и размещаете рекламу. При помощи ГИС вы сможете провести необходимые демографические исследования, выяснить где проживают ваши потенциальные клиенты, по каким дорогам ездят (на самых загруженных и лучше освещенных повесить щиты). Высылать рекламные материалы только тем, кто может быть в ней заинтересован (сообщая каждому кратчайший путь к магазину каждому клиенту от порога его дома). Можно оценить возрастной потенциал и популярность музыкальных групп для проведения рекламных концертов, выбрать наиболее популярное средство массовой информации в данном городе и т.д.

11. Организуете Почтовую службу. Не обходится без ГИС и такая специфическая область бизнеса, как быстрая доставка корреспонденции. Более 25 лет частная компания Federal Express занимается рассылкой почтовых отправок по всему миру. В этой требующей особой тщательности работе последние семь лет ей помогают средства геокодирования пакета ARC/INFO. В его базе данных хранятся адреса, почтовые индексы, названия, имена и фамилии миллионов жителей и организаций разных стран. К соответствующим картам привязаны места их проживания, маршруты и расписания авиарейсов, границы административных районов, другая полезная для успешной работы информация. Все это позволяет справиться с возрастающими потоками корреспонденции.

12. Осуществляете банковские услуги. ГИС поможет вам точно и эффективно расположить филиалы, осуществить инкассацию, оперировать ресурсами в соответствии с состоянием рынка ценных бумаг и других факторов.

13. Занимаетесь реставрацией. Снимки картины в разных областях спектра (в том числе и в невидимых) и сфокусированные на разной глубине материала могут дать в результате анализа много новых данных — от техники работы художника до "истории жизни" картины. Аналогичные методы анализа могут использоваться в неразрушающем контроле зданий и сооружений, вообще любых конструкций. Конечно, это уже не совсем геоинформатика, но общность методов позволяет использовать одни и те же программные средства, есть и практические применения ГИС в не-ГИС областях именно благодаря имеющемуся в ГПС пространственному анализу.

Мы живем в век информации. ГИС — технология управления ею.

Люди, занимающиеся бизнесом, используют ГИС в разных областях своей деятельности: для анализа и отслеживания текущего состояния и тенденций изменения интересующей их области рынка: при планировании деловой активности: для оптимального по разным критериям выбора местоположения новых филиалов фирмы или банка, торговых точек, складов, производственных мощностей: с целью поддержки принятия решений: для выбора кратчайших или наиболее безопасных маршрутов перевозок и путей распределения продукции: в процессе анализа риска материальных вложений и урегулирования разногласий: для демографических исследований, определения привязанного к территории спроса на их продукцию: при создании и географической привязке баз данных о земле и домовладении.

10. ВЛИЯНИЕ ГИС НА РАЗВИТИЕ ШКОЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

В последние 10 лет в объединенном школьном округе Корона-Норко в округе Риверсайд, штат Калифорния, расположенном восточнее Лос-Анджелеса, число детей и подростков школьного возраста увеличилось с 21 000 до 37 300. Чтобы успешно справиться со столь резким ростом, были выбраны подходящие места и открыто шесть новых начальных школ, одна основная и одна средняя. В этих школах было оборудовано 485 небольших классных комнат, что помимо роста числа обучающихся потребовалось для выполнения рекомендаций по снижению количества учеников в классах всех школ округа. Наконец, добавление новых школ и рост вместимости учебных площадей потребовали перевода многих учеников в другие школы и изменения границ зон обслуживания ряда школ.

Несмотря на столь сложную ситуацию, которую можно рассматривать как демографический взрыв, округ успешно справился с возникшими трудностями. В процессе планирования огромную помощь оказало программное обеспечение ArcView со специализированным расширением SchoolSite Redistricting. По словам Линды Дженкел, руководителя департамента планирования округа, использование ГИС позволило решить возникшие проблемы за короткое время и без привлечения большого числа специалистов.

Раньше большинству школьных округов приходилось вручную создавать таблицы со всей требуемой информацией об учениках и составлять планы их распределения по школам на основе адресных данных. На это уходило очень много времени и кропотливых усилий большого числа сотрудников. Сложность решения задачи возросла на порядок в условиях, сложившихся в округе Корона-Норко и требующих незамедлительных действий по реструктуризации территориальной принадлежности школ и учащихся. Во многих случаях приходилось создавать специальные отчеты, необходимые для ре-

шения вопросов, возникающих у руководства школ и школьного округа. Применение средств ГИС позволило кардинально улучшить этот процесс, обеспечить возможность быстрого рассмотрения многих вариантов и выбора наиболее приемлемого решения. То, на что раньше уходило много дней и даже недель работы сотрудников нескольких отделов, теперь решается намного быстрее, с большей точностью и детальностью.

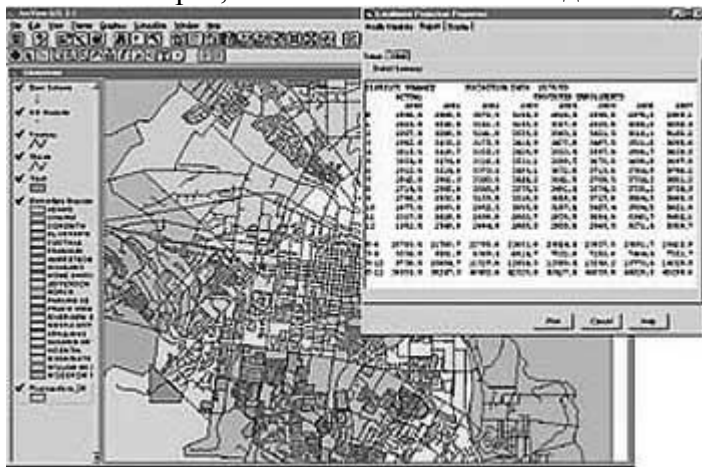


Рис.13 - Использование ArcView с дополнительными расширениями SchoolSite для отображения количества школьников и их распределения по территории округа.

В последние 10 лет школьный округ Корога-Норско работает очень успешно. Учебные и вспомогательные помещения используются здесь наиболее эффективно в сравнении со многими другими школьными округами, с которыми мы сотрудничаем.

Помимо использования ArcView и расширения SchoolSite Redistricting в отделе планирования, школьный округ попросил компанию Davis Demographics помочь в решении ряда других задач планирования. К ним относятся составление долгосрочного прогноза демографического развития, картирование развития жилого фонда, определение числа учеников из семей, проживающих в домах разного типа, с целью определения

уровня жизни будущих учеников, его влияния на рождаемость и для других целей. Все эти виды анализа были выполнены с помощью ArcView и разработанного для этого программного продукта - прогностического расширения SchoolSite Enrollment Forecasting. Результаты прогнозов можно показать графически средствами ArcView, отобразить в виде сводных таблиц и отчетов в разных форматах, а также классифицировать по разным возрастным категориям. Прогнозы привязаны к планировочным зонам и могут использоваться для выявления областей демографического роста и, соответственно, создания планов дальнейшего развития сети школьных учреждений в этих областях.

Использование ArcView с расширением SchoolSite помогло школьному округу Корона-Норско решить и многие другие задачи перспективного планирования. Так, например, при планировании учебного процесса необходимо учитывать этнический состав учащихся как по всему округу, так и по отдельным школам и классам. ГИС позволяет значительно облегчить и ускорить решение подобных задач.

10.1. Применение ГИС в сфере образования

В сфере образования и переподготовки кадров ГИС поможет не только студентам и школьникам, но также преподавателям, научным сотрудникам и администраторам. Географические информационные системы (ГИС) позволяют проводить сбор, хранение, анализ и картирование любых данных об объектах и явлениях на основе их пространственного положения. Эта современная компьютерная технология обеспечивает интеграцию баз данных и операций над ними, таких как их запрос и статистический анализ, с мощными средствами представления данных, результатов запросов, выборок и аналитических расчетов в наглядной легко читаемой картографической форме. Предметом исследования в ГИС могут являться как объекты и явления окружающего нас мира, так и данные, полученные в

результате наблюдений и измерений в разных научных областях. Такие данные являются также составной частью учебных курсов и практических занятий в школах и высших учебных заведениях. Знание - сила. В современной жизни, чем большее количество информации имеется в вашем распоряжении, тем проще будет принять обоснованные решения и эффективные действия. Но недостаточно просто накопить информацию, нужен инструмент, обеспечивающий ее полноценное использование. Таким универсальным инструментом и является ГИС-технология.

Известно, что львиная доля информации, с которой мы имеем дело, включает пространственную компоненту - будь то данные о населении, экономическом развитии, природных ресурсах, управлении городами и территориями, чрезвычайных ситуациях, типах лесов или почв, производственной деятельности компаний или другая информация об объектах, явлениях и событиях на нашей планете. ГИС позволяет получить наибольшую отдачу от информации.

ГИС - это значительно больше, чем электронные карты на экране компьютера. Они обеспечивают создание, отображение и совместный анализ различных типов данных: описательных (табличных), векторных, растровых, САПР и других. Созданные по этим данным карты можно представить в любой стандартной системе координат и перевести их в любую картографическую проекцию.

География является частью нашей жизни. Это то, что нас окружает, это конкретизация всего, с чем мы ежедневно контактируем - погода, дороги, магазины, качество воды, воздуха и почвы, экономика и политика располагаются, происходят, пространственно привязаны к конкретному месту или территории. Люди часто не задумываются о значении географии потому, что она постоянно вокруг них, она везде.

Как ГИС применяется в сфере образования

Именно поэтому, сегодня эта технология является одним из наиболее популярных и полезных инструментов, в том чис-

ле в учебном процессе и в научных исследованиях. ГИС помогает сформировать у людей новый взгляд на мир, обеспечивающий его комплексное восприятие и лучшее понимание взаимосвязей между его составляющими. И, что тоже немаловажно, специалисты в этой области востребованы обществом и имеют прекрасные перспективы получения интересной, достаточно престижной и хорошо оплачиваемой работы. В результате, курсы по изучению ГИС и связанным с ней технологиям пользуются высокой популярностью во всех развитых странах.

ГИС - это не просто еще один производственный навык, это универсальный инструмент исследователя. Функции пространственного анализа применяется в более чем 100 дисциплинах, охватывающих большинство направлений научных и прикладных исследований. ГИС позволяет студентам и исследователям формулировать географические вопросы и получать на них ответы путем создания и анализа карт на основе выбранных критериев. ГИС также является прекрасным средством презентации результатов проведенных исследований.

ГИС для управления инфраструктурой

Руководители и администрация многих учебных заведений достаточно быстро поняли, что ГИС является важным инструментом при решении многих управленческих задач. Карты и планы недвижимого имущества университетов, в том числе в цифровых форматах САПР, создаются и используются уже в течение многих лет, но только их ввод в ГИС обеспечил многогранность сфер применения этих карт и лежащих в их основе данных при решении всевозможных задач управления хозяйственным комплексом. В ряде учебных заведений ГИС применяется для анализа баз данных по абитуриентам и обеспеченности выпускников работой. ГИС может использоваться разными подразделениями университетов, включая службы содержания, охраны, ремонта и строительства, юридической, контроля санитарного состояния, связи и телекоммуникаций, размещения и предоставления общежитий, транспортной и т.д.

Учебный процесс и научная деятельность

Применение ГИС в государственных организациях и частных компаниях стремительно растет. Следствием этого является растущая потребность в квалифицированных подготовленных специалистах, хорошо разбирающихся в задачах и методах пространственного анализа. В результате, студенты соответствующих специальностей имеют возможность выбора интересной престижной работы, требующей полноценных знаний в области ГИС.

Ввиду растущей популярности ГИС одной из наиболее актуальных является задача расширения числа предлагаемых студентам учебных и практических курсов, в том числе специализированных. В последние годы помимо общих курсов по основам ГИС технологии и ее применению в таких традиционных прикладных областях как экология, лесное хозяйство, изучение природных ресурсов, появились, например, такие специализированные курсы как «Введение в почвоведение», «Полевые методы в археологии», «Ландшафтная архитектура и урбанистика», «Социологический и политический анализ», где ГИС играет роль универсального инструмента, облегчающего освоение основных научных дисциплин. ГИС позволяет студентам освоить новые подходы к рассмотрению данных и современные методы работы с ними с использованием компьютеров. Кроме того, ГИС приобщает студентов к коллективному труду, поскольку выполнение учебных проектов, как правило, требует высокого уровня кооперации.

В результате повышенного интереса к ГИС, только в США сейчас более 50 тыс. студентов различной специализации ежегодно прослушивают минимум один курс по основам или прикладным аспектам этой технологии. Регулярные учебные занятия по ГИС проводятся примерно в 1 000 высших учебных заведений во многих странах, а общее число университетов и колледжей, в которых применяется ГИС, близко к 3,5 тысячам. А, к примеру, Министерство образования и обучения провинции Онтарио, Канада, предоставило доступ к лицензиям

ArcView каждой из 800 средних школ, расположенных в этом районе.

Помимо учебного процесса как такового, ГИС широко используется в деятельности университетских научных центров и лабораторий при выполнении исследовательских и прикладных проектов, в том числе междисциплинарных и международных, где активно применяются средства распространения и взаимного обмена ГИС- данными по локальным и глобальным сетям.

10.2 Использование ГИС для анализа приема абитуриентов в вузы региона

Кампания по приему абитуриентов в вуз - дело хлопотное и трудоемкое: необходимо учесть массу сведений об абитуриентах и результатах прохождения ими вступительных испытаний. Поэтому во многих вузах применяются различные средства для компьютеризации работы приемных комиссий. Однако значительный объем информации, вводимый в ходе работы приемной комиссии, можно использовать не только для выпуска технических документов (списков групп, ведомостей, приказов на зачисление и пр.), но и для анализа выбора специальностей и факультетов абитуриентами, качества подготовки выпускников различных учебных заведений и т.д. Такой анализ необходим, так как для поддержки принятия управленческих решений требуется достаточно полная, достоверная и представленная в удобной форме исходная информация. Органам управления образованием (федеральные и региональные министерства образования, отделы образования различных уровней) нужны данные о подведомственных учебных заведениях и количестве учащихся, качестве образования, результатах поступления выпускников различных учебных заведений в вузы и т.д. Аналогичная информация необходима и вузам для определения перспектив развития и планирования профориентационной работы. Другими потребителями этой информации могут стать правительство, службы занятости, предприятия и

др. организации, которые также нуждаются в сведениях, где, по каким специальностям готовятся специалисты, и какие регионы они представляют. Организация специального сбора информации для этих целей - дело сложное и дорогое, поэтому для поддержки принятия решений представляется логичным использование данных приемных комиссий.

С 1998 года в Пензенском государственном университете (ПГУ) используется информационно-аналитическая система (ИАС) приемной комиссии, обеспечивающая наряду с вводом данных и выпуском документов приемной комиссии расширенные функции анализа. Результаты анализа представляются в табличной форме или в виде диаграмм, графиков и пр. Система реализована с использованием средств Access, SQL и Visual Basic. К моменту разработки ИАС в ПГУ уже была создана ГИС образовательного пространства Пензенской области, включающая картографическую основу и атрибутивные БД, содержащие информацию по образовательным учреждениям области. Поэтому следующим логическим шагом стало создание интегрированной информационной системы, включающей в себя ИАС приемной комиссии и географическую базу данных на основе ArcView. Использование геоинформационных систем позволило повысить наглядность представления результатов анализа, а также выполнять дополнительные виды анализа, для которых необходим учет территориального распределения основных параметров (расположение учебных заведений, плотность населения, наличие транспортной и информационной сетей и т.д.).

Геоинформационная составляющая системы включает в себя следующие основные элементы.

- Цифровую карту Пензенской области.
- Взаимосвязанную совокупность атрибутивных баз данных (БД).
- Пакет инструментов для работы с картой и базами данных (инструменты для решения задач поиска, статистических операций, моделирования процессов, формирования выходных документов). В данном па-

жете использовались как стандартные возможности ArcView, так и специфические средства (идентификации объектов, осуществления выборок на основе нескольких критериев и др.), разработанные с помощью языка написания скриптов Avenue и языка Delphi 7.0.

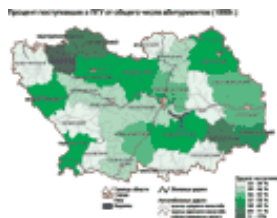


Рис. 14 - Соотношение числа подавших документы и зачисленных в ПГУ

Среди наиболее часто используемых выборок данных можно отметить следующие.

