

Министерство образования и науки Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЕ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ
СТРОИТЕЛЬСТВО

В.Л. Баденко

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

Учебное пособие

Санкт-Петербург
2013

УДК 91 (075.8)

ББК 26.8я73

А-75

Баденко В.Л. Геоинформационные технологии для решения задач природообустройства: Учеб. пособие. 2013., 147 с.

В учебном пособии представлены сведения о базовых концепциях геоинформационных систем (ГИС), необходимые студентам, будущим инженерам природообустройства. Рассматривается, как используется ГИС в качестве средства информационной поддержки принятия управленческих решений. Подробно обсуждаются проблемы моделирования в ГИС процессов и явлений реального окружающего мира. Показано, как в ГИС можно структурировать информацию о территории и организовать наполнение баз данных. Рассмотрены также проблемы организационно-экономические проблемы реализации ГИС_проектов

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 280400 "Природообустройство" и может быть также полезно студентам других специальностей.

Табл. 11. Ил. 46. Библиогр.: 33 назв.

© Баденко В.Л.

© Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет, 2013

Оглавление

Введение	5
<i>Тема 1. Основы ГИС</i>	<i>8</i>
1.1. Понятие ГИС.....	8
1.2. Принципы построения БД ГИС	13
1.3. Отличие методов ГИС и традиционной картографии.....	17
1.4. Функции ГИС	20
1.5. Области применения ГИС.....	23
1.6. ГИС и родственные информационные технологии.....	27
1.7. Жизненный цикл ГИС	29
<i>Тема 2. Модели пространственных объектов в ГИС.....</i>	<i>34</i>
2.1. Особенности моделирования реального мира в ГИС.....	34
2.2. Концептуальные модели географического пространства.....	37
2.3. Примитивы в модели реального мира.....	41
2.4. Объекты в модели данных.....	44
2.5. Растровая и векторная модели данных	48
<i>Тема 3. Информационное обеспечение ГИС</i>	<i>57</i>
3.1. Источники информации для формирования БД ГИС	57
3.2. Использование существующих ГИС-данных.....	61
3.3. Оцифровка.....	66
3.4. Использование Глобальной Системы Позиционирования	70
3.5. Данные дистанционного зондирования	75
<i>Тема 4. Визуализация и пространственное моделирование</i>	<i>84</i>
4.1. Построение тематических карт и визуализация в ГИС.....	84
4.2. Методы пространственного анализа в среде ГИС	89
4.3. Пространственный анализ непрерывных полей	90
4.4 Трансформация данных.....	92
4.5. Пространственный оверлей.....	102
<i>Тема 5. Проблемы управления ГИС проектами.....</i>	<i>110</i>
5.1. Основные проблемы реализации ГИС проектов	110
5.2. Разработка бизнес концепции для ГИС проекта, идентификация целей и требований пользователей.	115
5.3. Анализ отношения расходов к доходам.....	120

5.4. Разработка стратегического плана.	129
5.5. Организация работ по реализации ГИС проекта.	140
Резюме	144
Контрольные вопросы для самопроверки	145
Библиографический список.....	147

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие технологий географических информационных систем (ГИС) связано с тем, что до 80 % информации, используемой лицами, принимающими решения (ЛПР), имеет географическую привязку. Прежде всего, это относится к управлению территориальным развитием и решению задач природообустройства, муниципального управления, управления природными ресурсами, где в процессе принятия решений важнейшую роль играет пространственное положение анализируемых объектов. Программно-аппаратный комплекс ГИС предназначен для сбора, хранения, манипулирования, анализа и представления пространственно привязанной атрибутивно-графической информации о процессах и явлениях, происходящих на определенной территории и обуславливающих ее эколого-социально-экономическое развитие. В связи с этим ГИС служат базой для создания новых типов информационно-аналитических систем (ИАС), основанных на пространственных данных. Разработка подобных ИАС приобретает в современном мире особую значимость, так как в настоящее время вследствие резкого повышения эффективности материального производства основная стоимость производится именно в сфере управления информационными потоками. ИАС на базе ГИС предназначены в основном для информационной поддержки принятия среднесрочных (тактических) и долгосрочных (стратегических) управленческих решений.

Во всем мире ГИС используются для решения широкого круга задач на всех уровнях управления. Эти системы имеют различный территориальный охват: от нескольких гектаров до глобальных баз данных на весь земной шар. ГИС-технологии используются в правительственных и неправительственных организациях, в бизнесе, науке, в образовательных учреждениях и т. д. За последнее 30 лет ГИС превратились в настоящую мировую индустрию с миллиардными вложениями, а число пользователей ГИС составляет миллионы. При этом наблюдается ежегодный рост отрасли, связанной с ГИС-технологиями, примерно на 20 %, а общий мировой объем ежегодных продаж программного обеспечения (ПО) для ГИС составляет миллиарды долларов.

В России ГИС-технологии успешно и эффективно применяются, в частности, для решения задач государственного и муниципального управ-

ления, при управлении природными ресурсами и во многих других сферах. Так, например, в городе Пермь внедрение ИАС по управлению городским хозяйством на базе ГИС показало экономическую эффективность, составляющую 3 рубля на рубль вложений. На основе ГИС создана и успешно функционирует во многих регионах России автоматизированная система ведения земельного кадастра. Примером успешного и прибыльного внедрения ГИС-технологий в негосударственном секторе экономики является нефтегазовая отрасль. В Санкт-Петербурге ГИС-технологии широко используются в ГУП "Водоканал СПб".

Однако, несмотря на актуальность изучения ГИС-технологий, будущими специалистами в области природообустройства учебной литературы на русском языке по тематике ГИС недостаточно, а существующие учебные пособия ориентированы в основном на студентов-естественников, в первую очередь географов. В данном пособии предпринята попытка изложить основные сведения о ГИС-технологиях, необходимые для решения задач природообустройства, не только на основе теории, но и на основе российского и зарубежного опыта практической реализации ГИС-проектов. При этом изложение не ориентировано на какое-либо конкретное программное обеспечение ГИС.

В учебном пособии представлены сведения о базовых концепциях и моделях ГИС-технологий. Особое внимание уделено тому, как используется ГИС в качестве средства информационной поддержки принятия решений по управлению территориальным развитием. Подробно обсуждаются проблемы моделирования в ГИС процессов и явлений реального окружающего мира, являющихся объектами управления. Показано, как можно структурировать соответствующую информацию в ГИС и организовать наполнение баз данных (БД), как применение ГИС расширяет возможности традиционных информационных технологий по получению и использованию информации.

Основное внимание уделено общим подходам к созданию ИАС на базе ГИС для решения задач природообустройства, а многие технические подробности опущены. Это связано с тем, что специалист в области природообустройства в первую очередь должен уметь поставить задачу и правильно эксплуатировать ИАС на базе ГИС, а подробности компьютерной

реализации находятся вне его компетенции. В первой теме рассмотрены основы геоинформационных технологий. Вторая тема посвящена моделям пространственных данных. В третьей – представлено обсуждение подходов к обеспечению наполнения информацией БД ГИС. При этом особое внимание уделено современным подходам, основанным на использовании данных дистанционного зондирования. В четвертой теме описаны методы визуализации и пространственного анализа, которые проиллюстрированы примерами из реальных ГИС-проектов. Пониманию места ГИС в современном мире должно способствовать большое количество примеров, являющихся фрагментами реальных ГИС, созданных под руководством и при активном участии авторов. Весь материал снабжен иллюстрациями, которые должны способствовать лучшему освоению материала.

Содержание пособия рассчитано на студентов, обучающихся по направлению "Природообустройство и водопользование", хотя пособие представляет интерес и для студентов других специальностей.

Авторы надеются, что изучение этого пособия поможет будущим инженерам природообустройства понять концепции, лежащие в основе ГИС, а также разобраться в технических и организационных вопросах применения ГИС-технологий, что в конечном итоге позволит им эффективно использовать возможности ГИС в любой из многочисленных областей их применения.

Авторы выражают признательность профессору, доктору географических наук Г.К. Осипову и доценту, кандидату технических наук В.В. Ленскому за сделанные замечания и поддержку при подготовке данного пособия.