- Количество подавших документы в ПГУ по районам Пензенской области.
- Количество зачисленных в ПГУ по районам Пензенской области.
- Выбор факультетов (специальностей) абитуриентами из различных районов.
- Соотношение числа подавших документы и зачисленных в ПГУ по районам (рис 14.).
- Количество подавших документы и зачисленных на отдельные факультеты и специальности.
- Выбор факультетов абитуриентами отдельного района с указанием точных числовых данных.
- Сравнение количества абитуриентов ПГУ по районам области за различные годы (увеличение / уменьшение).
- Сравнение количества зачисленных в ПГУ по районам области за различные годы (увеличение / уменьшение).

- Средние баллы, полученные на вступительных экзаменах по определенному предмету (математике, истории и пр.) по районам области (рис. 15).
- Распределение медалистов, подавших документы (или зачисленных) в ПГУ по районам области.
- Средние баллы, полученные на вступительных испытаниях абитуриентами района или населенного пункта (рис. 16).



Рис. 15 - Средние баллы, полученные абитуриентами Кузнецкого района, при поступлении в ВУЗ

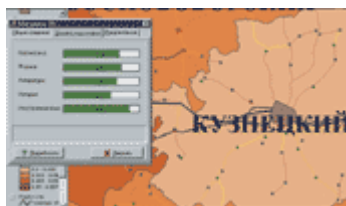


Рис. 16 - Выбор оптимального места для создания кабинета ДО.

Одним из направлений использования системы для поддержки принятия решений является разработка средств для выбора оптимального расположения кабинетов дистанционного образования (ДО). Не секрет, что в малых городах и сельских районах трудно получить образование традиционными методами. Современные телекоммуникационные технологии позволяют вести обучение с использованием компьютерных сетей независимо от расстояний. В принципе, доступ к сетям имеется повсюду. Например, в Пензенской области из любого населенного пункта, где имеется телефон районной АТС, можно работать в Internet. Однако существуют серьезные фи-

нансовые проблемы: в сельских школах практически нет РС совместимых компьютеров, крайне мало их и в индивидуальном использовании. Еще хуже обстоят дела с подключением индивидуальных пользователей и образовательных учреждений к глобальным сетям. Для обеспечения возможности широким массам населения получать услуги ДО целесообразно создание кабинетов ДО на базе существующих образовательных заведений. Кабинеты должны быть оснащены компьютерами и иметь выход в сеть. Данная работа ведется ПГУ в жестких финансовых рамках, поэтому крайне важна экономическая оправданность создания кабинетов, быстрая самоокупаемость проектов. Это требует определения оптимального размещения и последовательности создания кабинетов ДО. Для этих целей используется модуль, написанный на встроенном языке Avenue. В качестве критериев для оценки необходимости создания кабинета задаются:

- максимальное расстояние в километрах, при котором кабинет ДО считается доступным для проживающих в окрестных населенных пунктах;
- число потенциальных обучаемых, в зависимости от которого определяется "степень желательности" открытия кабинета ДО (зависит от количества абитуриентов в зоне притяжения кабинета);
- минимальные требования к учебному заведению, на базе которого создается кабинет (возможные показатели - минимальное число учащихся учебного заведения, площадь помещений, количество преподавателей).

После задания всех параметров на карте выделяются населенные пункты, в которых целесообразно (согласно заданным условиям) открытие кабинета ДО, а также отображаются "зоны притяжения" этих кабинетов (рис. 17).



Рис. 17. - Населенные пункты, в которых открытие кабинета ДО

В 1999 году система получила дальнейшее развитие. Основными новшествами стали ввод информации о школьных оценках по профилирующим предметам и разработка прототипа системы для анализа приема во все вузы региона.

Ввод школьных оценок позволяет оценить соответствие требований, предъявляемых в школах, требованиям вуза. Это позволяет осуществлять мониторинг качества подготовки в учебных заведениях городов, районов или в отдельных школах. Надо заметить, что выборка "абитуриенты вузов региона" достаточно представительна для анализа результатов подготовки выпускников школ в целом. Это подтверждается следующими факторами:

- 73 % выпускников школ пытаются поступить в вузы (в среднем по России);
- большинство молодых людей поступает в вузы своего региона, что подтверждается тем, что в большинстве вузов (кроме Москвы и Санкт-Петербурга) свыше 90% абитуриентов составляет молодежь своего региона (в ПГУ - более 95 %).

При использовании ГИС эти данные позволяют построить карту "рассогласования" между школьными и вузовскими оценками по различным предметам (рис. 18).

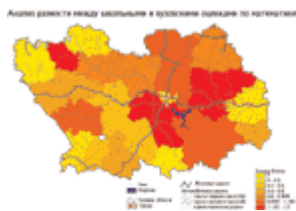


Рис. 18 - Карта "рассогласования" между школьными и вузовскими оценками по различным предметам

Разработанный прототип системы анализа поступления абитуриентов в вузы региона позволяет, дополнительно к возможностям системы отдельного вуза, выполнять следующие выборки данных.

- Количество подавших документы и зачисленных в вузы по районам Пензенской области.
- Выбор вузов абитуриентами различных районов.
- Соотношение поступивших в различные вузы по районам области.
- Распределение медалистов по районам области и выбор ими вузов.
- Распределение студентов, обучающихся по контрактам на платное обучение, по районам области и вузам (рис.19).
- Наиболее популярный в районе вуз (по количеству подавших документы и зачисленных) (рис.20).

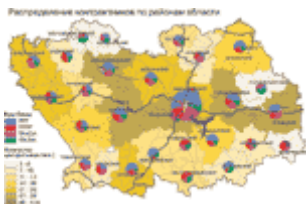


Рис. 19 - Распределение студентов, обучающихся по контрактам на платное обучение, по районам области и вузам



Рис. 20 - Наиболее популярный в районе вуз

В настоящее время ведется доработка полного варианта системы анализа. Основные усилия направлены на упрощение настройки системы и ее адаптации к изменениям в структуре и правилах приема вузов. Созданная интегрированная информационная система может быть внедрена в любом регионе России (при наличии картографической основы для ArcView). Следующим шагом в развитии может стать создание соответствующих ИАС для мониторинга образовательных систем зон России (Поволжья, Урала и т.д.) и страны в целом.

11. ОСНОВЫ СИСТЕМЫ GPS

Система Глобального Позиционирования (GPS или Global Positioning System) является спутниковой и работает под управлением Министерства Обороны США. Система является глобальной, всепогодной и обеспечивает возможность получения точных координат и времени 24 часа в сутки.

11.1 Как работает GPS

Основы системы GPS можно разбить на пять основных подпунктов: Спутниковая трилатерация - основа системы, Спутниковая дальнометрия – измерение расстояний до спутников, Точная временная привязка – зачем нужно согласовывать часы в приёмнике и на спутнике и для чего требуется 4-й космический аппарат, Расположение спутников – определение точного положения спутников в космосе, Коррекция ошибок – учёт ошибок вносимых задержками в тропосфере и ионосфере

11.1. Спутниковая трилатерация

Точные координаты могут быть вычислены для места на поверхности Земли по измерениям расстояний от группы спутников (если их положение в космосе известно). В этом случае спутники являются пунктами с известными координатами. Предположим, что расстояние от одного спутника известно, и мы можем описать сферу заданного радиуса вокруг него. Если мы знаем также расстояние и до второго спутника, то определяемое местоположение будет расположено где-то в круге, задаваемом пересечением двух сфер.



Рис. 20 – Положение спутника на орбите

Третий спутник определяет две точки на окружности.



Рис. 21 – Второе измерение спутника

Теперь остаётся только выбрать правильную точку. Однако одна из точек всегда может быть отброшена, так как она имеет высокую скорость перемещения или находится на или под поверхностью Земли. Таким образом, зная расстояние до

трёх спутников, можно вычислить координаты определяемой точки.

11.2. Спутниковая дальнометрия

Расстояние до спутников определяется по измерениям времени прохождения радиосигнала от космического аппарата до приёмника умноженным на скорость света. Для того, чтобы определить время распространения сигнала нам необходимо знать когда он покинул спутник.

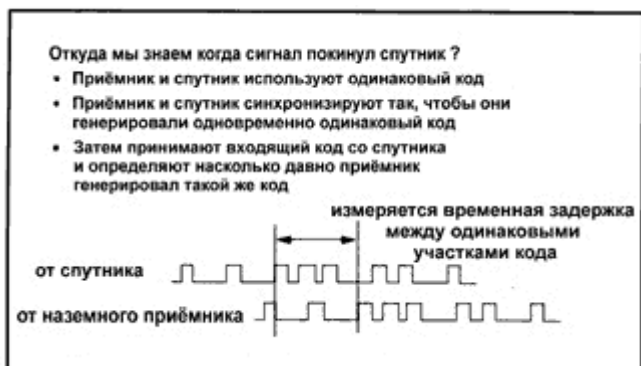


Рис. 22 – представление псевдослучайного кода

Для этого на спутнике и в приёмнике одновременно генерируется одинаковый Псевдослучайный Код*

* - Каждый спутник GPS передаёт два радиосигнала: на частоте $L1=1575.42$ МГц и $L2=1227.60$ МГц. Сигнал $L1$ имеет два дальномерных кода с псевдослучайным шумом (PRN), P-код и C/A код. “Точный” или P-код может быть зашифрован для военных целей. “Трубой” или C/A код не зашифрован. Сигнал $L2$ модулируется только с P-кодом. Большинство гражданских пользователей используют C/A код при работе с GPS системами. Некоторые приёмники Trimble геодезического класса работают с P-кодом.

Приёмник проверяет входящий сигнал со спутника и определяет когда он генерировал такой же код. Полученная

разница, умноженная на скорость света (~ 300000 км/с) даёт искомое расстояние.

Использование кода позволяет приёмнику определить временную задержку в любое время. Кроме того, спутники могут излучать сигнал на одной и той же частоте, так как каждый спутник идентифицируется по своему Псевдослучайному коду (PRN или PseudoRandom Number code).

11.3. Точная временная привязка

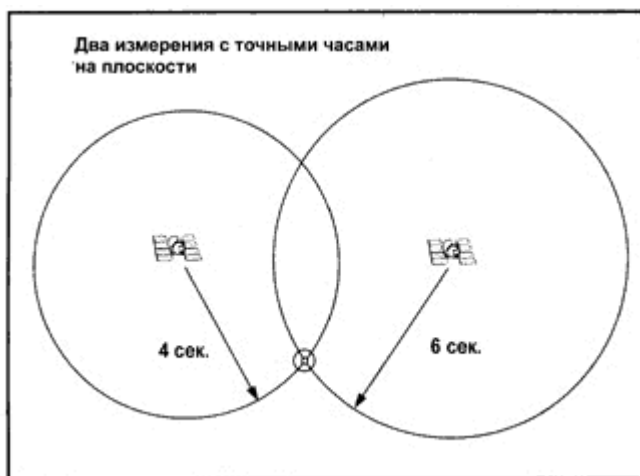


Рис. 23 – Два измерения с точными часами на плоскости

Как видно из сказанного выше, вычисления напрямую зависят от точности хода часов. Код должен генерироваться на спутнике и приёмнике в одно и то же время. На спутниках установлены атомные часы имеющие точность около одной наносекунды. Однако это слишком дорого, чтобы устанавливать такие часы в каждый GPS приёмник, поэтому измерения от четвёртого спутника используются для устранения ошибок хода часов приёмника.

Эти измерения можно использовать для устранения ошибок, которые возникают если часы на спутнике и в приёмнике не синхронизированы. Для наглядности, иллюстрации приве-

дённые ниже рассматривают ситуацию на плоскости, так как только три спутника необходимо для вычисления местоположения объекта.

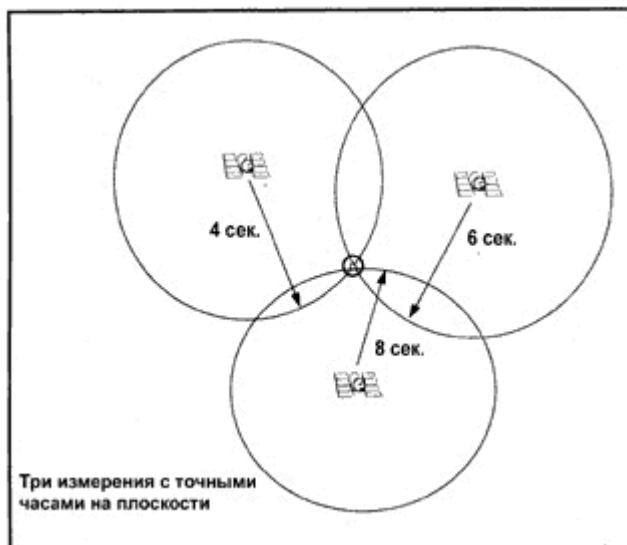


Рис. 24 – Поиск местоположения, если часы имеют одинаковую точность кода

Если часы на спутнике и в приёмнике имеют одинаковую точность хода, то точное местоположение может быть найдено по измерениям расстояния до двух спутников.

Если получены измерения с трёх спутников и все часы точные, то круг, описанный радиус-вектором от третьего спутника будет пересекаться как показано на рисунке.

Однако, если часы в приёмнике спешат на 1 секунду, то картина будет выглядеть следующим образом.

Если сделать замер до третьего спутника, то полученный радиус-вектор не пересечётся с двумя другими как показано на рисунке 25.

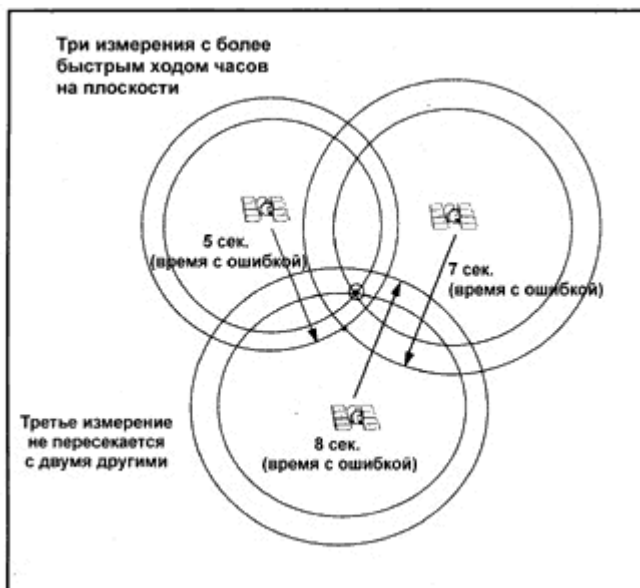


Рис. 25 – Серия измерений, не пересекающихся в одной точке

Когда GPS приёмник получает серию измерений которые не пересекаются в одной точке, то компьютер в приёмнике начинает вычитать (или добавлять) время методом последовательных итерации до тех пор, пока не сведёт все измерения к одной точке. После этого вычисляется поправка и делается соответствующее уравнивание.

Если вам требуется третье измерение, то необходим четвёртый спутник для устранения ошибок хода часов в приёмнике. Таким образом, при работе в поле вам необходимо иметь минимум четыре спутника, чтобы определить трёхмерные координаты объекта.

11.4. Расположение спутников

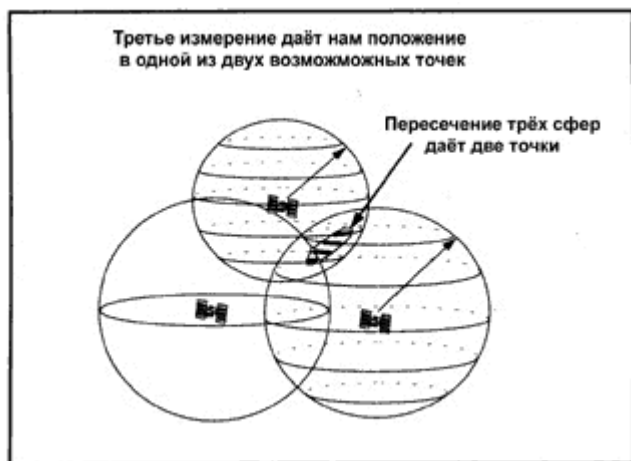


Рис. 26 – Третье измерение

Система NAVSTAR имеет 24 рабочих спутника с орбитальным периодом в 12 часов на высоте примерно 20200 км от поверхности Земли. В шести различных плоскостях имеющих наклон к экватору в 55° , расположено по 4 спутника.

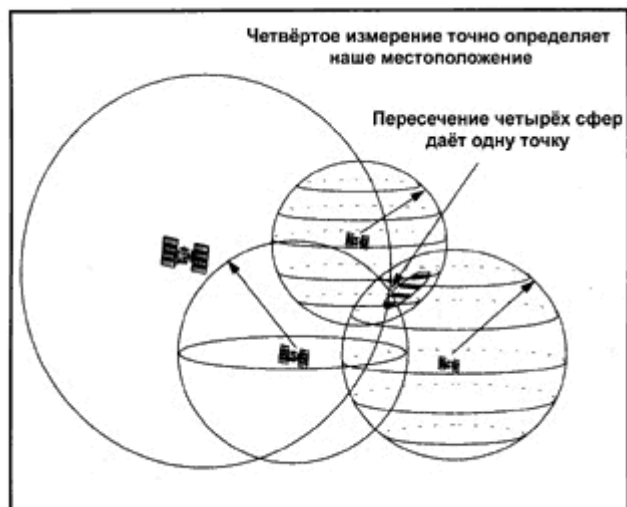


Рис. 27 – Четвертое измерение

Указанная высота необходима для обеспечения стабильности орбитального движения спутников и уменьшения фактора влияния сопротивления атмосферы.

Министерство Обороны США (DoD) осуществляет непрерывное слежение за спутниками. На каждом спутнике расположено несколько высокоточных атомных часов и они непрерывно передают радиосигналы с собственным уникальным идентификационным кодом*. МО США имеет 4 станции слежения за спутниками, три станции связи и центр осуществляющий контроль и управление за всем наземным сегментом системы. Станции слежения непрерывно отслеживают спутники и передают данные в центр управления. В центре управления вычисляются уточнённые элементы спутниковых орбит и коэффициенты поправок спутниковых шкал времени, после чего эти данные передаются по каналам станций связи на спутники по крайней мере один раз в сутки.

* - Каждый спутник GPS передаёт два радиосигнала: на частоте $L1=1575.42$ МГц и $L2=1227.60$ МГц. Сигнал $L1$ имеет два дальномерных кода с псевдослучайным шумом (PRN), P-код и C/A код. “Точный” или P-код может быть зашифрован для военных целей. “Трубый” или C/A код не зашифрован. Сигнал $L2$ модулируется только с P-кодом. Большинство гражданских пользователей используют C/A код при работе с GPS системами. Некоторые приёмники Trimble геодезического класса работают с P-кодом.

11.5. Коррекция ошибок

Некоторые источники ошибок возникающих при работе GPS являются трудноустраняемыми. Вычисления предполагают, что сигнал распространяется с непрерывной скоростью, которая равна скорости света. Однако в реальности всё гораздо сложнее. Скорость света является константой только в вакууме. Когда сигнал проходит через ионосферу (слой заряженных частиц на высоте 130-290 км) и тропосферу, его скорость распространения уменьшается, что приводит к ошибкам в изме-

рения дальности. В современных GPS приёмниках используют всевозможные алгоритмы устранения этих задержек.

Иногда возникают ошибки в ходе атомных часов и орбитах спутников, но они обычно незначительны и тщательно отслеживаются со станций слежения.

Многолучёвая интерференция также вносит ошибки в определение местоположения с помощью GPS. Это происходит, когда сигнал отражается от объектов расположенных на земной поверхности, что создаёт заметную интерференцию с сигналами приходящими непосредственно со спутников. Специальная техника обработки сигнала и продуманная конструкция антенн позволяет свести к минимуму этот источник ошибок.

Раньше существовал ещё один источник ошибок – это Избирательный Доступ (Selective Availability или S/A), искусственное снижение точности спутникового сигнала вводимое МО США. Это приводило к тому, что точность полученных координат с помощью GPS снижалась до 100 метров.

12. ВВЕДЕНИЕ В ГИС С ПРИМЕНЕНИЕМ GPS

Географические Информационные Системы (ГИС) – это системы управления цифровыми базами данных разработанные для сбора, хранения, анализа и отображения пространственных данных. Другое программное обеспечение, которое может быть полезным для картографирования включает системы проектирования и дизайна (САD-программы), системы автоматического картографирования и управления постройками (AM/FM - системы), или земельные информационные системы (LIS). Не вдаваясь в особенности каждой из систем, будем называть весь этот комплекс как Географические Информационные Системы.

Вследствии географической природы объектов данные в ГИС являются пространственно привязаны к определённом началу. Каждый ГИС – объект может быть связан с определённым местоположением на поверхности земли и соответственно картографирован. Местоположение и многочисленные атрибуты, которые описывают характеристики объекта, определяют объект в ГИС. Компьютерные файлы, содержащие ГИС информацию могут быть связаны друг с другом в единую географическую базу данных.

GPS картографические системы фирмы Trimble позволяют Вам осуществлять сбор данных для ГИС. Эти системы позволяют трансформировать GPS данные в ГИС легко и эффективно.

12.1. Сбор данных

ГИС позволяют Вам интегрировать данные, которые были собраны в различное время, с различным масштабом и с использованием разных методов сбора данных. Источниками данных могут служить как карты на бумажной основе или кальке, так и рукописные данные, цифровые файлы, или информация хранимая в человеческой памяти. Без ГИС, интеграция данных в различных форматах полученных в разное время

и с различным масштабом займёт очень много времени и финансов.

В прошлом, сбор данных для ГИС производился с помощью оцифровки существующих карт, ручного ввода данных из полевых журналов и сканирования информации из существующих бумажных источников. Однако на этом пути существует несколько ограничений. Исходные карты часто содержат устаревшую информацию вместе с ошибками в транскрипции, и могут иметь масштаб не отвечающий Вашим запросам. Качество ГИС зависит только от качества информации, которую они содержат. Ввод данных низкого качества приводит к ошибкам и неправильной интерпретации информации полученной из ГИС.

GPS позволяет Вам получать точные, обновлённые данные в то время и в том месте, где требуется Вам при относительно низкой цене. С оборудованием для GPS картографирования Вы можете задать словарь атрибутов объектов и вводить эти атрибуты в поле одновременно со сбором данных необходимых для получения местоположения объекта. Это ускоряет процесс обработки собранных данных, позволяет избежать ошибок при переводе и одной формы носителя данных в другую и обеспечивает Вашу базу данных самой свежей информацией.

Сбор данных в ГИС является бесконечной задачей. Проблема обновления информации является самой насущной и дорогой во всех действующих ГИС. В тоже время оборудование для GPS картографирования ускоряет и упрощает сбор базовых ГИС данных, а также обеспечивает удобную возможность обновления информации.

12.2. Типы данных

Существует два главных типа данных в ГИС: картографический и описательный.

12.2.1. Картографические данные

Картографические данные - это картографическая информация хранящаяся в цифровой форме. Это географические объекты описываемые на карте. Большую часть этих объектов можно классифицировать на точки, линии и площади.

Точки

Точка представляет собой объект для которого требуется только одно географическое местоположение (например, широта / долгота). Примером характеристик точек могут служить места расположения колодцев, дорожных аварий, реперов и т. д.

Линии (Дуги)

Линия состоит из серии связанных друг с другом точек. Она имеет только длину без ширины. Примером характеристики линейного объекта может служить дорога, просека, трубопровод и т. д.

Полигон (Площадь)

Полигон это площадь ограниченная замкнутой линией. Полигон расположен на плоскости и соответственно имеет 2 размера: длину и ширину. В качестве образца характеристики полигона можно привести площади с определённым типом почвы, области проданного леса под вырубку, землю выведенную из землепользования и т.д.

Описательные (не графические) данные

Второй тип данных, используемый в ГИС не является графическим. Это описательная информация, которая хранится в базе данных об объектах (точка, линия, площадь) расположенных на карте.

Описательная информация называется атрибутом. Атрибут являющийся общим для всех характеристик это географическое местоположение, которому может быть дано имя атрибута МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ. Другие атрибуты зависят от типа характеристики объекта и от того, какое именно свойство объекта наиболее важно для отдельно выбранной цели или задачи. Для примера:

- Участок земли имеет владельца, размер и цель для которой он используется владельцем
- Нефтяной колодец имеет определённый тип и пропускную способность в единицу времени
- У дороги есть имя, тип поверхности, и т.д.

Каждую из этих характеристик можно специально идентифицировать в ГИС, присвоив им имена атрибутов, такие как собственник, тип землепользования, или имя-дороги.

Каждый атрибут имеет набор возможных значений относящихся к нему. Для примера, дороги имеют свои собственные названия для данной территории. Поэтому все дороги имеют атрибут имя-дороги, а восточная является значением к этому атрибуту для определённой дороги.

12.3. Структура данных

Существует два типа структуры данных: топология и слои. Топология применяется для выделения пространственной связи между объектами. Топология обеспечивает связь между точками, линиями и полигонами и обычно не изменяется оператором. Слои же применяют для того, чтобы структурировать данные.

12.3.1. Топология

Топологическая информация описывает, как объекты расположены друг относительно друга в пространстве и обычно не изменяется оператором.

Когда Вы пытаетесь описать месторасположение какого-либо объекта, Вы обычно говорите, что это находится левее или следует за или находится на таком то расстоянии от чего то ещё. Такое описание не совсем подходит для ГИС. ГИС требуют точно определить топологию, для того, чтобы выполнять пространственный анализ.

Топология описывает пространственную связь объектов, определяя свойства объектов. Она включает в себя информацию, какие условные знаки соответствуют определённым объектам, как точки соединены друг с другом и какие точки и линии образуют полигоны. Эта информация храниться внутри

ГИС. Топологическая информация позволяет человеку использующему ГИС извлекать информацию, например о том, какое перекрытие имеют определённые полигоны, находится ли линия внутри полигона и определять насколько один объект расположен близко к другому.

Манипуляция и анализ данных выполняемый не топологическими ГИС-системами (например, САД системами) ограничен. Поэтому старайтесь создавать структуру Вашей ГИС как можно более полно отвечающую заданным требованиям.

12.3.2. Слои

Большинство ГИС позволяют Вам разделять информацию на карте в логические категории называемые картографическими слоями. Слои обычно содержат информацию только об одном типе объектов, подобно тип почвы участков, или о небольшой группе связанных объектов, например, коммунальные транспортные магистрали (телефонные, электрические и газовые линии).

Данные логично разделяют на слои карты так чтобы ими можно было манипулировать и анализировать в пространстве либо по отдельности, либо совместно с другими слоями. Для получения более значимых аналитических результатов слои в ГИС должны быть связаны друг с другом через общую систему координат базы данных.

Слои можно использовать для создания композитных карт совмещая их на дисплее компьютера, подобно тому как используют слайды на прозрачной основе при показе на проекторе. При анализе новых перекрытий создаются математически комбинированные перекрытия уже существующих. Новые комбинации можно использовать для создания альтернативных сценариев. Логически разделённые данные по слоям облегчают управление и использование базы данных и её производных.

12.4. Анализ данных

Анализ данных позволяет Вам получить новую информацию из существующей базы данных. Анализируемые данные включают в себя:

- Пространственно перекрывающиеся объекты
- Запрос на получение информации с определёнными свойствами
- Классификация, объединение и удаление объектов
- и многое другое.

На рисунке 28 приведён образец простого запроса. Специалисту, работающему с ГИС необходимо знать какие дома построены на почве определённого типа. Для ответа на этот запрос потребуется использовать два вида данных: типы почв и местоположение домов для определённого участка территории. ГИС использует данные из двух информационных слоёв и объединяет их, позволяя получить новый источник информации. Связью между двумя слоями данных служит географическое положение (широта и долгота) для каждой точки.

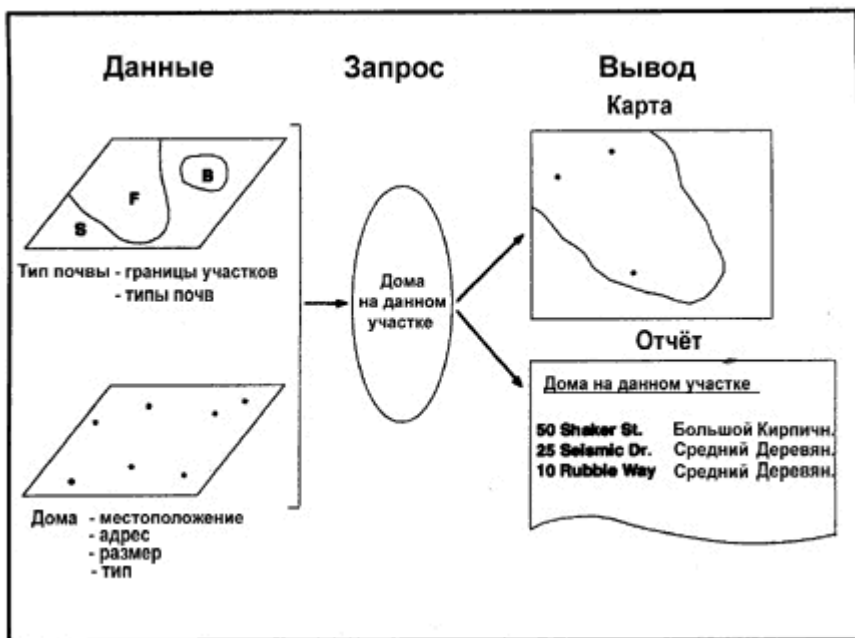


Рис. 28 - Образец простого запроса.

Данный пример является крайне простым случаем и поэтому такую работу несложно выполнить, просто взглянув на территорию застройки домов в районе с определённым типом почвы, однако если Вы работаете с очень большими площадями с неоднородными участками, выполнение такой работы с помощью визуального контроля человека станет крайне затруднительным.

12.5. Отображение данных

Отображение данных включает в себя создание диаграмм, вывод статистических данных, создание картографической продукции и совмещение этих результатов в отчётный проект. Некоторую информацию созданную в ГИС достаточно вывести на дисплей монитора. Другие же результаты, полученные в ГИС необходимо выводить в виде бумажных карт и планов

или файлов, которые, затем будут использоваться в других компьютерных программах.

12.6. Управление данными

ГИС данные требуют заботливого управления для того чтобы извлекать из них полезную информацию. Управление данными включает в себя создание стандартных методов ввода, обновления и извлечения данных. К управлению данными также относится возможность файлового хранения и контроль за доступом пользователя к файлам для чтения, редактирования и архивации. Для эффективного выполнения этих задач управления Вам потребуется создать гибкую и хорошо организованную ГИС.

13. СБОР GPS ДАННЫХ ДЛЯ ГИС

GPS является превосходным инструментом для создания и обновления ГИС баз данных. Однако существует несколько моментов, о которых необходимо знать, когда Вы используете GPS для сбора ГИС данных. В этом разделе приведена информация об основных моментах эффективного использования GPS в ГИС приложениях.

13.1. Что необходимо учитывать при сборе GPS данных?

Этот раздел посвящён вопросам, которые необходимо учитывать, если Вы захотите выполнять сбор ГИС данных с помощью GPS.

13.1.1. Объём работ и типы данных

Чёткое понимание того, какие данные Вы хотите получить, является необходимым условием для успешного выполнения работ. Оцените количество данных, которые необходимо собрать, их структуру и совместимость с уже существующими. Вы можете предварительно изложить всё на бумаге. Создайте предварительный план проекта, где будет указана его цель, объём работ, и возможные пути использования данных.

Если Вы приобрели картографическую GPS систему и намерены собирать дополнительную информацию об объектах, например, их тип и атрибуты то вам необходимо создать в вашем GPS программном обеспечении словарь данных. Словарь данных чем то напоминает бумажный бланк, где приведены все типы объектов которые необходимо зарегистрировать. Он пересылается в память накопителя данных, после чего объект съёмки выбирается из списка со всеми соответствующими атрибутами. Создание словаря данных требует тщательного подхода, для обеспечения наилучшей интеграции с вашей ГИС базой данных. Советуем вам внимательно ознакомиться с руководством пользователя по созданию словаря данных в вашем ПО.

Перед созданием словаря данных определите для себя следующие пункты:

- К какому типу ГИС приложений относиться ваш проект? Как это влияет на типы объектов и атрибуты, которые Вы намерены регистрировать в поле.
- Какое количество объектов охватывает съёмка? Программное обеспечение имеет ограничение, как и ваша база данных. Сбор дополнительных данных и атрибутов увеличивает ценность вашей базы данных, однако, не стоит забывать и об обратной стороне такого подхода. Большой объём информации потребует дополнительных трудозатрат при съёмке и обработке данных.
- Как структурированы данные? Оцените, как различные типы объектов соотносятся в реальной жизни и в вашей базе данных. Обратите внимание на то, как ГИС определяет взаимоотношения между объектами и их атрибутами, и как это может влиять на создание вашего словаря данных.
- Как Вы намерены собирать данные? Различные типы объектов могут быть сгруппированы в единый файл, или они могут регистрироваться в различных файлах.