ТЕМА 1. ОСНОВЫ ГИС

- 1.1. Понятие ГИС
- 1.2. Принципы построения БД ГИС
- 1.3. Отличие методов ГИС и традиционной картографии
- 1.4. Функции ГИС
- 1.5. Области применения ГИС
- 1.6. ГИС и родственные информационные технологии
- 1.7. Жизненный цикл ГИС

Ключевые термины Географические и пространственные данные, пространственная привязка, географические информационные системы (ГИС), информационно-аналитические системы (ИАС) на базе ГИС, атрибутивно-графическая и топологическая информация, послынная организация информации в ГИС, жизненный цикл ГИС

1.1. Понятие ГИС

По оценкам специалистов до 80 % данных, используемых лицами, принимающими решения (ЛПР) в своей повседневной деятельности, являются географически привязанными [1, 28]. При этом задачи, которые используют пространственно привязанные данные, называются географическими или пространственными (геопространственными) задачами принятия решений. Сами по себе данные имеют малую ценность. Чтобы стать полезными, они должны быть трансформированы в информацию. Данные превращаются в информацию после того, как они должным образом организованы, представлены, проанализированы, интерпретированы и могут быть полезными для решения каких-либо задач. Следовательно, географическая информация может быть определена как географические пространственно привязанные данные, которые преобразованы в форму, имеющую реальную ценность для ЛПР, и используются ими в процессе принятия решения [3, 30]. Связь между данными, информацией и знаниями представлена на рис. 1.1.

Характеристика рассматривается как географическая, если ей может быть поставлено в соответствие определенное местоположение на поверх-

ности Земли [25]. Например, "10 000 тонн угля" не обозначает географическую характеристику до тех пор, пока не станет известным, что эта фраза ссылается на местоположение, которое определяет, где этот уголь был добыт, обработан, продан, или же на пункты, между которыми он перевозится. Пространственные данные, связанные (поставленные в соответствие) с определенным местоположением на поверхности Земли, называются географическими или географически привязанными. При этом следует сделать замечание, что термины "пространственные", "географические" и "геопространственные" (данные) используются большинством специалистов как синонимы [3, 17, 27]. В этом пособии указанные термины также не будут различаться. Географические данные могут включать статистические и демографические факты, результаты наблюдений за процессами и явлениями природной среды, дистанционного зондирования и т. д.



Рис.1.1. Связь данных, информации и знаний

Многие управленческие решения, в частности в области природообустройства, определяются состоянием непосредственного окружения объекта управления, расположенного в определенной точке (местоположение) на поверхности Земли и, следовательно, требуют адекватной информационной поддержки. Используемая при этом информация является географической. Такая информация дает возможность отличать одно местоположение от другого и принимать решение, которое подходит именно для конкретного местоположения. Следовательно, соответствующие информационные системы (ИС) и базы данных (БД) с географической информацией должны обеспечить применение общих подходов к специфическим условиям конкретного местоположения, дать возможность проследить за процессами и явлениями окружающего мира и помочь таким образом понять, чем одно местоположение отличается от другого (рис. 1.2).

Важно, чтобы географическая информация, являющаяся результатом обработки географических данных, применялась для управления развитием определенной территории в направлении, обеспечивающем ее устойчивое эколого-социально-экономическое развитие [21, 29]. Таким образом, географическая информация в среде ИС становится существенной компонентой эффективного планирования и принятия управленческих решений.

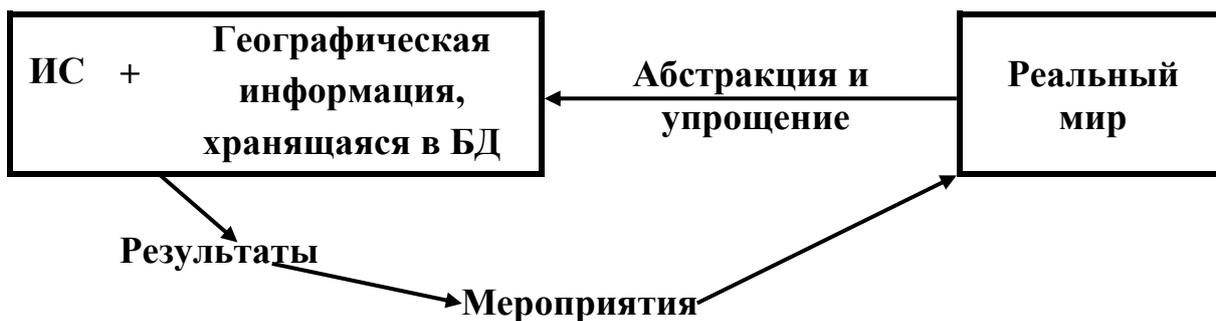


Рис.1.2. Диаграмма, показывающая, как географическая информация используется для преобразования окружающего мира

Понимание указанной ситуации привело к тому, что уже к середине 70-х годов XX века в мире были разработаны и успешно эксплуатировались специализированные компьютерные технологии и системы для обработки географической информации, а именно:

технологии для ввода картографической информации и преобразования ее в цифровую форму;

технологии для хранения географической информации в компактном формате;

методы для автоматизированного анализа географической информации с целью поиска взаимосвязей, комбинирования различных видов данных, проведения измерений, нахождения оптимальных местоположений, путей и т. д.;

методы для предсказания исходов развития различных сценариев, например изучение влияния изменений климата на состав растительности;

технологии для отображения географической информации в различной форме, в первую очередь в виде электронных карт.

Такие системы получили общее название "географические информационные системы" (ГИС). Термин ГИС в настоящее время обозначает не

просто компьютерную систему, которая обеспечивает обработку, хранение и анализ географической информации. ГИС – это быстро развивающаяся прикладная область информационных технологий. Рост соответствующей индустрии, выпускающей программное обеспечение (ПО) для создания ГИС, составляет более 20 % ежегодно. В 2002 году объем общих годовых продаж ПО ГИС превысил исторический рубеж в один миллиард долларов. Термин ГИС в настоящее время связывается с любой деятельностью, включающей цифровые географические данные. Теперь говорят о ГИС-данных, ГИС-решениях, ГИС-проектах, ГИС-технологиях, ГИС-инженерах и даже о ГИС-системах [17]. Издается множество журналов по тематике ГИС, по всему миру действуют организации, объединяющие профессионалов, работающих в области ГИС. Так, например, в России существует ГИС-Ассоциация (www.gisa.ru).

Внедрение ГИС-технологий требует решения целого ряда проблем – относительно простых и достаточно сложных. Например, не составляет проблемы приобрести отдельные составные части программно-аппаратного обеспечения ГИС – компьютерное оборудование, базовое ПО и т. д. Однако в любой организации применение ГИС-технологий будет эффективно, т. е. приносить прибыль, только при соблюдении целого комплекса условий. Например, должен быть обеспечен определенный уровень квалификации персонала, собраны необходимые данные, решены организационные проблемы функционирования ГИС, а ПО ГИС настроено на решение конкретных, заранее сформулированных задач. Все эти аспекты взаимосвязаны (рис. 1.3) [25].

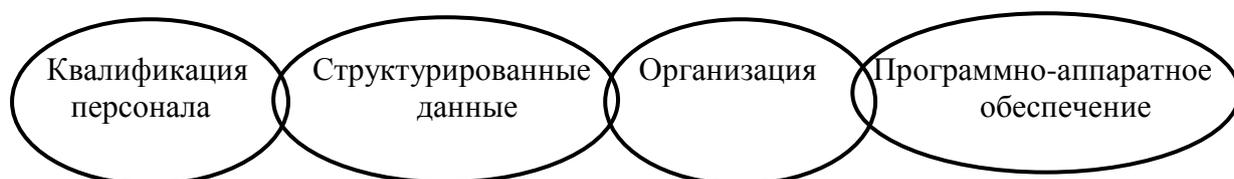


Рис. 1.3. Взаимосвязанные звенья в ГИС-системе

В качестве комментария к рис. 1.3 следует отметить следующее. В общем случае, задача по приобретению ПО ГИС и компьютерного оборудования важная, но достаточно хорошо определена. Однако часто руководители ГИС-проектов упускают из виду важность обеспечения требуемой квалификации у будущих пользователей. Специалистам, занимающимся

внедрением ГИС, следует также помнить, что сбор необходимых данных требует значительных затрат времени и обходится дорого, а организационные проблемы являются самыми острыми.