- Какие ограничения накладываются на словарь данных? Необходимо ли вам иметь несколько словарей данных. Существует ли предел на количество, длину (в символах) и занимаемое пространство (в оперативной памяти накопителя) объектов. Смотрите руководство пользователя ПО за дополнительной информацией.
- Как Вы собираетесь обрабатывать данные? Предварительно ознакомьтесь с ПО для обработки GPS данных. Существует несколько способов редактирования и переноса данных которые могут повлиять на ваш выбор метода съёмки. Например, Вы можете объединять объекты из различных файлов в один или разделять файл с множеством типов объектов на несколько файлов.
- Какие типы данных Вы используете? Если у вас уже существует ГИС база данных, подумайте о том, как создать словарь GPS данных, наилучшим образом подходящий к этим данным.
- Какие единицы измерений, ИГД и систему координат Вы собираетесь использовать? Эти параметры устанавливаются как в программном обеспечении, так и в накопителе данных. Если у вас уже есть данные, Вы должны использовать те же установки при передаче GPS данных в ГИС.

13.1.2. Когда и где собирать данные?

Обычно вам необходимо знать где данные были собраны. Определите начальную точку и маршрут оптимальным образом для сбора данных. Некоторые задачи требуют накопления материала в течении многих дней или даже месяцев. Кроме того, необходимо подумать о полевых условиях, таких как, погода, размер участка работ, доступность объектов съёмки и препятствиях (лес, городские дома и т.д.) которые влияют на условия видимости спутников в различных местах. Необходимо определить наилучшее время для проведения измерений.

Точность зависит от относительного положения спутников, что требует тщательного планирования съёмки. Стандартно, в комплект с GPS приёмниками поставляется программное обеспечение с встроенным модулем планирования для определения наилучшего времени проведения измерений. В разделе 4.2 имеется дополнительная информация о том, как помогает планирование измерений в улучшении точности.

13.1.3. Сбор данных в поле

Точные инструкции по проведению GPS измерений отображены в руководстве пользователя для конкретной модели приёмников. Ниже описано несколько рекомендаций о которых необходимо помнить при выполнении GPS съёмки.

Каким образом осуществляется процесс сбора данных, напрямую зависит от характеристик вашей картографической GPS системы и уровня вашей подготовки. Если у вас уже есть словарь данных, то Вы можете открыть файл и выбрать из списка объект для который необходимо определить местоположение. Если словарь данных отсутствует, то мы рекомендуем вам записывать каждый объект в отдельный файл; например, один дорожный знак в один файл. Вы можете идентифицировать объект, внося заметки на каждой точке или присваивая имени файла ясное название.

Определение имени файла, является важной частью процесса сбора данных. Для ускорения процесса обработки введите общую схему наименования файлов в полевой бригаде. Во время съёмки обычно накапливается большое количество информации и при неправильном управлении потоками данных это может перерасти в серьёзную проблему. Весь персонал задействованный в проекте должен придерживаться заданной номенклатуры для обеспечения максимальной эффективности проведения работ.

Имена файлов должны нести в себе информацию об объектах съёмки и дате регистрации данных. Существует три общепринятых способа включения даты в наименования файлов. ДД зарезервирован для даты, ММ – номера месяца, ГГ – года и

ЧЧ – часа. Поля ХХ зарезервированы для ввода дополнительной информации, например: номера приёмника, описания типа приёмника, названия организации или полевой партии или названия репера, где установлена базовая станция. Имя файла ограничено 8 символами для обеспечения совместимости с файловой системой DOS.

ХХДДММГГ.SSF => например: FH110393.SSF

Преимущество: Чётко определены дата, месяц и год проведения съёмки.

Недостаток: На указание даты уходит 6 символов, и только 2 остаётся на идентификацию объекта.

ХХХХДДММ.SSF => например: FHYR1108.SSF

Преимущество: Чётко определены дата и месяц и 4 символа остаётся на идентификацию объекта.

Недостаток: Имя файла повторяется каждый год.

ХХХХХДДД.SSF => например: FHYRT365.SSF

Преимущество: Только 3 символа определяет имя файла, оставляя на идентификацию объекта шесть.

Недостаток: Имя файла повторяется каждый год. Файлы, собранные в тот же день имеют идентичное имя

13.1.4. Обработка данных

После того, как Вы закончили сбор данных, используйте ваше GPS программное обеспечение для перекачки данных из приёмника в ПК, дифференциальной коррекции (если это необходимо!), визуального отображения, редактирования и вывода в соответствующем формате в ГИС. Более подробно об этом можно прочитать в руководстве, поставляемом с вашим ПО.

Важно помнить несколько правил:

- Установите единую систему нумерации файлов
- Делайте архивную копию файлов перед обработкой
- Проверяйте используемые единицы измерений, ИГД и системы координат при конвертировании GPS данных в ГИС.

14. ТОЧНОСТЬ GPS ИЗМЕРЕНИЙ

Точность GPS измерений различается от 1 сантиметра до более чем 15 метров, в зависимости от используемой аппаратуры, методики обработки данных и других факторов. Кроме того, на точность получаемых данных влияет ваш опыт и знание основ работы с GPS системами.

Помните, что точность определения плановых координат при использовании GPS обычно в 2-5 выше, чем высоты, независимо от местоположения на поверхности Земли. Если Вы используете оборудование и программное обеспечение (ПО), дающее точность плановых координат около 1 см, то точность по высоте составит 2-5 см. Это может стать решающим фактором, когда Вы используете оборудование с точностью плановых координат порядка 2-5 метров. В этом случае, точность определения высоты может быть хуже десятков метров.

В этом разделе Вы найдёте информацию о том, как добиться от вашего GPS оборудования максимально возможной точности.

14.1. Оборудование

Выбор оборудования напрямую зависит от точности, которую вам необходимо получить.

14.1.1. Приёмники

Все GPS приёмники компании Trimble можно подразделить на две категории основываясь на том, как они обрабатывают GPS сигнал:

- С/A (гражданского применения) кодовые приёмники, использующие информацию, которая содержится в спутниковом сигнале для вычисления местоположения объекта;
- фазовые приёмники, которые используют сам радиосигнал для вычисления местоположения объекта.

Эти два метода обработки не являются взаимно исключяющими. Некоторые С/A кодовые приёмники могут выполнять

ограниченную обработку фазы, и все фазовые приёмники могут вычислять положения, основанные на кодовых измерениях. Без дифференциальной обработки, оба типа приёмников могут вычислять только положения, основанные на кодовых измерениях. Если Министерство Обороны США не запускает в действие программу избирательного доступа (Selective Availability или S/A), то точность определения местоположения составляет от 2-х до 5 метров.

C/A кодовые приёмники

GPS приёмники компании Trimble применяемые для картографирования и ГИС приложений используют метод измерения сигнала основанного на C/A (Coarse/Acquisition) коде. Точность этих приёмников находится в диапазоне от дециметровой до 5 метров (с дифференциальной коррекцией).

Кодовым приёмникам не нужно осуществлять непрерывный захват сигнала со спутников для вычисления местоположения. Это позволяет оборудованию работать на территориях с сильной застройкой и в местах с ограниченной видимостью, например, под деревьями.

Фазовые приёмники

Оборудование компании Trimble использующееся для съёмки территории и развития геодезических сетей работает с фазой несущей сигнала. Методы обработки фазы несущей сигнала требуют, чтобы несколько приёмников работало одновременно. Обычно, эти приёмники имеют точность до 1 см + 1 мм на 1 км расстояния между ними. Это расстояние обычно называют длиной базовой линии. Фазовые приёмники отличаются более строгими требованиями к постобработке и сбору данных. Если работа производится в кинематическом режиме, то приёмники должны осуществлять непрерывный захват сигнала, по крайней мере от 4-х спутников для вычисления местоположения объекта. Фазовые приёмники требуют прямого прохождения сигнала со спутника.

Количество каналов

Для определения точных пространственных координат необходимо, по крайней мере четыре GPS спутника.

Внимание: GPS координаты могут быть получены по измерениям с 3-х спутников, если Вы знаете точное значение высоты. Однако, если высота (над эллипсоидом WGS-84) известна неточно, то ошибки в определяемых плановых координатах будут иметь тот же порядок, что и для высоты. Данный метод известен как вычисление плановых (2D) GPS координат. Плановые (2D) GPS координаты обычно имеют большие ошибки из-за проблем в определении точной высоты.

Одноканальным GPS приёмникам приходится осуществлять последовательно захват каждого GPS спутника. По этому каналу осуществляется как слежение за спутниками, так и передача технической информации о состоянии спутника и системы в целом. Многоканальные GPS приёмники используют несколько каналов для слежения за несколькими спутниками одновременно.

Многоканальные GPS приёмники работают более эффективно, чем одноканальные приёмники. В идеальных условиях, со стационарно расположенным C/A кодовым приёмником, когда нет никаких препятствий закрывающих видимость спутников, многолучёвого переотражения или других факторов снижающих точность, разница практически будет незаметна. Однако в реальных условиях, когда приёмник передвигается или сигнал от спутников может прерываться, приёмники с большим числом каналов будут работать лучше. Вам необходимо иметь, по крайней мере, 4-х канальный GPS приёмник для выполнения высокоточных работ с использованием фазовых измерений. Это связано с тем, что фазовому приёмнику требуется один канал на каждый спутник для выполнения измерений.

Если GPS приёмник используется в качестве базовой станции, крайне желательно, чтобы отслеживался каждый видимый спутник. Поэтому, в настоящее время компания Trimble предлагает для таких задач приёмники с 9 или 12 каналами. При использовании рекомендуемой маски по углу возвышения, редко можно встретить место, где одновременно наблюдается более 9 спутников и никогда, если более 12 спутников.

Приёмники Trimble использующиеся в качестве передвижных могут отслеживать по крайней мере 8 спутников одновременно. Это более чем достаточно для большинства приложений. Во время передвижения или при определении координат неподвижных объектов на местности для вычисления местоположения требуется минимум 4 спутника.

В настоящее время Trimble выпускает для задач геодезии и картографии приёмники 9 – 12 каналов, которые могут отслеживать непрерывно и одновременно максимальное число спутников.

C/A и P-кодовые приёмники

GPS спутники передают два кода на одной и той же несущей. Приёмники для ГИС-приложений и картографирования, подобно большинству гражданских GPS приёмников, используют грубый C/A код. GPS спутники также передают точный код (P - код). Большинство военных приёмников армии США и их союзников используют P - код. Некоторые гражданские приёмники для топографической съёмки и создания опорных сетей могут использовать P - код в дополнении к C/A коду.

P - код немного более точен, но используется обычно военными потребителями. Когда P-код зашифрован (так называемый Y - код) армейские приёмники имеют возможность расшифровки сигнала. Такое шифрование сигнала, также называется **Anti-Spoofing** (A/S) и применяется, когда Министерство Обороны США, считает это необходимым для обеспечения безопасности США.

14.1.2. Накопители данных

Компания Trimble выпускает несколько типов конфигураций накопителя TSC1 для использования с различными типами GPS приёмников. Они различаются функциональностью и объёмом встроенной памяти. Выбор накопителя не влияет на точность получаемых данных. Для каждого типа работ имеется оптимальная конфигурация, обеспечивающая наибольшую эффективность. Ваш выбор зависит от того, нужна ли вам детальная атрибутивная информация по объектам, какое количе-

ство объектов Вы собираетесь регистрировать в течение одного рабочего дня, и в каких условиях окружающей среды вам приходится выполнять измерения.

14.1.3. Спутники

Сигналы от GPS спутников большую часть времени имеют искусственно заниженную точность при определении координат и скорости объектов. Система GPS была разработана и обслуживается Министерством Обороны США и её главной задачей является обеспечение навигационными данными военных потребителей США и их союзников. В период становления системы МО США приняло решение о создании алгоритма, позволяющего закрывать доступ к высокоточным навигационным данным неавторизованным пользователям. В результате появились такие понятия как "Избирательный Доступ" (**Selective Availability** или S/A) и шифрование P-кода (**Anti-Spoofing** или AS). Эффект вызываемый S/A можно практически полностью нейтрализовать применением техники измерений под названием дифференциальная обработка.

Избирательный Доступ позволяет искусственно вносить ошибки в координаты, получаемые с помощью GPS. Это загроуление точности осуществляется МО США двумя методами. Во первых - это искусственные ошибки вносимые в навигационные данные передаваемые со спутника. Это так называемая эпсилон окрестность. Т.е. неавторизованный пользователь (пользователи, не имеющие приёмников способных исключить данный тип ошибок) в результате получают неточное местоположение. Во вторых, ошибки связанные со смещением шкалы спутниковых эталонов времени.

В результате избирательного доступа значения местоположения, скорости и времени получаются с большими ошибками чем без него. Если S/A неактивен и не применяется техника дифференциальной коррекции, то точность плановых координат с использованием одночастотного кодового приёмника (например, серии Pathfinder) составит порядка 2-5 метров (с вероятностью 95 %). А при активированном S/A точность пла-

новых координат с таким же приёмником составит порядка 100 метров (с вероятностью 95 %). Точность высотных отметок заявляется на уровне 10 метров (с вероятностью 95 %).

Шифрование сигнала (Anti-Spoofing)

A/S – это преднамеренное шифрование P- кода спутникового сигнала. Когда P-код зашифрован, он становится так называемым Y-кодом. Шифрование вводится для того, чтобы двухчастотный приёмник не был способен определить ионосферную задержку в реальном времени. Кроме того, измерения с P-кодом менее зашумлены и менее чувствительны к интерференции, так что закрытие доступа к P-коду делает решение задачи определения координат более грубым. Картографические приёмники Trimble не используют P-код, поэтому для них этот фактор не важен. Однако высокоточные геодезические приёмники обычно используют P-код.

Работоспособность спутников (“здоровье” спутников или Satellite Health)

Обычно спутники передают в своём сигнале информацию об их работоспособности. Время от времени появляется уведомление о неработоспособности какого либо спутника. Однако это происходит довольно редко. GPS приёмники будут игнорировать сигнал передаваемый с “нездорового” спутника. Перевод спутника в неработоспособный режим обычно осуществляется наземным сегментом слежения за спутниками по следующим причинам:

- При проведении операции вывода на расчётную орбиту во время запуска спутника. В этот период производится тестирование параметров спутника для определения точной модели орбиты КА и бортовой шкалы времени.
- Периодическое обслуживание, например, корректировка орбиты и цезиевого (рубидиевого) стандарта частоты (времени).
- Специальные тестовые периоды перед вводом спутника в работающее созвездие.

- Периоды восстановления работоспособности спутника после устранения неисправностей в бортовых системах.

МО США извещает о периодах неработоспособности спутников. Эта информация доступна через Internet, например, на веб-сайте: <http://www.schriever.af.mil/gps/> или <ftp://ftp.navcen.uscg.mil/gps/status.txt>

Информация о состоянии всех спутников включается в альманах, передаваемый на каждый спутник. Данные альманаха обновляются ежедневно и передаются с каждого спутника приблизительно каждые 12.5 минут.

Если ваш GPS приёмник получил альманах, в котором содержится информация о том, что какой либо спутник “нездоров”, то приёмник не будет отслеживать и принимать данные от неработоспособного спутника до тех пор, пока альманах не будет обновлён. Даже если спутник вернётся в рабочее состояние, то приёмник начнёт использовать его данные, лишь после появления соответствующей информации в новом альманахе. GPS приёмник автоматически отслеживает эти изменения и выполняет обновления по мере необходимости.

Хотя ваш GPS приёмник обычно не использует сигнал от “нездорового” спутника, Вы при планировании GPS измерений можете не принимать это во внимание для целей предсказаний. В этом случае Вы можете использовать информацию от “нездорового” спутника или игнорировать “здоровый” спутник. Если Вы игнорировали указание на то, что спутник “нездоров”, тогда ПО планирования расположения спутников будет предполагать, что спутник “здоров”. Если же Вы игнорировали указание на то, что спутник “нездоров” в ПО базовой станции, то сообщение будет игнорироваться и спутниковые данные будут записываться в базовый файл.

Доступность спутников в GPS “созвездии”

GPS приёмник по умолчанию получает информацию от всех спутников. Это значит, что они используются во всех расчётах (при условии, что они “здоровые”). Некоторые GPS приёмники Trimble позволяют вам отключать “здоровые”

спутники. После этого приёмник не будет принимать сигнал от этих спутников.

Внимание! Вам вряд ли понадобится когда-либо отключать “здоровые” спутники. Это может пригодиться, например, для научных задач, чтобы “заставить” приёмник работать при определённой конфигурации созвездия GPS спутников.

Значение точности измерения расстояния от спутника до пользователя (URA или User Range Accuracy)

Значение точности измерения расстояния от спутника до пользователя (URA) включено в спутниковый сигнал. Это значение характеризует точность измерений от определённого спутника. URA для каждого космического аппарата обычно отображается на экране приёмника (серия 4000) или контроллера (TSC1). Если значение URA больше 30, то скорее всего на спутнике был активирован режим Избирательного Доступа (S/A).

Расположение антенны

Спутниковый GPS сигнал может быть принят из любого направления. Для получения наилучшего результата, антенну необходимо установить в районе с максимально открытым участком неба (вплоть до горизонта). Небольшое количество воды или снега не воздействует на качество приёма сигнала. Металлические поверхности, здания, плотные кроны деревьев и т. п. блокируют сигнал. Мощные передатчики (особенно в микроволновом диапазоне) могут исказить GPS сигнал. Во время работы Вы должны стараться избегать участков через которые проходит сфокусированное микроволновое излучение или мест расположенных вблизи мощных радаров излучающих на радиочастотах близким к кратным значениям частоты L1 сигнала (**1575 МГц**).

Антенну базовой станции необходимо размещать в местах с наиболее открытым горизонтом. Если, например, базовая станция расположена в сильно застроенной территории, то передвижной приёмник может захватить спутник невидимый с базовой станции. В таком случае, данный спутник не может использоваться при выполнении дифференциальной коррек-

ции, т. к. требуются одновременные наблюдения с 2-х GPS приёмников. Гораздо труднее создать идеальные условия наблюдений для передвижного приёмника. Старайтесь обеспечить максимально открытый небосклон при проведении съёмки. Не становитесь вблизи высоких строений. При работе в лесу постарайтесь вынести антенну на метр или два над кронами деревьев.

14.2. Планирование проведения работ

При использовании GPS аппаратуры Вы должны планировать график проведения работ для того, чтобы максимально использовать геометрию расположения спутников. Большинство программного обеспечения Trimble включает модуль предсказания видимости спутников над определяемым местом проведения работ. ПО позволяет рассчитать когда и какие спутники будут находиться над горизонтом в определённое время и какую конфигурацию будет иметь спутниковое созвездие.

14.2.1. Время, дата и место

Для точного предсказания видимости спутников необходимо определить три параметра: дату, время и местоположение точки наблюдений на поверхности Земли.

Дата

Если дата введена неправильно, то вычисленные значения будут отличаться от истинных примерно на 4 мин/день. Это поправка возникает из-за разности в величине дня отсчитываемого по среднему солнечному времени и звёздному. Вследствии этого спутники ежедневно восходят на 4 минуты раньше чем в предыдущий день.

Время

Разница между местным временем и всемирным координированным временем (UTC) должна быть введена правильно. Вы можете рассчитать её по формуле:

Местное Время – UTC = Разница

Примечание: Разница между местным временем и гринвичским GMT положительна к востоку и отрицательна к западу от гринвичского меридиана. Кроме того, из-за использования в России декретного времени (летнего времени), Вам необходимо в этот период добавлять в разницу 1 час.

Таблица 3

Значения разницы для некоторых городов.

Город	Разница (часы)
Лондон, Великобритания	0
Сан – Франциско (США)	-8
Москва	+3 +4 (летом)
Екатеринбург	+5 +6 (летом)

Местоположение

Для выполнения точных вычислений вам необходимо ввести географические координаты района предполагаемых работ с точностью до 15 км (или » 10 угловых минут по широте).

14.2.2. Использование действующего альманаха

Альманах или эфемеридный файл содержит орбитальную информацию для всех GPS спутников. Он предаётся со спутников и автоматически записывается в GPS приёмник. Вам необходимо перекачать альманах из приёмника в компьютер, для того, чтобы соответствующее ПО могло использовать эту информацию в расчётах. После приобретения программного обеспечения (Pathfinder Office, Trimble Geomatics Office или GPSurvey) Вам необходимо обновить альманах, так как в ПО обычно содержится уже устаревшая информация. После того, как альманах записан в GPS приёмник, он действителен в течении примерно 3-х месяцев. Файл альманаха может стать недействителен и раньше если, например, запущен новый спутник, спутник стал “нездоров” или спутник был перемещён на другую орбиту. Если вам нужен точный прогноз, то старайтесь не использовать альманах полученный более 3-х месяцев назад. Если же был выведен на орбиту новый спутник Вы мо-

жете продолжать использовать старый альманах, с учётом того, что в расчёт он приниматься не будет. Для полной уверенности обновляйте файл альманаха в вашем программном обеспечении 2 раза в неделю.

МО США извещает о периодах неработоспособности спутников и датах запусках. Эта информация доступна через Internet, например, на web-сайте:

<http://www.schriever.af.mil/gps/>

Графики предсказания видимости спутников

Программное обеспечение компании Trimble позволяет вам создать несколько разновидностей графиков видимости спутников. Вы можете выводить количество видимых спутников, их высоту над горизонтом и азимут, PDOP в зависимости от времени и многое другое.

Количество видимых спутников

Для вычисления трёхмерных координат (широты, долготы и высоты) необходимо по крайней мере четыре спутника, видимых над горизонтом. Если же вас интересуют только плановые координаты (широта, долгота, время) то достаточно три спутника. Для получения пространственных координат желательно принимать сигнал от 5 и более спутников. Это обеспечивает более качественное решение и избыточность наблюдений. Даже если некоторые спутники были закрыты для антенны передвижного GPS приёмника соседними домами или деревьями, Вы сможете определить координаты объекта в плане и по высоте.

PDOP (Position Dilution of Precision)

Фактор снижения точности определения местоположения (Position Dilution of Precision - PDOP) является лучшим общим показателем качества геометрии созвездия спутников и, следовательно, точности данных. Чтобы получить и собрать данные наилучшего качества, Вам нужно задать такое предельное значение PDOP, при превышении которого вычисление координат производиться не будет. Этот предел называется маской PDOP, и он должен быть установлен в приёмнике *перед* началом сбора данных. Рекомендуемое (и выставяемое по умол-

чанию) значение маски PDOP для GPS приёмников геодезического класса равно 7 (для картографических и ГИС приёмников – 6). Более низкие значения DOP указывают на более высокое качество данных. В соответствии с этим Вы можете рассчитать в ПО периоды наиболее благоприятные для проведения съёмки.

Большинство программного обеспечения Trimble позволяет также вычислять значения **HDOP** (снижение точности определения плановых координат, широта и долгота), **VDOP** (снижение точности определения высоты), **TDOP** (снижение точности определения, из-за ухода стандарта частоты часов приёмника). Эти расчёты не учитывают местных условий наблюдений. Если часть неба загорожена строениями и т.п. и в этих участках расположены спутники, то соответственно реальные данные будут отличаться от вычисленных.

PDOP равный 4 или меньше указывает на великолепные условия наблюдений (без учёта количества спутников), от 5 до 8 на удовлетворительные и более 9 на плохие.

Кинематические съёмки, в ходе которых нормой являются короткие периоды наблюдений, очень чувствительны к значению фактора PDOP. Вам следует избегать выполнения инициализации в том случае, если значение PDOP равно 7 или больше. В подобных ситуациях приёмники фирмы Trimble издадут сигнал тревоги, который предупреждает вас о необходимости оставаться неподвижным до тех пор, пока значение PDOP не упадет ниже порогового.

Статические и быстростатические съёмки, которые требуют более длительных периодов наблюдений по сравнению с кинематической съёмкой, менее подвержены влиянию высокого значения PDOP, поскольку это значение часто значительно снижается на протяжении периода наблюдений.

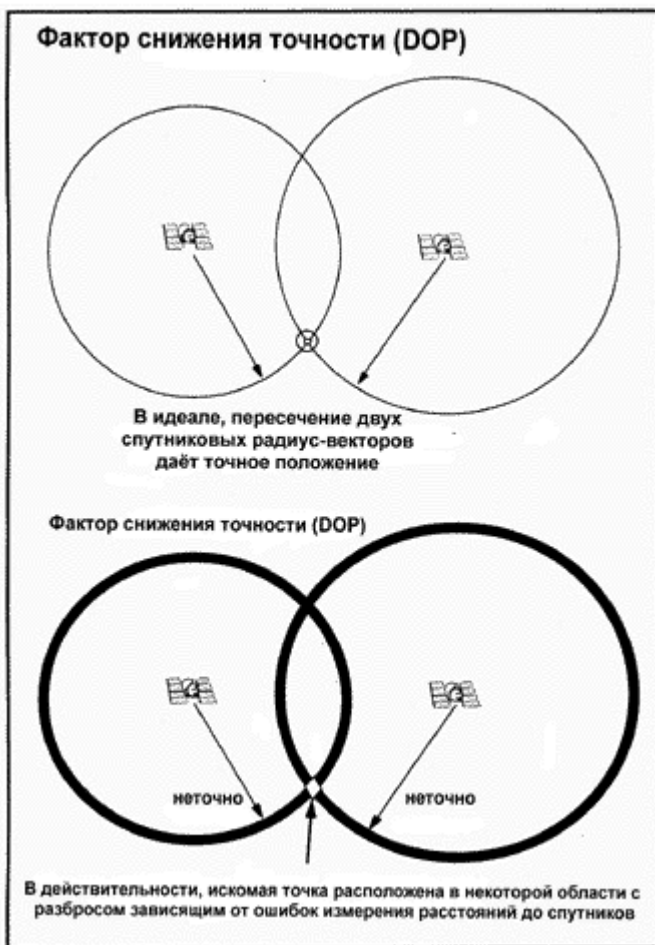


Рис. 30 - Влияние геометрии созвездия GPS спутников на точность определения координат.



Рис. 31- Влияние геометрии созвездия GPS спутников на точность определения координат.

Планисферы (Sky Plots)

Программное обеспечение для планирования может рассчитывать и выводить планисферы на которых изображается видимая геометрия созвездия GPS спутников. Планисферы выглядят как круг на котором изображена проекция небесной сферы с маркерами отображающими видимое положение спутников. Спутники расположенные у горизонта попадают на край планисферы.

На рисунке приведены примеры результатов расчёта планисфер. Идеальная конфигурация из четырёх спутников – это когда три спутника расположены невысоко над горизонтом симметрично относительно четвёртого спутника находящегося в зените (пример 1). В этом случае Вы получаете наиболее качественные пространственные координаты, т. к. любые ошибки плановых координат полученные из одного направления контролируются измерениями с противоположной стороны. Спутник расположенный в зените даёт проверку по высоте для трёх остальных.

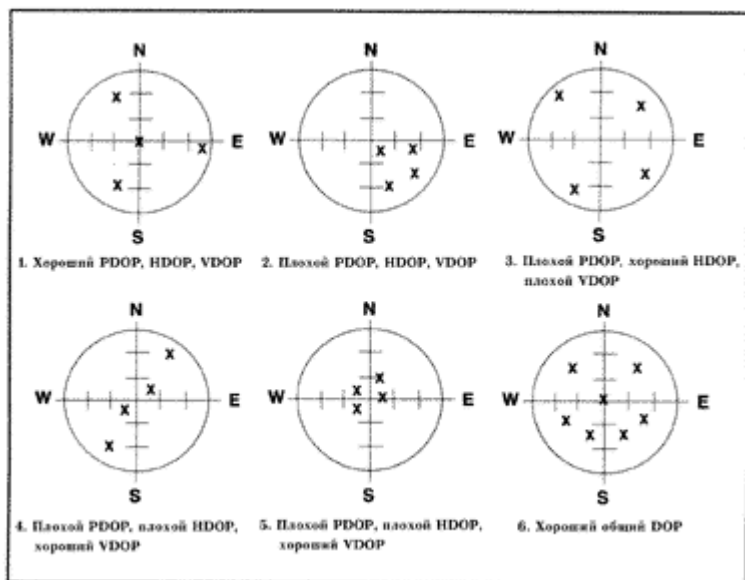


Рис. 32 - примеры результатов расчёта планисфер

Плохая геометрия будет, когда все спутники расположены в одной и той же части неба (пример 2) или выстроились в прямую линию (пример 4). Определённая геометрия может быть неудачна для отдельного DOP параметра, и выигрышна для других видов DOP. Например, если вам прежде всего нужна точность определения плановых координат (в отличии от высоты), Вы можете выполнять измерения когда спутниковая геометрия напоминает ту, что показана в примере 3. Несмотря на то, что значение PDOP большое, плановая точность будет высокой.

Примечание – Планирование является в большинстве случаев необязательной но желательной процедурой, так как GPS приёмник автоматически отбирает спутники обеспечивающие самое низкое значение PDOP. Вы можете спланировать наилучшие периоды для проведения съёмки, но в полевых условиях нельзя вручную отбирать наблюдаемые спутники.

14.3. Параметры сбора данных

Несколько факторов воздействует на качество получаемых результатов. Например, количество приёмников использующихся при съёмке и их установки. Ниже обсуждаются вопросы связанные с параметрами сбора данных.

14.3.1. Маска PDOP (Position Dilution of Precision)

Фактор снижения точности определения местоположения (**Position Dilution of Precision - PDOP**) является наиболее важным фактором, влияющим на точность данных. Вы можете задать такое предельное значение PDOP при превышении которого определение координат производиться не будет. Этот предел называется маской PDOP, и он должен быть установлен в приёмнике *перед* началом сбора данных. Рекомендуемое значение маски PDOP для большинства картографических и ГИС приложений составляет 6. На некоторых GPS приёмниках может потребоваться установить маску PDOP равную 4, для того, чтобы достигнуть сантиметрового уровня точности.

14.3.2. Маска уровня сигнала (SNR)

Уровень сигнала, передаваемого спутником, называемый также отношением сигнал-шум (**signal-to-noise ratio - SNR**), является мерой информативности сигнала по отношению к присутствующему в нем шуму. Уменьшение этой пропорции означает, что информация теряется в шуме. Качество сигнала улучшается по мере увеличения уровня сигнала (уровень сигнала, равный 14, лучше уровня сигнала, равного 8). Обычный уровень L1 сигнала, передаваемого спутником с углом возвышения 30° , лежит в диапазоне от 12 до 20. Уровень L1 сигнала более 20 считается очень хорошим. Качество данных является плохим, если уровень L1 сигнала одного из спутников созвездия оказывается менее 6. Местоположения, определяемые при низком уровне сигнала, можно использовать для навигации, но не для геодезических целей. Следует помнить, что отношение сигнал-шум (SNR) для L2 сигнала часто бывает ниже, чем SNR для L1 сигнала и, в действительности, редко превышает 15.

Для оценки зашумленности данных следует обратить внимание на уровень L1 сигнала.

Сигналы GPS спутников являются относительно слабыми. Действительно, всегда присутствующий фоновый шум в большинстве случаев оказывается "громче" GPS сигнала. При особенно слабом уровне сигнала спутника местоположения, вычисленные на основании этих измерений, следует рассматривать как приблизительные.

Существуют четыре наиболее распространенные причины, которые приводят к ослаблению спутниковых сигналов:

- Сигнал достигает антенны, после прохождения через препятствие, например, кроны деревьев;
- Сигнал переотражается от ближайшей поверхности и достигает фазового центра антенны не по прямой линии, а по ломанной (так называемый эффект многолучевости);
- Чем ниже спутник расположен над горизонтом, тем более слабый сигнал достигает антенны. Сигнал низкого GPS спутника проходит по более длинному пути в тропосфере и ионосфере;
- Сигнал от спутника расположенного в определённой области неба может приниматься более качественно. Данный эффект напрямую зависит от диаграммы направленности антенны.

Для того, чтобы избежать регистрации слабого спутникового сигнала, Вы можете использовать маску уровня сигнала. Рекомендованное значение маски равно 6. Это позволит использовать спутники для определения местоположения, только с определённым уровнем отношения сигнал-шум.

14.3.3. Режимы определения координат

Вы можете выбрать один из четырёх предварительно заданных режимов определения координат:

- Переопределённый 3D (3D Overdetermined)
- Ручной 3D (Manual 3D)
- Ручной 2D (Manual 2D)

- Авто 2D/3D (Auto 2D/3D)

Переопределённый 3D (3D Overdetermined)

Для работы в режиме “Переопределённый 3D” необходимо наличие 5 и более спутников (имеющих допустимые значения PDOP и сигнал-шум). GPS приёмник получает пространственные координаты от спутников имеющих наилучшую пространственную конфигурацию. В этом режиме приёмник имеет избыточные измерения для контроля точности определения местоположения.

Ручной 3D (Manual 3D)

Для работы в режиме “Ручной 3D” необходимо наличие 4-х и более спутников. Приёмник получает пространственные координаты от спутников имеющих наилучшую пространственную конфигурацию. Наблюдения прекращаются если, количество спутников падает ниже допустимого значения.

Режимы “Переопределённый 3D” и “Ручной 3D” обеспечивают максимальный уровень точности определения пространственных координат при использовании в кинематике и на транспортных средствах.

Ручной 2D (Manual 2D)

Для работы в режиме “Ручной 2D” необходимо наличие трёх спутников. Приёмник вычисляет широту и долготу на основе известной (определяемой пользователем) высоты. Высота, заданная в приёмнике, остаётся фиксированной даже во время движения. Если высота не была определена пользователем, то используется последнее вычисленное значение высоты.