Представленное обсуждение позволяет перейти к формулировке определения ГИС. Это определение основано на общепризнанном в настоящее время факте, что наиболее подходящей средой для сбора, хранения, анализа и обработки (моделирования) пространственно-распределенной информации является среда ГИС. Следует особо отметить, что точное формальное определение ГИС дать достаточно сложно и оно, к сожалению, окончательно не сформировалось, о чем красноречиво свидетельствует отечественная и зарубежная литература [2, 4, 15, 17, 26]. В настоящем пособии будет использоваться следующее определение: ГИС – это организованный набор пространственно-распределенной (географически привязанной) информации и соответствующих программно-аппаратных средств, позволяющих вводить, хранить, визуализировать, анализировать, обрабатывать (моделировать) и представлять в удобном для пользователя виде эту информацию.

Представленное определение вполне обоснованно, однако следует отметить, что широкий спектр практического применения ГИС-технологий в качестве основы для создания ИАС различного назначения порождает соответствующее многообразие определений. Такая ситуация иногда вносит путаницу в терминологию и создает понятийные трудности. При этом пользователи придумывают рабочие определения, которые, по сути, просто описывают их собственное специфическое использование ГИС-технологий. Эти определения зависят от того, являются ли пользователи инженерами природообустройства, проектировщиками, инженерами по водоснабжению и канализации, специалистами службы эксплуатации, публичными политиками (администраторами), учеными, занимающимися решением проблем рационального природопользования и т. д. [22, 27].

Структура ГИС как системы для информационной поддержки принятия решений представлена на рис. 1.4. Эта структура показывает, что сердцем ГИС является подсистема для анализа и манипулирования пространственной информацией, которая хранится в БД ГИС [27, 29]. Программно-аппаратное обеспечение ГИС предназначено для обработки гео-

графической информации. В среде ГИС для географической информации предусмотрено множество функций, операций и процессов, в том числе сбор и приобретение, хранение и верификация, обновление и изменение, управление и обмен, манипулирование и анализ, восстановление и представление и т. д.

Заканчивая обсуждение понятия ГИС, отметим, что в России действуют ГОСТы, посвященные ГИС-технологиям [9-13].



Рис. 1.4. Структура ГИС

1.2. Принципы построения БД ГИС

Информация в БД ГИС, как уже отмечалось выше, в основном является географически привязанной, т. е. связанной с определенной точкой (местоположением) на поверхности Земли. При определении этой пространственной привязки возможно использование естественной системы координат, которая определяется через широту и долготу местоположения и основана на определенном эллипсоиде (поверхности, моделирующей реальную форму Земли). В этом случае координаты местоположения определяются относительно экватора и линии с нулевой долготой, проходящей через обсерваторию в Гринвиче. Практическое применение при построении БД ГИС находит также и множество других координатных систем. ПО ГИС всегда предоставляет возможности по трансформации географической привязки из одной координатной системы в другую. При этом основные проблемы связаны с искажениями, которые возникают при отображе-

нии на плоскости реальных объектов, расположенных на шарообразной поверхности Земли. Этими вопросами занимается специальная наука – математическая картография, в которой разработаны методы по использованию различных цилиндрических, азимутальных и других проекций [15].

Географическая информация связывает различные свойства и характеристики с определенным местоположением. Эти свойства могут быть физическими параметрами, такими как высота над уровнем моря, влажность почвы, температура. Это также могут быть характеристики, задаваемые согласно определенной классификации: тип растительности, тип землепользования, категория земли и т. д. В данный список также могут быть включены характеристики и частота различных природных и антропогенных явлений, наблюдаемых в определенных местоположениях. Таких, например, как наводнения, автомобильные аварии, оползни и т. д. Для подобных свойств или характеристик какого-либо местоположения используется общий термин – атрибуты. Атрибуты наряду с местоположением (пространственной графической информацией) рассматриваются в ГИС-технологиях как неразрывные составляющие географической информации, хранящейся в БД ГИС. В связи с этим первым принципом построения БД ГИС будет являться то, что пространственно распределенная географическая информация об определенной территории хранится в БД ГИС в атрибутивно-графическом виде.

Другим базовым принципом организации в ГИС пространственной информации является послойный принцип (рис. 1.5, 1.6), который очень нагляден и хорошо соотносится с приемами традиционной картографии [6]. Этот принцип заключается в том, что многообразная информация об управляемой территории организуется в виде серии тематических слоев, отвечающих конкретным потребностям ЛПР. При этом слои объединяют пространственно и тематически однородные объекты, образующие некоторую логически (а часто и физически) отдельную единицу в БД ГИС.

Отношения и связи, существующие между географическими элементами реального мира, также имеют существенное значение. Например, соединения и связи в сети водопровода могут иметь важнейшее значение для служб спасения при тушении пожара, т.к. в данном случае требуется знать, какие вентили следует перекрыть, чтобы обеспечить напор воды, необхо-

димый для пожарных. Данные о землепользователях и собственниках земельных участков, которые расположены вдоль дороги, необходимы, например, для того, чтобы все, на кого влияет проведение дорожных работ, были бы вовремя оповещены. Структура уличной сети является определяющей информацией в ГИС, предназначенной для водителей, осуществляющих междугородные перевозки, при поиске дороги в незнакомом городе. Таким образом, дополнение функциональных возможностей ГИС по обработке атрибутивно-графической информации в БД ГИС возможностями по сохранению и учету топологических отношений между элементами, подобных только что рассмотренным, является одним из наиболее важных источников мощи и гибкости ГИС-технологий (рис. 1.7).

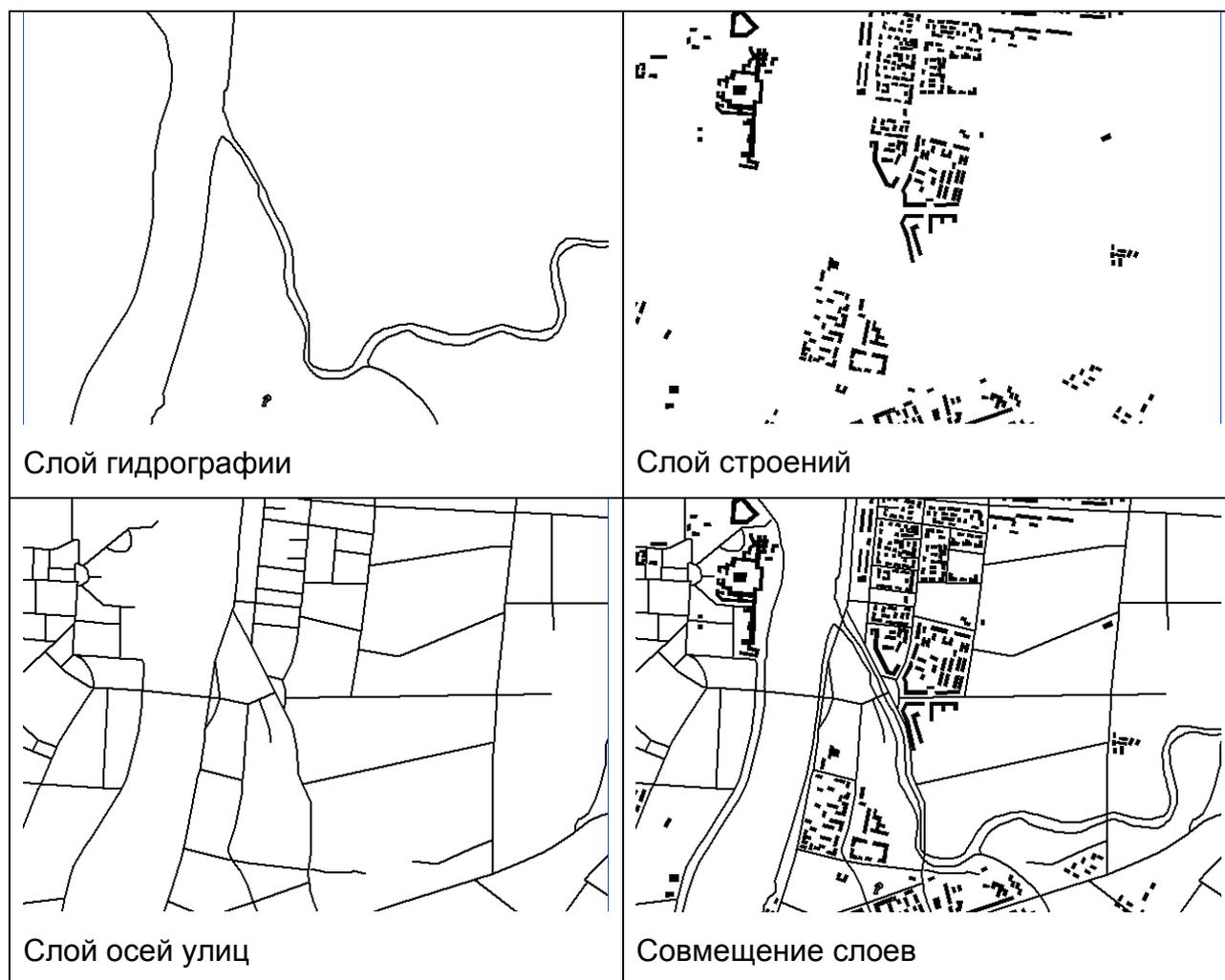


Рис.1.5. Послойная организация данных в ГИС на примере БД для Санкт-Петербурга (район впадения р.Охты в р.Нева)

В составе ГИС также могут присутствовать средства для обработки информации о потоках вещества и энергии и других характеристиках взаимодействия между элементами реального мира. Такая информация необходима при решении транспортных, демографических, гидрологических и других задач из многих областей науки и техники.