Внимание – Используйте режим “Ручной 2D” только в том случае, если Вы можете ввести правильную высоту (над эллипсоидом WGS-84) с ошибкой не более 2-х метров, необходимая конфигурация для определения пространственных координат недоступна и будет использоваться статический режим сбора данных. При использовании неправильного значения высоты, ошибки в определении плановых координат будут иметь тот же порядок.

Авто 2D/3D (Auto 2D/3D)

В режиме “Авто 2D/3D” приёмник вычисляет пространственные координаты (3D) когда это возможно. Если значение PDOP превышает маску PDOP или только три спутника доступно для наблюдений, GPS приёмник переходит в режим определения плановых координат. При переходе из режима 3D в 2D приёмник использует последнее значение высоты вычисленное в режиме 3D. Из опыта работы установлено, что для большинства приложений достаточно установить маску перехода PDOP равную 6.

Режим “Авто 2D/3D” обеспечивает полную регистрацию координат в файл измерений даже если видно только три спутника. Однако, плановые координаты полученные в режиме 2D менее точные, чем определённые в 3D.

В таких файлах программное обеспечение позволяет делать выборку координат полученных в режиме 3D. Кроме того, Вы можете перевычислить все координаты определённые в режиме 2D на основе точных значений высот. В зависимости от территории, это может привести к увеличению точности координат.

14.3.4. Проблемы связанные с использованием

В большинстве случаев не рекомендуется использовать для сбора координат режим 2D из-за проблем связанных с определением высотных отметок. Когда Вы устанавливаете в GPS приёмнике режим вычисления 2D координат, Вы заменяете одно спутниковое измерение (высотное) фиксированной величиной. Если высота задана неправильно, то широта и долгота также будет определена с большой ошибкой. Например, если фиксированная высота имеет ошибку в 10 метров, то ошибка полученных значений плановых координат может достигать 50 метров и более. Кроме того, эта ошибка не может быть исключена применением техники дифференциальной коррекции.

Вы можете точно знать высоту которая относится к среднему уровню моря (СУМ), но GPS аппаратура получает высоту относительно поверхности эллипсоида WGS-84, а не отно-

сительно СУМ. Расхождения между высотами могут достигать больших значений. Алгоритмы переход между высотами WGS-84 и отнесёнными к среднему уровню моря имеют ошибки до 5 метров и более. Имеющиеся в наличии в США коммерческие карты высот относительно эллипсоида WGS-84 имеют точность около 1 метра.

14.3.5. Маска по углу возвышения

Маска по углу возвышения – это угол отсчитываемый от горизонта, ниже которого спутники не используются. Для работ на участках, где имеются местные препятствия (например, листва деревьев или здания) высокая вероятность точного определения базисных линий существует лишь в том случае, если значение маски возвышения равно или превышает 15° . В геодезических GPS приёмниках фирмы Trimble по умолчанию установлено значение маски возвышения 15° для приложений с постобработкой данных, и 13° для съёмок в реальном времени.

Когда спутник находится близко к горизонту, то возникает две проблемы:

- Спутниковые сигналы должны пройти значительное расстояние через атмосферу. В результате этого наблюдается более низкий уровень сигнала, и происходит задержка приёма сигнала GPS приёмником (задержка распространения). Так как расстояние до спутника вычисляется на основании времени прохождения, то небольшая задержка во времени распространения сигнала может привести к возникновению существенной ошибки при вычислении расстояния.

- Сигналы отражаются от соседних к антенне поверхностей, так что приёмник принимает как исходный, так и отраженный сигналы. Этот эффект, называемый **многолучевым распространением**, является основным источником ошибок в GPS. При условии наличия достаточного количества данных ошибка многолучевого распространения может быть смоделирована в ходе обработки базисной линии. Более продолжительные периоды наблюдения позволяют программному обес-

печению обнаружить и устранить эффекты многолучевого распространения в процессе вычисления базисных линий.

Вы можете уменьшить влияние этих эффектов путем использования значения по умолчанию для маски возвышения (15° для базовой станции и 10° для передвижного приёмника). Не следует забывать, что увеличение предельного значения маски по углу возвышения ограничивает количество спутников отслеживаемых GPS приёмником. Это особенно критично, если значение маски достигает величин 20° - 25° над горизонтом.

Маска по углу возвышения для передвижного приёмника должна быть больше чем для базовой станции на 1° на 100 км расстояния между приёмниками. На рисунке наглядно изображена возникающая ситуация. Подобная корректировка позволяет увеличить шанс, что передвижной приёмник и базовая станция будут отслеживать одинаковые спутники.

В тех ситуациях, когда имеется вероятность многолучевого распространения, можно установить повыше антенны или увеличить время наблюдений (в течение которых спутники будут перемещаться).

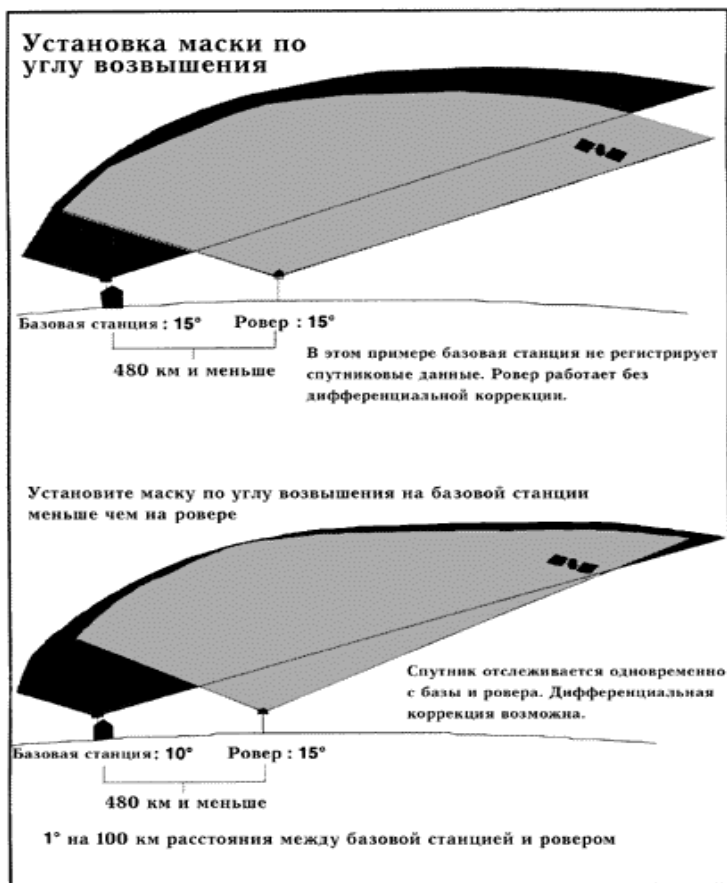


Рис. 33 – Корректировка маски возвышения

14.4. Процедуры сбора данных

Ряд факторов воздействуют на качество результата съёмки. Разные типы работ требуют либо длительных периодов наблюдений, либо высокую точность. Ниже будут рассмотрены эти факторы.

14.4.1. Тип измерений

Некоторые кодовые приёмники могут выполнять ограниченную обработку фазы спутникового сигнала. Большинство современных фазовых геодезических GPS приёмников позволяют получить сантиметровый уровень точности в реальном времени. Однако ограниченное использование фазовых измерений вместе с кодовыми увеличивает время наблюдений на одной точке до нескольких минут.

Использование технологии обработки фазовых измерений даёт результат более точный, чем кодовые измерения. Однако при этом увеличиваются требования к процедуре сбора данных и требуется более сложная обработка “сырых” измерений. Для одной точки съёмки требуется записывать более 10 минут непрерывных фазовых измерений, чтобы получить точность плановых координат и высоты в пределах нескольких сантиметров.

14.4.2. Типы файлов

В поле, одной из первых операций, которую выполняет геодезист является открытие файла (в памяти накопителя или GPS приёмника) для регистрации данных. Существует две разновидности файлов используемых в картографических системах Trimble: файл передвижного приёмника и файл базовой станции. Эти файлы записываются в соответствующем формате, с расширением **.SSF (Standard Storage Format** или Стандартный Формат Хранения Данных). В процессе обработки получают файлы с другими расширениями, например, **.COR**, **.ADJ**, **.SSX**, и т.д. Несмотря на то, что они имеют другие расширения это тот же формат **SSF**. Однако файлы, которые создаются в модуле экспорта имеют уникальные расширения и записаны в формате уникальном для вашей ГИС, **CAD**, **ASCII** или другой базы данных.

Файл передвижного приёмника (Rover File)

Большинство файлов в картографических системах Trimble являются файлами передвижного приёмника. Файл передвижного приёмника содержит в основном координаты объ-

ектов, их описания, атрибутивную информацию и примечания оператора. Кроме того, в файл можно записывать спутниковые орбитальные данные, PDOP и установки приёмника. Эти данные можно собирать и в виде файла базовой станции, но это увеличивает размер файла по сравнению с передвижным. До дифференциальной коррекции координаты имеют точность около 5 метров.

Файл базовой станции

Базовый файл создаётся неподвижным GPS приёмником, расположенным в точке с известными координатами. Эти файлы используются для вычисления дифференциальных поправок в постобработке. Зная поправки, можно исключить систематические ошибки из данных передвижного приёмника. В базовый файл записываются измерения и другие данные от каждого отслеживаемого спутника. Один базовый файл можно использовать для дифференциальной коррекции любого количества файлов передвижных приёмников, если в них имеются периоды одновременной записи данных. Чтобы использовать файл для дифференциальной коррекции Вы должны регистрировать данные в файл базовой станции. При этом должны выполняться следующие условия:

- Данные в файлах базовой станции и передвижного приёмника должны записываться одновременно;
- Файл базовой станции должен регистрировать информацию от всех спутников, которые используются для вычисления координат объектов. Для того, чтобы спутники принимаемые на передвижном приёмнике всегда наблюдались базовой станцией необходимо использовать места с открытым небом для установки базового GPS приёмника и более низкую маску по углу возвышения для передвижного приёмника. При этом расстояние между передвижным и базовым GPS приёмниками не должно превышать 500 км;
- Интервал записи базовой станции должен совпадать или быть кратным значению, установленному на передвижном приёмнике. Рекомендуемое значение при

выполнении измерений в режиме “Статика” составляет 15 минут.

Большинство картографических GPS приёмников Trimble могут использоваться в качестве базовой станции. Кроме того, Вы можете использовать файлы от приёмников серии 4000. Однако наиболее эффективным и удобным методом для сбора базовых файлов, является использование системы из GPS приёмника и ПО Trimble Reference Station. Установив GPS приёмник на пункт с известными координатами, Вы получаете возможность непрерывно и автоматически регистрировать данные с заданным интервалом и упаковывать их в файлы за определённый интервал времени, например, за сутки накапливать 24 файла измерений базовой станции с данными, собранными в течении 1-го часа.

Точки маршрута (Waypoints)

Большинство приёмников и накопителей Trimble позволяют работать с точками маршрута. Точка маршрута имеет название или номер, а также плановые координаты (географические или прямоугольные). Точки маршрута в основном используются для навигации. Максимальное число точек маршрута, которые могут храниться в накопителе, зависит от его типа. Большинство программных продуктов Trimble позволяет создавать файл с точками маршрута и перекачивать их в накопитель для последующего использования в навигационных целях.

Файл альманаха

Файл альманаха или эфемеридный файл содержит орбитальную информацию для всех GPS спутников по которой GPS приёмник вычисляет расположение спутников на небе (азимут и высоту над горизонтом). Время передачи со спутника всего файла занимает примерно 12.5 минут. Вам необходимо перекачать альманах из приёмника в компьютер, для того, чтобы соответствующее ПО могло использовать эту информацию при планировании условий измерений. Если альманах содержащийся в GPS приёмнике устарел, то при начале сеанса наблюдения он записывается автоматически. Кроме того, в

большинстве GPS приёмников Trimble имеется возможность “вручную” запустить процесс получения альманаха со спутников.

14.4.3. Интервал измерений

Точность дифференциальной коррекции зависит от того, какой интервал записи Вы устанавливаете. При создании файла базовой станции предпочтительно использовать короткие интервалы. Для выполнения дифференциальной коррекции данных передвигного приёмника более важным параметром является суммарное время наблюдений на точке. Например, больший интервал записи в течении продолжительного периода наблюдений даёт большую точность, чем короткий интервал в течении меньшего времени стояния на точке.

Базовая станция

Данные спутниковых измерений, записываемые в базовый файл, являются основной информацией влияющей на точность дифференциальной коррекции. Эта измерительная информация может записываться по разному. В виде псевдодальностей или как информация о фазе несущей для каждого спутника.

Интервал записи псевдодальностей может находиться в диапазоне от 1 до 15 секунд. Однако запись измерений чаще чем один раз в три секунды не даёт существенного улучшения точности. При этом размер файла увеличивается очень быстрыми темпами. Рекомендуемый интервал (для большинства задач) записи для базовой станции составляет 5 секунд.

Информация о фазе несущей используется для более точной дифференциальной обработки, чем информация по псевдодальностям. Программное обеспечение выполняющее дифференциальную коррекцию отдельно обрабатывает измерения псевдодальностей и фазы несущей.

Интервал записи спутникового сигнала по фазе несущей должен быть установлен в диапазоне от 1 до 15 секунды. Более короткий интервал записи приводит к увеличению размера файла. Рекомендуемый интервал (для большинства задач) записи на базовой станции составляет 5 секунд.

Передвижной приёмник

GPS приёмники Trimble используемые для целей картографии и ГИС разделяются на два типа: кодовые и фазовые. Соответственно меняется и техника выполнения работ, для достижения наибольшей точности измерений.

Дифференциальная коррекция кодовых спутниковых измерений будет более качественной, если передвижной приёмник и базовая станция записывают данные одновременно и с одинаковым интервалом. Например, базовая станция и передвижной приёмник имеют одинаковый интервал записи измерений. В результате ко всем измерениям можно применить технику дифференциальной коррекции. В том случае, когда передвижной приёмник имеет интервал записи измерений 1 секунда, а базовая станция 5 секунд только 20% измерений можно подвергнуть дифференциальной коррекции. В результате 20% данных будет иметь наивысшую точность, а оставшиеся 80% будут менее точными из-за ошибок интерполяции. Рекомендуется, чтобы интервал записи передвижного приёмника был равен или превышал в целое число раз интервал записи базовой станции.

Также, передвижной GPS приёмник может записывать информацию фазы несущей, аналогично базовой станции. В этом случае данные могут быть совместно обработаны (если наблюдения проводились синхронно) и координаты будут иметь сантиметровой или дециметровой уровень точности. Для того, чтобы получить сантиметровой уровень точности необходимо применять в работе высококачественные антенны.

14.4.4. Субметровый уровень точности

Все кодовые GPS приёмники Trimble могут вычислять координаты с субметровой точностью с секундным интервалом. Если процесс съёмки выполнен корректно, то приёмник может определить плановые координаты объектов с точностью около 1-го метра. Точность можно повысить с помощью осреднения результатов измерений большего объёма и времени съёмки. При этом передвижной приёмник и базовая станция должны

иметь одинаковый интервал записи измерений. Специальное программное обеспечение, использующее данные фазы несущей позволяет добиться от картографических GPS приёмников уровня точности порядка дециметра.

14.4.5. Расстояние между базовой станцией и передвижным приёмником

От расстояния между базовой станцией и передвижным приёмником зависит точность определения координат. Если расстояние увеличивается, то точность падает на величину, которая зависит от типа GPS приёмника. Например, для приёмника Trimble 4700 она равна 1 мм на км базовой линии, а для Pathfinder Pro XR/XRS 5 мм на км базовой линии.

14.5. Обработка измерений

Если соблюдается технология проведения работ, то обработка “сырых” измерений обычно не вызывает никаких проблем. Ниже приведена информация о наиболее важных моментах обработки данных.

14.5.1. Местоположение базовой станции

Для выполнения дифференциальной коррекции базовую станцию помещают на пункт с известными координатами. Если исходные координаты не были введены непосредственно при проведении измерений, то это необходимо сделать в программном обеспечении для постобработки. Величина погрешности исходных координат автоматически добавляется в определяемые. Поэтому старайтесь устанавливать базовую станцию на пункты с наиболее достоверно известными координатами. Местоположение базовой станции включает в себя: широту, долготу и высоту в соответствующей системе координат и картографической проекции.

14.5.2. Использование техники дифференциальной коррекции

Для этого необходимо, чтобы базовая станция и передвижной приёмник одновременно записывали сигнал от одного и того же комплекта спутников. Однако бывают нештатные ситуации, когда применение техники дифференциальной коррекции невозможно. В современном программном обеспечении Trimble существуют специальные алгоритмы выявления и решения таких проблем.

15. ИСХОДНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ДАТЫ И СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

До начала полевых GPS работ вам необходимо иметь определённые знания по основам систем координат и ИГД. При сравнении геодезических координат полученных из различных источников, которые могут быть в разных системах координат и ИГД, их необходимо привести в единую систему, поскольку значения координат одной и той же точки в разных координатных системах и ИГД будут отличаться.

Кроме того, значительные ошибки возникают при одновременном использовании различных ИГД и координатных систем. Например, ваши GPS данные будут неверны, если Вы имеете исходные координаты базовой станции на основе ИГД NAD-27, но при вводе этих значений ошибочно используете другие ИГД, такие как WGS-84. Это особенно критично как при выполнении работ в реальном времени, так и для съёмки с постобработкой.

NAD - это ИГД для Северной Америки. WGS - это Мировая Геодезическая Система, числа 27, 83 или 84 обозначают год к которому относится система координат (например, 1927, 1983, или 1984)

15.1. ИГД (Datums). Форма и размеры Земли могут быть описаны двумя способами

Один способ описание видимой поверхности, включая поверхности морей и океанов, равнины, склоны холмов и горы. Второй способ это измерение силы тяжести. Эти два подхода объединяются, когда мы говорим, что высота Эвереста составляет 8848 метров над средним уровнем моря.

Геоид – это уровенная поверхность совпадающая с уровнем мирового океана в спокойном состоянии. Значение силы тяжести в каждой точке поверхности геоида является константой. Вертикальное положение объекта на земной поверхности можно определить, измерив значение силы тяжести в данной точке и сравнив его со значением силы тяжести на среднем

уровне моря. К сожалению, геоид - это сложная математическая поверхность.

Математические модели могут быть близки к описываемой поверхности, но не являются её копиями. Однако, для описания локальных областей, в пределах заданной точности, в геодезии применяются простые эллипсоидальные или сферические модели земной поверхности. Такой моделью, например, является эллипсоид вращения.



Рис. 33 – Модель эллипсоида вращения

При этом нельзя задать такой эллипсоид, который бы наиболее правильно описывал всю земную поверхность, для описания различных областей используют разные модели эллипсоидов наиболее точно совпадающих с земной поверхностью в данном районе.

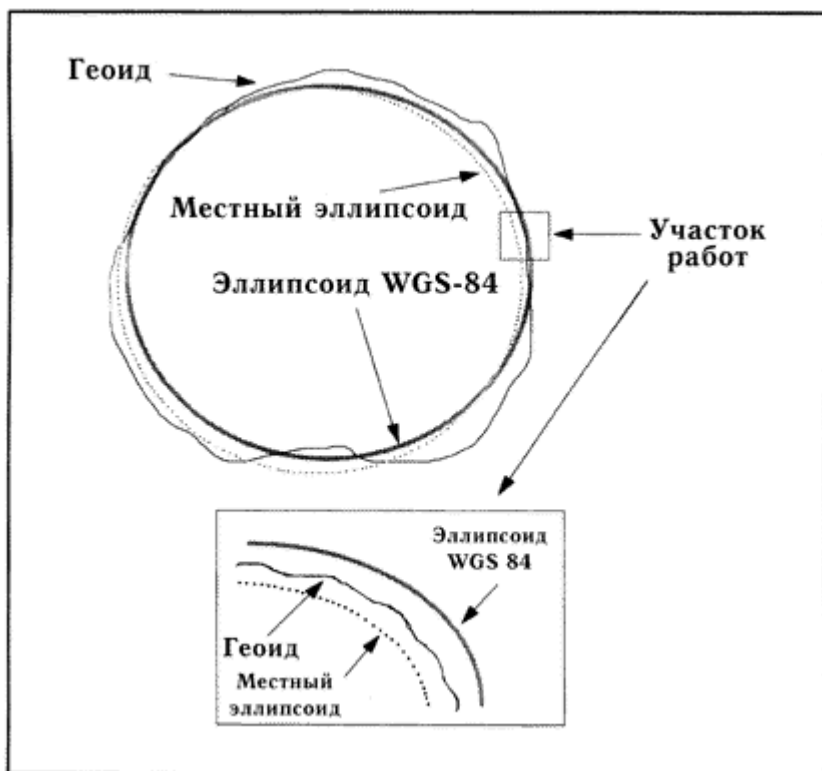


Рис. 34 – Использование эллипсоидов для описания поверхности Земли

Если Земля была бы полностью жидкой, то при вращении Земля имела бы форму эллипсоида. В таком случае сила гравитации в любой точке поверхности будет постоянной и гравитационные силы уравниваются центробежными силами вращения Земли. Поэтому эллипсоид является хорошим математическим приближением к естественной форме геоида.

В качестве основы Системы Глобального Позиционирования или GPS используется эллипсоид GRS-80. Система координат на основе этого эллипсоида называется Мировая Геодезическая Система 1984 (WGS-84). Эллипсоид GRS-80 имеет большую полуось, равную 6378137 метров и малую полуось,

равную 6356752.3 метра. Это значит что для данного эллипсоида расстояние от центра Земли до экватора на 21 км больше чем, расстояние от центра Земли до полюса. Эллипсоид не является шаром, а представляет фигуру сжатую в направлении полюсов. На практике параметры эллипсоида часто задаются через значения большой полуоси и полярного сжатия.

15.2. Системы координат.

Системы координат описывают референционную модель Земли, но этого не достаточно для детального описания назначенной области. Выбрав систему координат, вам необходимо решить в каком виде нужно отобразить точку земной поверхности. Наиболее просто отобразить точку в геодезических координатах (широта и долгота). В картографии сферическую поверхность Земли изображают на плоскости. Законы преобразования широты и долготы в плоские координаты X и Y, называются картографическими проекциями. На практике не удаются изобразить поверхность Земли без площадных, линейных и угловых искажений в одной проекции. Один из этих параметров всегда будет искажаться. Вы можете выбрать ту проекцию, которая наиболее полно отвечает решаемым задачам.

Существует множество местных систем координат параметры которых заданы на основе известных ИГД и проекций. Например, системы СК-42, СК-63, U.S. State Plane, Australian Map Grid, New Zealand Map Grid, Ordinate Survey of Great Britain и многие другие. При этом используются проекция Гаусса-Крюгера, Поперечная проекция Меркатора, а для Аляски (которая имеет вытянутую, узкую форму) Косоугольная проекция Меркатора.

Для представления данных ГИС в местной системе координат, очень важно понимать, что есть большие различия в отображении GPS позиций в системе координат WGS-84, и отображении тех же позиций в местной системе координат на основе местных ИГД. Картографические программные продукты позволяют переводить данные из системы координат

WGS-84 в местные системы координат, а также преобразовывать высоту над эллипсоидом WGS-84 в высоту над геоидом.

Программное обеспечение может отображать данные в системе координат заданной пользователем, и преобразовывать их на выходе в формат ASCII или в форматы совместимые с вашей ГИС базой данных.

16. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В АТМОСФЕРЕ

Рассматривалась математическая модель, описывающая распространение примесей в условиях городской застройки. Для расчетов параметров модели использовался модуль ANSYS/Flotran конечно-элементного пакета ANSYS. Этот модуль позволяет решать различные гидро- и газодинамические задачи, включая задачи о распространении примесей. Для таких задач модуль ANSYS/Flotran имеет специальную методику анализа распространения примесей - Multiple Species Transport.

Для вычислений использовались следующие соотношения:

Уравнение непрерывности:

Уравнение непрерывности вытекает из закона сохранения массы:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \rho \mathbf{v} = 0,$$

где

ρ -плотность,

\mathbf{v} -вектор скорости,

t -время

Уравнения Навье-Стокса:

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \nabla) \mathbf{v} = - \frac{1}{\rho} \operatorname{grad} P + \frac{1}{\rho} \nabla \cdot (\mu \nabla \mathbf{v}),$$

где P –давление,

u_{ij} –компоненты вектора скорости ($u_1=v_x$, $u_2=v_y$, $u_3=v_z$),

μ –вязкость.

Уравнение энергии:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho C_p T) + \nabla \cdot (\rho C_p T \mathbf{v}) = \nabla \cdot (K \nabla T) + Q_v,$$

где

C_p -коэффициент теплоемкости,

T -температура,

K -коэффициент теплопроводности,
 Q_v -мощность источника тепла

Уравнения массопереноса:

$$\frac{\partial(\rho Y_i)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho Y_i \mathbf{v}) + \nabla \cdot (\rho D_i \nabla Y_i) = 0,$$

$$i = 1, 2, \dots, n-1,$$

$$Y_n = 1 - \sum_{i=1}^{n-1} Y_i,$$

Плотность каждой примеси считается по формуле:

$$\rho = \rho_N \frac{p}{C_2^p} \frac{C_1^p}{T},$$

Вязкость и теплопроводность рассчитываются следующим образом:

$$\mu = \mu_N \left(\frac{T}{C_1^\mu} \right)^{1.5} \frac{C_1^\mu + C_2^\mu}{T + C_2^\mu},$$

$$K = K_N \left(\frac{T}{C_1^K} \right)^{1.5} \frac{C_1^K + C_2^K}{T + C_2^K},$$

где ρ_N – номинальная плотность,

μ_N – номинальная вязкость,

K_N – номинальная теплопроводность,

D_i – коэффициент диффузии для i -той примеси,

C_1^p первый коэффициент для плотности (значение температуры, при которой $\tau = \tau_N$),

C_2^p значение давления, при котором $\tau = \tau_N$,

C_1^μ первый коэффициент для вязкости,

C_2^μ значение температуры, при которой $m=m_N$,

C_1^K первый коэффициент для теплопроводности,

C_2^K значение температуры, при которой $K=K_N$.

Параметры потока:

Общая плотность всего потока имеет вид:

$$\rho = \frac{P}{RT \sum_{i=1}^N \frac{Y_i}{M_i}},$$

где

R - универсальная газовая постоянная,

M_i - молекулярная масса i -той примеси.

остальные параметры потока задаются как линейная комбинация от параметров примесей:

$$a_{bulk} = \sum_{i=1}^N Y_i a_i,$$

где

a_{bulk} - вязкость, теплопроводность или теплоёмкость потока,

a_i - значения вязкости, теплопроводности, или теплоёмкости для i -й примеси.

Граничные условия:

Условия прилипания:

$$\mathbf{v}_x \Big|_{\Gamma_h} = 0, \mathbf{v}_y \Big|_{\Gamma_h} = 0,$$

$$\text{где } \Gamma_h = \Gamma_{h1} \cup \Gamma_{h2} \cup \dots \cup \Gamma_{hm} \cup \Gamma_c,$$

Γ_{hi} - граница, описывающая поверхность i -го дома,

Γ_c - граница, описывающая поверхность трубы,

Γ_g - граница, описывающая поверхность земли.

Граничные условия для ветра:

$$v_x|_{\Gamma_w} = 9, \quad v_y|_{\Gamma_w} = 0$$

Граничные условия для температуры выброса:

$$T|_{\Gamma_i} = 400,$$

где

Γ_i – часть границы, ограничивающей источник выброса.

Граничные условия для давления:

$$P_{ref}|_{\Gamma_i} = 0,$$

где

Γ_i – часть границы, ограничивающей всю область действия задачи.

Граничные условия для концентрации примесей:

$$Y_i|_{\Gamma_{c0}} = 1,$$

где

Γ_{c0} – граница, описывающая отверстие трубы.

Начальное условие на температуру воздуха:

$$T|_{t=0} = 273.$$

Расчеты проводились при следующих значениях параметров: скорость ветра – 9, скорость выброса – 20, температура выбрасываемой примеси – 400, температура среды – 273, плотность примеси 0.0034, плотность воздуха 287.05, вязкость примеси 0.95, вязкость воздуха 1.4592E-6, шероховатость подстилающей поверхности 0.01, молекулярная масса воздуха 29, молекулярная масса примеси 17.0304.

Для визуализации результатов расчетов данной модели использовалось компьютерное приложение, описанию которого посвящен следующий раздел.

Описание компьютерного приложения

Компьютерное приложение для визуализации результатов математического моделирования было разработано в Delphi, с использованием технологии Открытой Среды Разработки (Open Development Environment) географической информационной системы ARC/INFO. В приложение были внедрены ActiveX компоненты ARC и ARCEDIT. Эти компоненты предоставляют все необходимые средства для создания, редактирования и отображения карт. Главное окно приложения показано на рис.35.

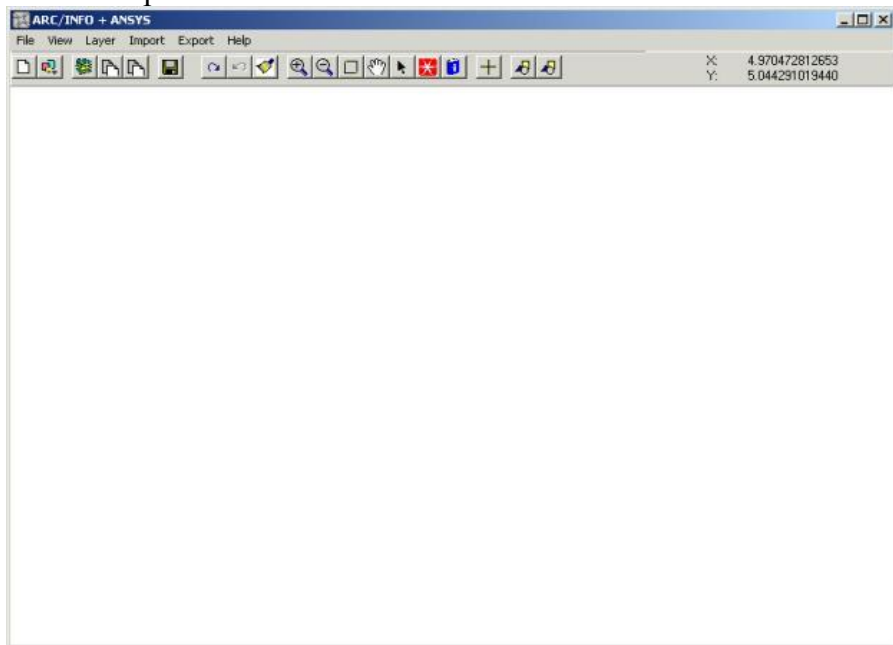


Рис.35. Главное окно приложения

Возможности приложения

В приложении реализованы следующие возможности:

- Открыть новое покрытие;
- Открыть покрытие в качестве фона;
- Увеличить изображение;
- Уменьшить изображение;

- Задать размер отображаемой на экране области;
- Переместить изображение по экрану;
- Получить атрибутивную информацию выделенных объектов покрытия;
- Перерисовать покрытие;
- Перерисовать визуализацию;
- Очистить экран;
- Добавить слой покрытия на экран;
- Добавить элемент покрытия;
- Добавить на покрытие подписи элементов;
- Убрать с покрытия подписи элементов;
- Выбрать элемент покрытия;
- Выбрать все элементы покрытия;
- Наложить на покрытие визуализацию результатов расчетов математической модели;
- Передать атрибутивную информацию с полигонов покрытия на заданные точки;
- Сохранить результаты визуализации в файл .BMP;
- Сохранить результаты визуализации в файл .AVI.

Реализация функций приложения

Для открытия нового покрытия нужно выбрать пункт меню File->Open new coverage. При выборе этого пункта открывается окно выбора нужного покрытия. Для получения списка покрытий в выбранной директории используется метод `getcover` компонента `ARCEDIT`. Для получения списка классов элементов покрытия в `ARCEDIT` передается команда `directory` с параметром `featureclass`. После выбора необходимого покрытия и класса элементов в `ARCEDIT` передаются команды: `mapextent` для задания размера карты, `edit` для задания текущего покрытия, `editfeature` для задания текущего класса элементов покрытия, `drawenvironment` для задания параметров отображения покрытия, и команда `draw` для прорисовки покрытия на экране.

Для открытия покрытия в качестве фона нужно выбрать пункт меню File->Open background coverage. При выборе этого пункта открывается окно выбора нужного фонового покрытия.

Для получения списка покрытий в выбранной директории используется метод `getcover` компонента `ARCEDIT`. Для получения списка классов элементов покрытия в `ARCEDIT` передается команда `directory` с параметром `featureclass`. После выбора необходимого покрытия и класса элементов в `ARCEDIT` передаются команды: `backcoverage` для задания текущего фонового покрытия, `backenvironment` для задания параметров отображения фонового покрытия, и команда `draw` для прорисовки покрытия на экране.

Для увеличения изображения нужно выбрать пункт меню `View->Zoom in`. После этого в `ARCEDIT` передается команда `windows` с параметром `zoomin`.

Для уменьшения изображения нужно выбрать пункт меню `View->Zoom out`. После этого в `ARCEDIT` передается команда `windows` с параметром `zoomout`.