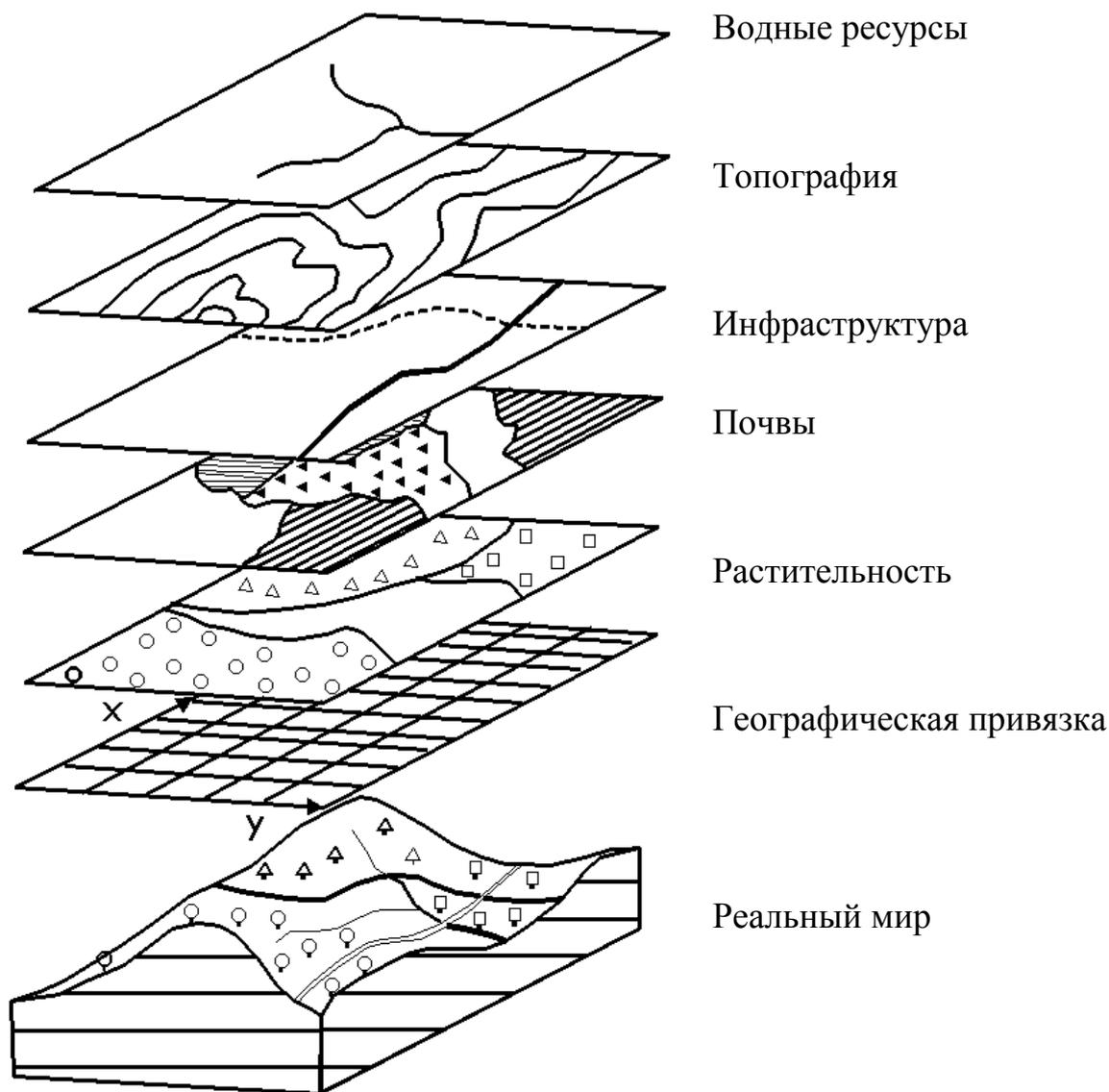


Рис.1.6. Послойное хранение информации в БД ГИС

С технической точки зрения ГИС структурирует и организует цифровые географические данные, хранящиеся в БД [24]. Как уже было сказано, в БД ГИС хранится информация о положении и атрибутах географических объектов, а также отношениях между ними. БД представляет собой

собрание (хранилище) взаимосвязанных данных и необходимых для их поддержки и использования компьютерных средств, а система управления базами данных (СУБД) – программный комплекс для обеспечения хранения, доступа, манипулирования, поддержания целостности, редактирования и восстановления данных.

СУБД являются существенной частью всех ГИС, они позволяют хранить географические данные в структурированной форме, что помогает решать множество проблем. Использование в ГИС какой-либо конкретной СУБД для хранения и управления частью или всеми данными часто навязывает ограничения на структуру и функции будущей системы. При этом некоторые ГИС для этого используют внутреннюю СУБД, другие обеспечивают всю или часть своей работы через связь с внешней СУБД. Однако большинство ПО ГИС для работы с графической частью объектов БД ГИС используют свои собственные оригинальные средства. Если в ГИС используется стандартная СУБД, то появляются более широкие возможности по интеграции информации из других – внешних БД, создаваемых вне данного ГИС-проекта [18].

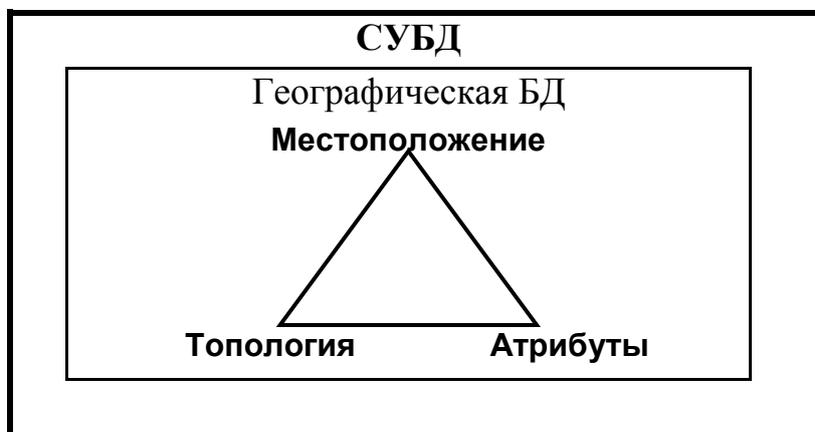


Рис.1.7. Компоненты географической базы данных ГИС

1.3. Отличие методов ГИС и традиционной картографии

Традиционно географическая информация о процессах и явлениях окружающего мира представляется на бумажных картах с использованием специальных символов: точечных знаков, различных линий, окрашенных в определенный цвет областей и т. д. Все традиционные бумажные геогра-

фические карты имеют легенду, в которой объясняется смысл этих обозначений (символов), а значит и определяются характеристики (атрибуты) пространственных объектов. Например, черная двойная линия – главные дороги, тонкая коричневая линия – прочие дороги и т. д. С помощью таких карт можно проводить сравнение и анализ разнородных процессов явлений для определенной территории, изображая их одновременно на карте этой территории с использованием общей координатной системы. В связи с этим карта является эффективной средой одновременно для представления и хранения географической информации [20].

Совмещение функций представления и хранения информации определяет преимущества и ограничения при использовании традиционных географических карт на бумажной основе. Информация на такой карте всегда уже определенным образом обработана и хранится в фиксированном виде, который был определен составителем карты заранее, перед печатью тиража карты в типографии. Кроме того, каждая карта всегда предназначена для каких-либо специфических целей – это могут быть карты политического деления, карты для автомобилистов, кадастровые карты, карты растительности и т. д. Внесение изменений в представление и состав информации на традиционной бумажной карте связано с длительным процессом производства карт. Традиционная карта обеспечивает для реального мира отображение статической географической картины, которая почти всегда является компромиссом между требованиями различных пользователей. При этом в картах используется хорошо понятный для всех способ визуализации процессов и явлений окружающей среды, что в большой степени и определяет широкое использование карт [21].

По сравнению с традиционным картографическим подходом, ГИС имеют то существенное преимущество, что в ГИС хранение и представление географической информации разделены (рис. 1.8). В результате один раз собранная и сохраненная в БД ГИС информация о реальном мире может представляться и анализироваться тем способом, который подходит именно для конкретной ситуации. При использовании ГИС-технологий у пользователя появляется, например, возможность, создав однажды БД ГИС, отображать на экране монитора компьютера географическую информацию с помощью ПО ГИС в том картографическом виде, который подхо-

дит для решения текущей управленческой задачи. Такие картографические изображения, (иногда их называют "электронными картами") имеют ряд существенных преимуществ. Например, появляется возможность произвольно выбирать видимую на экране компьютера область, увеличивая или уменьшая при этом видимый масштаб. Также можно отображать только определенные выбранные элементы из БД ГИС, проводить вычисления расстояний между точками с учетом шарообразной формы Земли, представлять в графическом (символьном) и табличном виде характеристики (атрибуты) отображаемых элементов, отображать объекты БД ГИС разным цветом и типом символов в зависимости от значения их атрибутов и т. д. Таким образом, в среде ГИС появляется возможность получать различные представления реального мира на основе одного и того же источника – геопространственной БД ГИС.

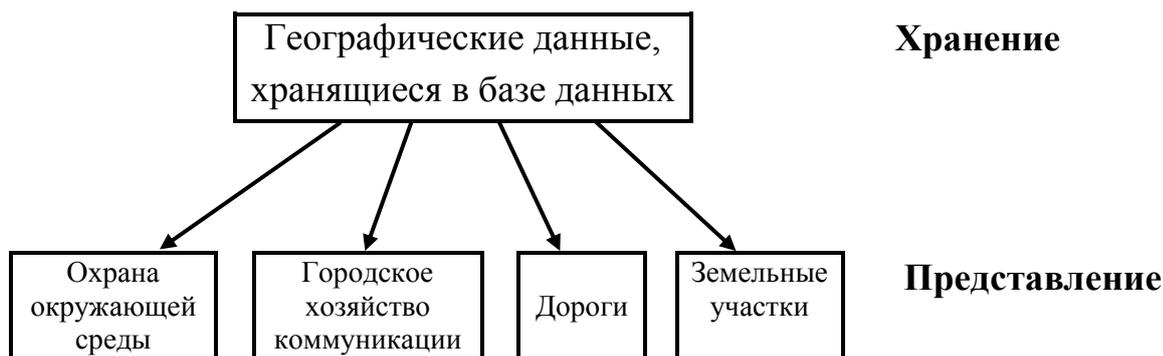


Рис.1.8. В отличие от традиционных карт в ГИС хранение и представление информации разделены

На бумажной карте географические объекты, такие как дорога или линия электропередач, чтобы сделать их легко узнаваемыми для читателя карты, изображаются с использованием графических символов, которые расшифровываются в легенде к карте. В БД ГИС информация о пространственном положении дороги или линии электропередач хранится в виде упорядоченного списка координат точек. А при отображении на экране компьютера дорога и линия электропередач будут представлены в виде ломаной линии соответствующего вида, проведенной через эти точки.

Иногда удобно использовать представление, что БД ГИС эквивалентна некоторой карте, так как БД ГИС часто создаются именно на осно-

ве традиционных бумажных карт, а все, что отображается на дисплее компьютера при работе с ГИС, называть "картой". Однако такой метафорой следует пользоваться, понимая суть вещей. Так, например, колодец в БД ГИС может быть представлен точечным объектом с атрибутом "колодец". При отображении (визуализации) этот объект будет представлен с помощью соответствующего символа (условного знака) из набора стандартных символов, которые всегда имеются в составе ГИС. При этом графическое изображение символа "колодец" будет храниться только один раз. Это эффективнее, чем хранить отдельный графический объект, изображающий колодец, в каждом его местоположении, что имело бы место при непосредственном переносе в БД ГИС образа карты.

Итак, традиционная бумажная карта является одновременно средой для представления и хранения географической информации. В среде ГИС хранение и представление географической информации разделены, вследствие чего, в частности, появляются возможности по созданию различных картографических изображений на основе одних и тех же данных [25].

1.4. Функции ГИС

Развитие ГИС-технологий, ориентированных на обработку пространственной информации, значительно изменило современные подходы к принятию управленческих решений. Как уже указывалось выше, в настоящее время общепринято, что цель создания ГИС – обеспечение информационной поддержки принятия управленческих решений. ГИС становятся основой – ядром – ИАС для поддержки принятия решений, основанных на пространственно привязанной (географической) информации. При этом способы сбора, хранения и обработки информации в ГИС во многом определяются методами, которые используются для принятия решений и соответствующего анализа. В этой связи полезно рассматривать ГИС, скорее, как некий динамический процесс, а не просто как организованный статичный набор географической информации и программно-аппаратных средств [14].

В общем случае процесс принятия решения можно условно разделить на три фазы: осознание проблемы, формирование альтернатив и, наконец, выбор из этих альтернатив окончательного решения [29]. Анализ большинства из доступного на рынке коммерческого ПО ГИС отечествен-

ного и импортного производства (MapInfo, ARC/INFO, GeoMedia, ГеоГраф и др.) показывает, что оно имеет тенденцию к фокусированию на первой фазе процесса принятия решений [17]. Эти программные средства имеют уникальные возможности для увеличения возможностей ЛППР по сбору и представлению информации, необходимой для осознания существующих проблем. Реализация первой фазы принятия решения в среде ГИС решает важнейшую задачу первоначального накопления, классификации и представления геопространственной информации. Однако для пользователей стандартного ПО ГИС возникают определенные трудности при реализации остальных фаз процесса принятия решения. Несмотря на то что большинство ПО ГИС позиционируется на рынке информационных технологий как системы для поддержки процесса формирования и оценки возможных альтернатив, предлагаемому на рынке коммерческому ПО явно недостает адекватных аналитических функций, необходимых для специалистов, а если они и присутствуют, то их применение требует достаточно высокой квалификации от пользователей [7].

В последние годы пользователями ГИС для решения задач информационной поддержки принятия управленческих решений наиболее успешно внедряется и используется информационно-справочная функция ГИС, обеспечивающая интерактивную реализацию, например, следующих запросов:

Какая информация есть в БД ГИС об отображаемом объекте?

Определить и показать, где находятся объекты с заданными характеристиками.

Информация о каких объектах, расположенных в данной точке пространства, есть в БД ГИС?

Такие запросы позволяют получать оперативную информацию о текущем состоянии объектов анализа, находящихся на определенной территории. Специалист, работающий в среде ГИС, получает наглядное представление о пространственном распределении процессов и явлений, информация о которых отображается на мониторе компьютера в картографическом виде.

Однако информационно-справочной функции явно недостаточно для выполнения основной функции ГИС – информационной поддержки приня-

тия управленческих решений. Для эффективного управления большое значение имеет прогноз последствий принимаемых решений, который целесообразно проводить на основе имитационного моделирования [22]. В связи с этим в соответствующих ИАС, создаваемых на базе ГИС, кроме информационно-справочной функции, необходимо широко внедрять и функцию моделирования. Это означает, что ГИС целесообразно интегрировать с различными имитационными и расчетными моделями. Наличие таких моделей в составе ИАС позволит оперативно проанализировать несколько сценариев развития процессов и явлений на определенной территории. Анализ на основе моделирования позволяет обосновывать решения и реализует запросы типа: "Что будет, если ...", например:

Используя методы моделирования, создать новые объекты и/или атрибуты на основе информации, присутствующей в БД ГИС.

Используя БД ГИС как модели реального мира, продемонстрировать развитие процесса P в течение времени T для заданного сценария S .