Для задания произвольного размера отображаемой на экране области нужно выбрать пункт меню `View->Set extent`, после чего с помощью мышки задать нужный размер отображаемой области. После выбора пункта меню в `ARCEDIT` передается команда `mapextent` с параметром `*`, после чего происходит задание области. Затем с помощью команды `draw` на экране рисуется необходимая область.

Для перемещения изображения по экрану нужно выбрать пункт меню `View->Drag mode`, после чего включится режим перетаскивания. В этом режиме для перемещения изображения нужно нажать левую кнопку мыши, и, не отпуская, переместить мышь в нужном направлении. Для включения режима перетаскивания используется команда `dynamicpan`, передаваемая в `ARCEDIT`.

Для получения атрибутивной информации выделенных объектов покрытия нужно выбрать пункт меню `View->Info about selected`, после чего откроется окно с атрибутивной информацией. Для получения этой информации в `ARCEDIT` передается команда `list`.

Для перерисовки покрытия нужно выбрать пункт меню View->Redraw coverage, после чего с помощью команды draw покрытие будет перерисовано.

Для перерисовки визуализации нужно выбрать пункт меню View-> Redraw visualization. После этого с помощью команды arcs с параметром line будут перерисованы все линии, полученные из файла с результатами математического моделирования.

Для очистки экрана нужно выбрать пункт меню View->Clear. Для очистки экрана используется команда clear, передаваемая в ARCEDIT.

Для добавления слоя покрытия на экран нужно выбрать пункт меню Layer -> Add layer. После этого откроется окно выбора нужного слоя. Процедура добавления слоя аналогична открытию нового покрытия.

Для добавления элемента покрытия нужно выбрать пункт меню Layer ->Add feature to coverage. Для добавления элемента покрытия используется команда add с параметром one, передаваемая в ARCEDIT.

Для добавления на покрытие подписей элементов нужно выбрать пункт меню Layer ->Textitems->Add textitem. После этого откроется окно для выбора необходимого атрибута. Для получения списка атрибутов для заданного класса элементов покрытия используется команда ARCEDIT items. Для отображения на экране выбранного атрибута в ARCEDIT передается команда textitem. Для отрисовки атрибутивной информации используется команда draw.

Для того, чтобы убрать с покрытия подписи с атрибутивной информацией, нужно выбрать пункт меню Layer ->Textitems->Remove textitem. Для отключения режима отображения атрибутивной информации в ARCEDIT передается команда textitem с параметром none.

Для выбора элементов покрытия нужно выбрать пункт меню Layer -> Select many. После этого включится режим выбора. Выбор нужных элементов происходит с помощью мыши. Для выхода из режима выбора элементов нужно нажать 9. Все

выбранные элементы отмечаются желтым цветом. Для включения режима выбора в ARCEDIT передается команда select с параметром many.

Для выбора всех элементов покрытия нужно выбрать пункт меню Layer -> Select all. После этого все элементы покрытия будут выбраны, о чем будет выдано сообщение. Элементы покрытия цветом отмечены не будут. Для выбора всех элементов покрытия используется команда ARCEDIT select с параметром all.

Для наложения на покрытие визуализации результатов расчетов математической модели Import->Import coordinates from text file. После этого из раскрывающегося меню нужно выбрать формат данных для импортирования. Если данные представлены в формате $x_1 y_1 x_2 y_2$ (Рис.36), то нужно выбрать пункт меню «X Y X Y format»; если данные представлены в формате x y value (Рис.37), то нужно выбрать пункт меню «X Y Value format». После этого будут запрошены параметры импортирования данных – имя файла с данными, необходимость приведения координат в файле к координатам покрытия и другое. Если данные в файле не имеют координат покрытия, нужно выбрать прямоугольную область покрытия для привязки координат в файле к координатам этой области. Область выбирается с помощью нажатия левой кнопки мыши в одной точке покрытия и отпускания кнопки в другой точке покрытия. По этим точкам строится прямоугольная область, которая заполняется визуализацией данных, полученных из файла. Линии из файла формата X Y X Y рисуются на экране с помощью команды ARCEDIT arc с параметром line. Для обработки файлов с форматом X Y Value используются команда arc с параметром linecolor для задания цвета линий в зависимости от значения в точке, и команда arc с параметром circle для построения окружности с центром в заданной точке установленного в зависимости от величины значения цветом. При обработке нескольких файлов можно сохранить результаты визуализации в формате AVI, где каждый кадр видеоклипа будет получен как результат визуализации данных из одного файла. После за-

вершения процесса визуализации появится диалоговое окно, в котором можно выбрать директорию и имя сохраняемого файла AVI.

248669.156	211120.250	249172.656	211121.593
....
248368.656	211117.812	248669.156	211120.250

Рис.36 - Пример файла в формате X Y X Y.

188	207	0.0000000
491	241	0.7122267
491	249	0.7165774
....
602	67	0.5441343

Рис.37 - Пример файла в формате X Y Value.

Результаты обработки файлов разных форматов изображены на рисунках 38 и 39.

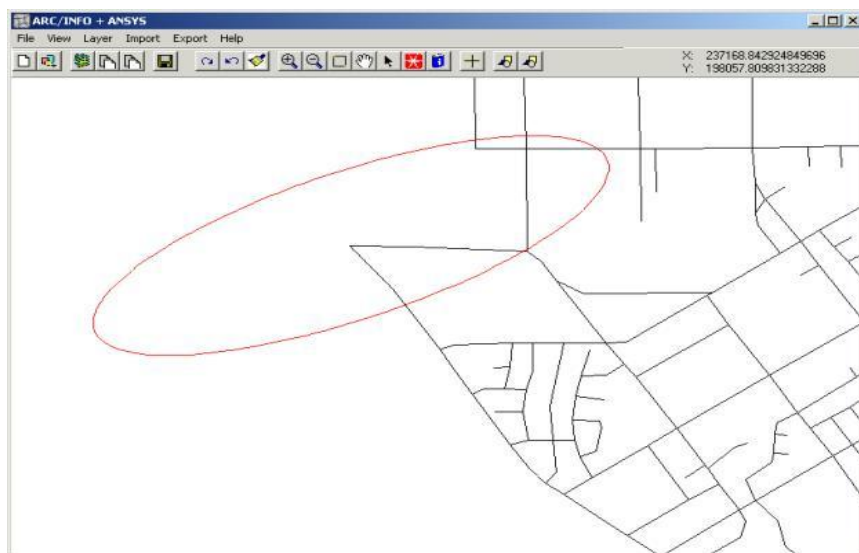


Рис.38 - Пример изолинии, наложенной на покрытие

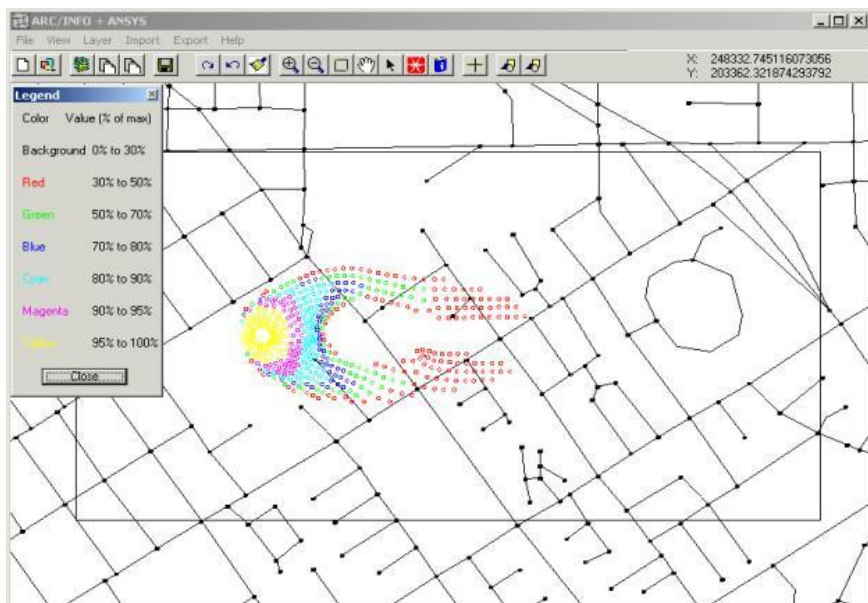


Рис.39 - Пример карты распределения, наложенной на покрытие

Для передачи атрибутивной информации с полигонов покрытия на заданные точки нужно выбрать пункт меню Export->Export poly attributes to determined points. После этого появится диалоговое окно выбора файла с точками, затем диалоговое окно выбора директории, где будут создаваться новые покрытия. После этого нужно будет указать, имеют ли точки в файле координаты покрытия. Если нет, то нужно будет с помощью мыши задать область покрытия, к которой будут привязываться точки из файла. После этого запустится процесс передачи атрибутивной информации с полигонов в точки. Точки с полученной атрибутивной информацией будут выданы в файл, имя и расположение которого нужно будет задать в диалоговом окне.

Для сохранения результатов визуализации в файл BMP нужно выбрать пункт меню Export->Save bitmap to .BMP file. После этого будет выдано диалоговое окно для задания пути и

имени файла, в который будет сохранено изображение рабочей области приложения.

Для сохранения результатов визуализации в файл AVI нужно выбрать пункт меню Export->Save bitmaps to .AVI file. После этого будет выдано диалоговое окно для задания пути и имени файла, в который будет сохранен видеоклип. Для создания видеоклипа необходимо отметить кадры, которые будут в него включены, с помощью нажатия соответствующей кнопки «Capture a bitmap».

Для передачи атрибутивной информации с полигонов покрытия на заданные точки сначала из импортированных точек создается покрытие, потом для этих точек создаются атрибуты, а затем происходит наложение покрытия с точками на исходное покрытие с полигонами, при этом все точки, попадающие в область полигона, получают его атрибуты. Для создания покрытия из файла с координатами точек используется команда ARC generate, которой передаются параметры input для задания имени входного файла и point для указания класса создаваемых объектов. Для создания атрибутов для точек на созданном покрытии используется команда ARCEDIT createattributes. Это необходимо для того, чтобы можно было передать точкам атрибутивную информацию с полигонов. Если у точек нет атрибутов, другие атрибуты не могут быть добавлены. Для наложения покрытия с точками на покрытие с полигонами используется команда ARC identity, которой в качестве параметров передаются имя покрытия с полигонами (текущее покрытие, отображаемое на экране), и имя созданного покрытия с точками.

При реализации процесса создания атрибутов у покрытия с точками оказалось невозможным выполнить команду createattributes, передавая её в компоненту ARCEDIT приложения. Поэтому для выполнения этой операции создается временный файл с командами, необходимыми для создания атрибутов; создается командный файл, который запускает на выполнение командный процессор операционной системы, для которого на вход назначается созданный временный файл с

командами. Затем в приложении создается дочерний процесс, который запускает созданный командный файл. После выполнения необходимых для создания атрибутов команд происходит наложение покрытий, после чего дочерний процесс завершается, а временные файлы удаляются.

Подобная проблема возникла и при выдаче атрибутивной информации точек в файл результата после наложения покрытий. Подобным же образом создаются файл с командами, которые необходимо выполнить; командный файл, запускающий командный процессор операционной системы; дочерний процесс приложения, запускающий командный файл. После выполнения необходимых операций дочерний процесс завершается, временные файлы удаляются, файл результатов сохраняется с заданным пользователем путем и именем.

Для передачи атрибутивной информации с полигонов покрытия на заданные точки, файл с точками должен быть в следующем формате. Каждая строка текстового файла должна содержать номер точки, координату X и координату Y точки, разделенные между собой одним или несколькими пробелами (Рис.18). В качестве разделителя целой и дробной частей числа используется точка («.»). Каждая строка файла содержит информацию только об одной точке. В конце файла, на последней строке, должен находиться признак конца перечисления точек - слово end.

1556	272	343
1557	262	343
....
4040	174	208
End		

Рис.40 - Пример файла в формате № X Y.

Итак, мы рассмотрели основные принципы работы географической информационной системы, математическую мо-

дель для расчета распространения газа в атмосфере и компьютерное приложение, являющееся посредником между ARC/INFO и моделью. Подведем итоги.

Полученные результаты

Были разработаны несколько интерфейсов для обмена данными между математическими моделями и ГИС. Используя эти интерфейсы, есть возможность отображать результаты вычислений любой модели на карте. Было создано связующее звено между моделями и геоинформационной системой - компьютерное приложение, способное поставлять данные ГИС математической модели и результаты расчетов математической модели геоинформационной системе.

Один из созданных интерфейсов предполагает, что входной файл содержит координаты точек, используемых для построения линий. Каждая строка файла содержит координаты для одной линии в формате $x_1 y_1 x_2 y_2$, где x_1, y_1 – координаты начала линии, x_2, y_2 – координаты конца линии. Такой формат входных данных позволяет выполнять визуализацию изолиний, например.

Другой интерфейс предполагает, что входной файл содержит координаты точек и соответствующие им значения в формате $x y value$, где x и y – координаты точки, $value$ – значение, связанное с этой точкой. Каждая строка файла содержит координаты одной точки на экране и значение в этой точке. Такой формат входных данных больше подходит для визуализации, например, карты распространения.

Приложение было использовано для визуализации результатов математического моделирования процессов распространения выбросов газа в атмосфере. Расчеты проводились в пакете ANSYS. На первом этапе, область распространения выброса газа передавалась из ARC/INFO в ANSYS. Далее строилось разбиение области, после чего сеточные координаты ANSYS были импортированы в приложение в формате: номер точки, и ее координаты. На следующем шаге, сеточные координаты ANSYS преобразуются в координаты карты, которая содержит информацию о фоновом загрязнении области, в ко-

торой происходит выброс газа. Затем по импортированным сеточным координатам создается покрытие, содержащее указанные точки. Далее значения фоновой концентрации, получаемое из атрибутивной информации полигонов карты, присваиваются точкам, попадающим в соответствующие полигоны. Далее координаты этих точек экспортируются из приложения вместе с информацией о фоновом загрязнении, полученной из полигонов. На следующем этапе выполнялись расчеты распространения выброса газа в ANSYS с использованием полученных с карты значений фоновой концентрации загрязнений. Затем результаты расчетов импортировались в приложение, и выполнялась визуализация этих данных. Результаты расчетов модели передавались в приложение в формате X Y Value, и, в зависимости от величины значения Value, точки с координатами (X,Y) окрашивались в разные цвета. В качестве результата визуализации были получены файлы битовой карты в формате BMP. Кроме того, процесс распространения был визуализирован в динамическом виде – по заданным файлам с данными о распространении примеси в разные моменты времени были получены файлы файлов, каждый из которых содержит информацию о распространении загрязнений в определенный момент времени. Как результат, был получен файл видеоклипа в формате AVI.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пособии сделан обзор основных понятий, конструкций и принципов географических информационных систем и особенностей их реализации.

Рассмотрено компьютерное приложение, позволяющее проводить визуализацию результатов математического моделирования с использованием новой технологии.

ГИС обладает достаточной гибкостью и функциональностью для выполнения визуализации результатов математического моделирования. Большое значение для математических моделей имеет возможность использования векторной графики – это позволяет получать координаты объектов исследуемой географической области и соответствующие этим координатам данные об объектах для расчетов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берлянт А.М. Геоинформационное картографирование. / А.М. Берлянт – М.: МГУ, 1997. 64 с.
2. Берлянт А.М. Картографический метод исследования / А.М. Берлянт – М.: МГУ, 2е издание, 1988. 254 с.
3. Жуков В.Т. Математико-картографическое моделирование в картографии / В.Т. Жуков, С.Н. Сербенюк, В.С. Тикунов – М.: Мысль, 1980. 218 с.
4. Королев Ю.А. Общая геоинформатика / Ю.А. Королев – М.: Дата+, 2001.
5. Сербенюк С.Н. Картография и геоинформатика – их взаимодействие / С.Н. Сербенюк – М.: МГУ, 1990. 160 с.
6. GPS-12, Руководство пользователя, Garmin, 1999.
7. Жуков В.Т. Компьютерное геоэкологическое картографирование / В.Т. Жуков, Б.А. Новаковский, А.Н. Чумаченко – М.: Научный мир, 1999. 128 с.
8. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации / Ю.А. Соловьев – М.: Эко-Тренд, 2000. 268 с.
9. Коновалова Н.В. Введение в ГИС. Учебное пособие / Н.В. Коновалова, Е.Г. Капралов Петрозаводск. 1995.
10. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии / В.Я. Цветков ФиС. М.: Эко-Тренд 1998.

Учебное издание

Кольцов Андрей Сергеевич
Федорков Евгений Дмитриевич

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

В авторской редакции

Компьютерный набор А.С. Кольцова

Подписано к изданию 25.12.06
Уч.-изд.л. 11.0

ГОУВПО «Воронежский государственный технический
университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14