Среди других функций ГИС, которые необходимы ЛПР для удовлетворения их информационных потребностей, можно выделить, например, следующие [27]:

Подсчитать, сколько раз встречаются объекты типа A на определенном расстоянии от объектов типа B .

Вычислить функцию F в местоположении X .

Вычислить геометрические характеристики объектов (длину, площадь, периметр).

Определить результат пересечения или перекрытия различных видов пространственных объектов, в первую очередь площадных.

Определить кратчайший путь по сети или расстояние по поверхности Земли.

Провести переклассификацию объектов, имеющих определенную комбинацию атрибутов.

Зная значение характеристики Z в точках x_1, x_2, \dots, x_n , предсказать значение Z в точках y_1, y_2, \dots, y_m .

Представленное обсуждение позволяет сформировать классификацию задач, которые решаются в среде ГИС. Типы задач, решаемых в среде ГИС, можно представить в виде схемы (рис. 1.9) [22]. Эта схема также от-

ражает сложность (а значит и стоимость) решения, которая возрастает сверху вниз. Еще раз отметим, что базовое ПО ГИС, в большинстве случаев, используется для решения информационно-справочных задач.

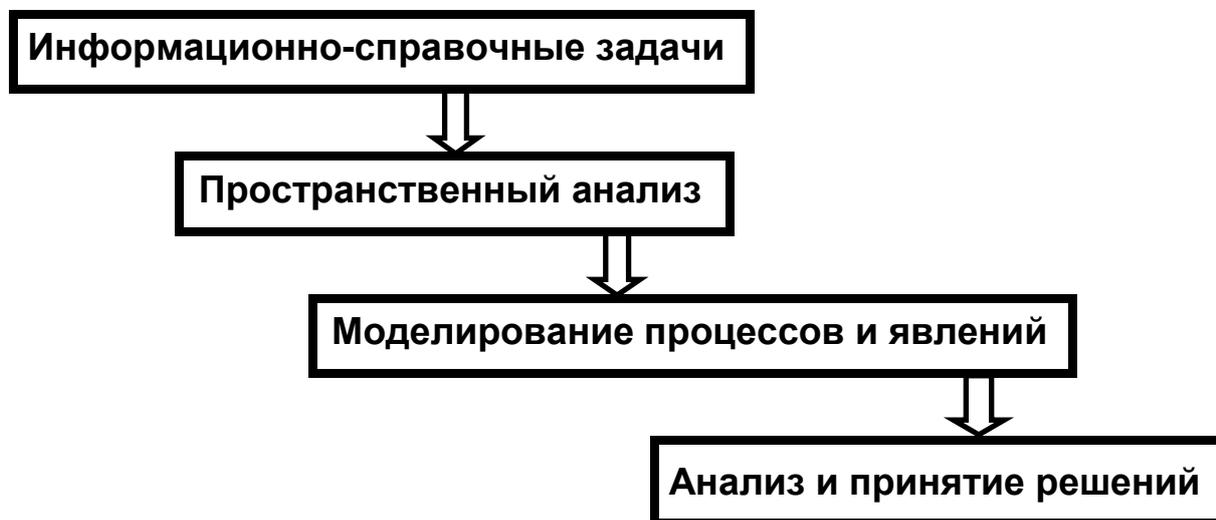


Рис. 1.9 Типы задач, решаемых в среде ГИС

На ранних этапах своего развития ГИС внедрялись в системы управления территориальным развитием, где в основном просто автоматизировали технологии ручного картографирования. Современные же ГИС развиваются по двум основным направлениям: пространственная статистика и пространственное моделирование. ГИС постепенно превращаются в системы, реализующие так называемый пространственный диалог и пространственное мышление. Изначально ГИС рассматривались только как инструмент. Человечество создавало карты тысячелетиями, и ГИС были призваны облегчить и ускорить этот процесс. Но в результате оказалось, что ГИС гораздо больше, чем инструмент [15, 19, 23]. Как будет показано в дальнейшем изложении, ГИС-технологии позволяют "посмотреть" на управляемую территорию с различных точек зрения, они действительно позволяют обеспечить системный междисциплинарный подход к принятию управленческих решений, необходимый при решении задач природообустройства.

1.5. Области применения ГИС

Информация, хранящаяся в БД ГИС, с помощью средств ПО ГИС может быть представлена, например, отображена на экране компьютера, в

картографическом виде, в виде таблиц, графиков и т. д. Главное преимущество ГИС состоит в том, что географическое положение (общая пространственная привязка информации в БД ГИС) может быть использовано для выявления связей и совместного анализа различных процессов и явлений окружающего мира. Наличие в БД информации о географическом положении всех компонентов "автоматически" обеспечивает согласование и интеграцию информации в БД ГИС. Следует отметить, что вопрос согласования информации в обычных реляционных СУБД решается с помощью построения многочисленных классификаторов и справочников. В среде ГИС, как будет показано в дальнейшем, подобные вопросы решаются более рационально [3, 17, 30]. Далее рассмотрены некоторые примеры тех задач, которые эффективно решаются с помощью ГИС. Сразу сделаем замечание, что приведенные примеры не носят какого-либо систематического всеобъемлющего характера, а направлены на то, чтобы показать, насколько разнообразным может быть применение ГИС-технологий.

Например, с помощью ГИС-технологий на основе общей пространственной привязки можно соотносить качество грунтовых вод и здоровье жителей определенной местности. Можно предсказывать, как растительность в некоторой области будет изменяться в связи с потеплением климата, а также сравнивать предложения инвесторов по развитию и использованию территории на соответствие ограничениям на землепользование.

Одним из основных преимуществ систем информационной поддержки принятия управленческих решений, создаваемых на базе ГИС, является то, что они позволяют в одной информационной среде и на основе единой базы данных с общей пространственной привязкой решать различные задачи территориального развития. Например, в среде ГИС проектировщик может на основе построенной геодезистами в БД ГИС трехмерной модели рельефа местности (топографии) оценить устойчивость склонов при выборе трассы будущей дороги. Ту же самую модель местности использует инженер сельскохозяйственного производства для анализа процессов эрозии почв на территории. Инженер по лесоустройству может отслеживать реальные объемы вырубок или последствия лесных пожаров на территории по данным только что полученных оперативных космических снимков, отображаемых на экране монитора компьютера совместно с информацией

о лесных выделах и их арендаторах из существующей условно-постоянной БД ГИС. Анализируя экологическую информацию, послойно представленную в среде ГИС, специалисты по природопользованию имеют возможность оценить экологическое состояние территории и определить необходимые мероприятия и возможные перспективы дальнейшего функционального использования территории.

ГИС успешно применяются при анализе системных связей на территории. Например, специалисты агрохимслужбы могут использовать ГИС для исследования пространственных связей между составом микроэлементов в почве и типом землепользования (растительности). Сотрудники гидрологической службы с помощью ГИС могут исследовать связь между уровнем грунтовых вод и типом подстилающих пород. Средства ГИС позволяют выполнять анализ географически привязанной информации для определения быстрее пути проезда между двумя точками. ГИС предоставляет эффективные средства для информационного обеспечения процесса разрешения конфликтов в планировании инвестиций путем моделирования пригодности некоторого участка земли для конкретного вида функционального использования. При этом все специалисты могут пользоваться единой БД ГИС, в которой вся информация имеет общую пространственную привязку, например, за счет использования общей картографической основы, что дает возможность комплексно учитывать все доступное множество факторов в каждом конкретном местоположении на территории, что особенно важно при решении вопросов природообустройства.

Возможности ГИС-технологий по анализу пространственного перекрытия географических элементов дают уникальные возможности по поддержке принятия решений, например, при предсказании последствий градостроительных решений для окружающей природной среды и общества или выбора места ведения бизнеса. Примером может служить задача по выбору места под будущий магазин, где в среде ГИС анализируются перекрытия зон пешеходной доступности и буферные зоны вокруг существующих торговых точек. Однако следует учитывать, что подобный анализ можно будет провести, если только географическая информация об изучаемых процессах и явлениях выражена в совместимой географической си-

стеме координат (картографической проекции). В связи с этим, как уже отмечалось, в составе ПО ГИС обязательно присутствуют возможности по преобразованию данных из одной системы координат в другие.

ИАС, создаваемые на базе ГИС, обрабатывают пространственно привязанную информацию и обеспечивают ответы на вопросы относительно детальных характеристик заданного местоположения. ГИС-технологии позволяют совместно анализировать пространственное распределение процессов и явлений, а также изменения, которые произошли со времени предыдущего анализа. Это позволяет определить влияние одного явления на другие, выявить их связь и соответствующие пространственные структуры в регионе.

Большинство ИАС на базе ГИС сделаны по заказу, путем интеграции доступных программных средств, относительно независимых модулей, а также смешанных компьютерных аппаратных компонентов и специфических внешних устройств. Часто разработка ИАС для какой-либо конкретной цели определяется приобретением одного, основного ПО ГИС и соответствующей аппаратуры стандартной конфигурации. В связи с этим возникает множество точек зрения на ГИС [27], которые не являются определениями ГИС, а определяются сферой применения ГИС. В качестве некоторых характерных примеров ИАС, разработанных на базе ГИС-технологий, можно привести следующие (список, отнюдь не претендует на полноту):

системы для обработки данных, разработанные для визуализации электронных карт и производства карт на бумажной основе;

системы, предназначенные для анализа данных, а также исследования и поиска путей разрешения конфликтов при планировании или оптимизации транспортных систем;

информационные системы для поддержки данных о местоположении земельных участков, их свойствах и собственниках (ведение земельного и имущественного кадастров);

системы для информационной поддержки работы компаний, управляющих эксплуатацией инженерных коммуникаций, эти системы помогают поддерживать эксплуатацию распределенной сети различных трубопроводов, кабелей;

системы, обеспечивающие информационную поддержку проектирования дорог, горных выработок, операций по вырубке леса;

электронные навигационные системы для использования на транспорте, в том числе морском.

Очевидно, что все эти системы обязательно должны базироваться на ГИС, хотя и разрабатываются под какое-либо конкретное приложение. В связи с этим за рубежом появились специальные термины для некоторых типов систем, например, земельные информационные системы (land information systems – LIS), информационные системы для управления природными ресурсами (natural resource information systems – NRIS), но в России эти термины не прижились.

1.6. ГИС и родственные информационные технологии

ГИС интегрируют в своей среде множество информационных компьютерных технологий. Среди них выделим системы автоматизированного проектирования, технологии автоматизированного картографирования, а также технологии, связанные с обработкой данных дистанционного зондирования и использования систем глобального спутникового позиционирования. При изучении ГИС-технологий следует обратить внимание на тот факт, что некоторые функциональные возможности, присутствующие в ПО ГИС, могут быть также реализованы и с помощью ПО, разрабатываемого для других целей. Среди таких информационных технологий выделим, прежде всего, системы для обработки растровых изображений и для поддержки инженерного черчения (системы машинной графики), которые также носят название CAD-систем (computer-assisted design).

CAD-системы, например AutoCAD, MicroStation, разработаны для графического обеспечения работы инженеров-проектировщиков разных специальностей в области архитектуры, машиностроения и других. CAD-системы больше внимания уделяют графическому проектированию (рисованию) и моделированию, чем анализу. Этому типу ПО недостает возможностей, которые требуются для обработки сложных запросов к атрибутивной части геопространственной информации. Кроме того, в среде CAD имеются сложности с интеграцией геопространственных данных из различных источников, так как стандартно отсутствует поддержка картографических проекций. Однако различие между CAD и ГИС в последнее вре-

мя становится все меньше и меньше. Этот процесс в основном обусловлен добавлением геоинформационных возможностей в ПО САД. Вследствие этого многие разработчики, традиционно занимающиеся поставками САД-систем, имеют возможность эффективно конкурировать на рынке ГИС. С другой стороны, некоторое ПО ГИС основано на САД-системах, например, ПО ГИС, выпускаемое фирмой Intergraph, использует в качестве графического ядра САД-систему MicroStation фирмы Bentley.

Компьютерные системы для работы с растровыми изображениями, например PhotoShop, разработаны для выполнения широкого диапазона операций. Исходные изображения могут быть получены с помощью видео- и фотокамер, а также искусственных спутников Земли – данные дистанционного зондирования (ДДЗ). В настоящее время связь между ПО для обработки изображений и ГИС становится все более тесной, по мере того как упомянутые выше изображения становятся все более и более важным источником данных для наполнения БД ГИС. Однако следует четко себе представлять, что системы обработки изображений концентрируются в основном на выделении информации из изображений, а ГИС концентрируются на анализе этой информации.

Другим важным типом ПО, связанным с ГИС, являются СУБД. Некоторые СУБД являются основой ГИС, а с другой стороны, некоторые ГИС имеют тесную связь со стандартными коммерческими СУБД. Такая тесная связь определяется тем, что атрибутивные данные являются важнейшим компонентом БД ГИС и оптимизация работы с ними имеет большое значение для успеха ГИС-проекта. Следует отметить, что многие БД, которые используются как источники данных для ГИС (например статистические или кадастровые данные), функционируют под управлением широко распространенных СУБД, поддерживающих реляционные БД. Следовательно, наличие в ПО ГИС возможностей по организации связи с СУБД во многом определяет жизнеспособность соответствующих ГИС-систем. При этом также наблюдается встречная тенденция, связанная с включением в состав СУБД, разрабатываемых мировыми лидерами этой индустрии, такими как Oracle, специальных модулей, ответственных за обработку пространственной информации.

Функции пространственного анализа, свойственные ГИС, можно обнаружить также в ПО, предназначенном для построения поверхностей и изолиний, типичным примером которого является пакет Surfer. Ограниченные информационно-справочные функции ГИС характерны для так называемых настольных картографических систем, таких как, например, TopPlan. В таких программах БД, содержащая информацию о важнейших городских объектах (гостиницы, кафе, магазины и др.), связана с электронной картой определенной территории (городов Санкт-Петербург, Москва или субъекта Российской Федерации). Подобные системы находят также распространение при создании сайтов в сети Интернет.

1.7. Жизненный цикл ГИС

Организация работ по созданию ГИС требует применения особой технологии, а в основе деятельности по созданию и использованию ГИС лежит понятие жизненного цикла (рис. 1.10). Жизненный цикл отражает различные состояния ГИС-системы, начиная с момента возникновения необходимости в ней и заканчивая моментом ее полного выхода из употребления [1, 2, 25]. Жизненному циклу информационных систем посвящен также специальный ГОСТ [8]. Последовательность этапов жизненного цикла ГИС строится в соответствии с принципами нисходящего проектирования. Она, как правило, носит итерационный характер: реализованные этапы, начиная с самых ранних, циклически повторяются в связи с изменениями требований, внешних условий, введением ограничений и т.п. Некоторые из таких "обратных ходов" показаны на рис. 1.10 более тонкими стрелками.

Среди всех этапов жизненного цикла ГИС наиболее важным является выявление и анализ требований пользователя. Цель любого анализа требований пользователя – однозначно выявить цели и назначение ГИС, условия эксплуатации, место ГИС в информационных обменах, а также создать подробное описание выполняемых функций. На этом этапе все требования уточняются, формализуются и документируются. Итоговый документ должен содержать описание функциональных характеристик, обеспечивающих решение поставленных задач, и включать достаточно подробное определение предлагаемого к разработке геоинформационного обеспечения. На этапе анализа требований особенно важно привлечение специали-

стов – будущих пользователей ГИС – ЛПР. С их помощью должны быть определены требования к информации, определены, какие показатели необходимо собирать для проведения анализа процессов и явлений реального мира. На этом этапе также должны быть отобраны модели, которые будут использоваться в ГИС. В этом и состоит суть разработки требований к структуре и составу БД ГИС и функциональным возможностям ГИС.



Рис.1.10. Жизненный цикл ГИС для информационной поддержки принятия решений

В отличие от этапа анализа требований, на котором дается ответ на вопрос "Что должна делать будущая ГИС?", проектирование дает ответ на вопрос "Как (каким образом) ГИС будет удовлетворять предъявленным к ней требованиям?". Задачей этапа проектирования является разработка структуры БД ГИС, логических взаимосвязей элементов ГИС, функционального наполнения отдельных модулей. На этом этапе не рассматриваются вопросы, связанные с конкретной реализацией в какой-либо программно-аппаратной среде. На этапах анализа и проектирования должен быть получен подробный проект ГИС (спецификации), содержащий достаточно информации для его реализации в рамках выделенного бюджета.

После выбора, приобретения и адаптации программного обеспечения решаются задачи формирования и заполнения пространственных БД. На этом этапе необходимо решить проблемы организации данных в ГИС в соответствии со спецификациями, выработанными на этапах анализа требований и проектирования. Решаемые на этом этапе вопросы о моделях, структурах и форматах данных являются одними из самых сложных и ответственных при создании ГИС-системы.

При разработке средств для анализа и моделирования решаются проблемы представления в удобной для пользователей форме пространственно распределенной информации в ГИС. Кроме того, в состав ГИС включаются различные модели, в том числе прогнозные имитационные модели. С помощью этих моделей на основе геопространственной информации можно будет изучать развитие различных процессов на территории и в соответствии с анализом результатов моделирования выбрать управленческие решения из нескольких вариантов и оценить их последствия.

Таким образом, на основе геоинформационного обеспечения могут создаваться ИАС для интеграции знаний и методов различных наук при комплексном междисциплинарном анализе управленческих решений на основе пространственной привязки информации. Средства ГИС предоставляют инструментарий для получения новых знаний о пространственно-временных особенностях природных, экономических, социальных и других процессах и явлениях, происходящих на управляемой территории, которые необходимо учитывать при принятии управленческих решений в области природообустройства.

Резюме

1. Географическая информация – это географически привязанные данные, преобразованные в форму, которая имеет реальную ценность для ЛПР и используется им в процессе принятия решения. Пространственные данные – данные о пространственных объектах и их наборах.

2. Характеристика рассматривается как географическая, если ей может быть поставлено в соответствие определенное местоположение на поверхности Земли.

3. Географическая карта является эффективной средой одновременно для представления и хранения географической информации.

4. По сравнению с картами, ГИС имеют то существенное преимущество, что в ГИС хранение и представление географической информации разделены.

5. ГИС – это организованный набор географической информации и соответствующих программно-аппаратных средств, позволяющих вводить, хранить, визуализировать, анализировать, обрабатывать (моделировать) и представлять в удобном для пользователя виде эту пространственно распределенную (географически привязанную) информацию об изучаемой территории. ГИС – информационная система, оперирующая пространственными данными.

6. Целью создания ГИС является обеспечение информационной поддержки принятия управленческих решений.

7. Типы задач, решаемые в ГИС (функции ГИС): информационно-справочные задачи, пространственный анализ, моделирование процессов и явлений, анализ и принятие решений.

8. Послойный принцип – базовый принцип организации в ГИС пространственной информации. Этот принцип заключается в том, что многообразная информация об управляемой территории организуется в виде серии тематических слоев, отвечающих конкретным потребностям.

9. Некоторые функциональные возможности, которые характерны для ГИС, могут быть реализованы с помощью ПО, разрабатываемого для других целей.

10. Жизненный цикл отражает различные состояния ГИС-системы, начиная с момента возникновения необходимости в ней и заканчивая моментом ее полного выхода из употребления.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое ГИС?
2. Как используется географическая информация для преобразования окружающего мира?
3. Какая основная цель создания ГИС?
4. В чем главное отличие методов ГИС и традиционной картографии?
5. Как организована БД ГИС?

6. Расскажите об областях применения ГИС.
7. В чем отличие ГИС и САД-систем?
8. Поясните понятие жизненного цикла ГИС.

ТЕМА 2. МОДЕЛИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ГИС

- 2.1. Особенности моделирования реального мира в ГИС
- 2.2. Концептуальные модели географического пространства
- 2.3. Примитивы в модели реального мира
- 2.4. Объекты в модели данных
- 2.5. Растровая и векторная модели данных

Ключевые термины Субъективное восприятие реального мира, формализация и моделирование реального мира, примитивы, объекты в модели данных, концептуальные модели географического пространства, структурирование данных, шкалы для атрибутов, отношения между примитивами, растровая и векторная модели данных, модель "спагетти", векторная топологическая модель.

2.1. Особенности моделирования реального мира в ГИС

Использование ГИС-технологий предоставляет пользователям большие возможности для формализации и формирования упрощенного взгляда на реальный мир, что особенно важно на стадии осознания проблемы в процессе принятия решений. Формулируемый упрощенный взгляд должен отвечать определенным потребностям ЛПР, которые зависят от конкретной управленческой задачи. Соответствующие процессы упрощения (моделирования) не всегда являются простыми и однозначными. Формирование упрощенного взгляда осложняется тем, что реальность, с которой имеют дело ЛПР, является нерегулярной и постоянно изменяется, а восприятие реального мира является субъективным, зависящим от пользователя ГИС (наблюдателя) и задач, которые он решает в рамках своей организации. При этом следует помнить, что в общем случае реальный мир может быть описан (промоделирован) в терминах бесчисленного множества процессов и явлений, присутствующих в окружающем мире: от масштаба фундаментальных субатомных частиц до масштаба океанов и континентов [25–27].

Сложность процессов и явлений реального окружающего мира вместе с широким спектром их интерпретаций (моделей) определяет различия в разработках ГИС как средства информационной поддержки принятия управленческих решений. Эти различия зависят от потребностей пользователей и возможностей разработчиков ГИС-систем. Наличие человеческого фактора также накладывает определенные ограничения. Все это ведет к тому, что, например, данные, собранные для какого-либо одного ГИС-приложения, даже в рамках одной организации могут быть бесполезными для других приложений. Указанные трудности относятся как к моделированию вообще, так и к реализации ГИС-проектов в частности. В данном разделе внимание будет в основном уделено рассмотрению тех особенностей моделирования реального мира, которые связаны именно с использованием ГИС-технологий.

В каждом конкретном ГИС-проекте реальный мир описывается в терминах ряда моделей. Эти модели описывают концепции и процедуры, необходимые для преобразования результатов наблюдений (данных) за процессами и явлениями окружающего мира в информацию, используемую при принятии управленческих решений. Эта геопространственная информация сохраняется в БД ГИС и обрабатывается ПО ГИС. При этом моделированием будем называть процесс интерпретации реальности, который устанавливает соответствие между реальным миром и его моделью [25]. Чтобы воспроизвести процессы и явления реального мира в среде ГИС, необходимо использовать упрощающие модели в определенной последовательности (рис. 2.1).

На рис. 2.1 представлено, что процесс моделирования и представления реального мира в среде ГИС начинается с того, что в реальном мире должны быть выделены однородные процессы и явления. Затем они должны быть классифицированы и описаны в виде примитивов в модели реального мира. Последняя преобразовывается в модель данных путем представления примитивов в виде объектов, с которыми связывается информация о геометрии и качестве данных. Модель данных затем трансформируется в модель конкретной БД, с учетом особенностей используемой СУБД и/или ПО ГИС. На этой стадии вся информация становится цифровой и в дальнейшем может быть представлена в виде электронных карт и отчетов.

Последние непосредственно используются конечным пользователем для информационной поддержки принятия управленческих решений, и представляются ему моделью реального мира, а все промежуточные модели – скрыты.

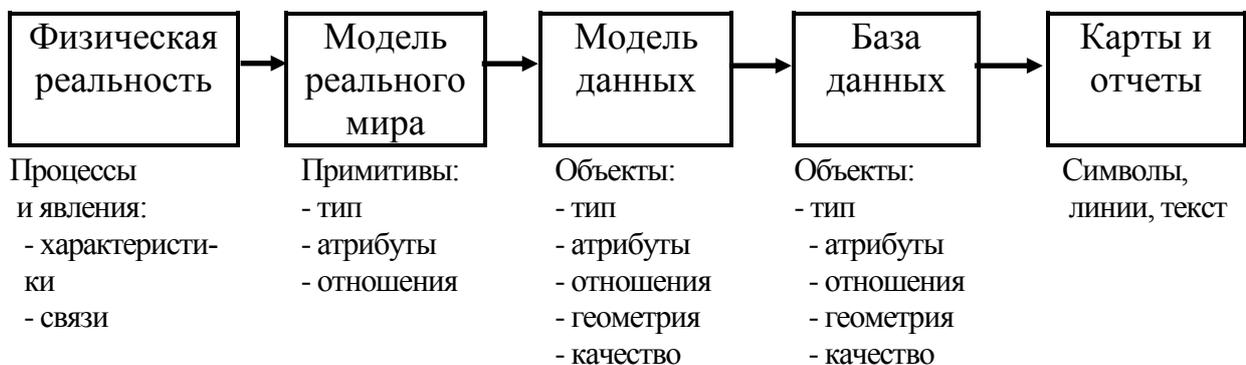


Рис.2.1. Моделирование и представление реального мира в среде ГИС

Наблюдая реальный мир, например пейзаж за окном, разные люди будут выделять разные составляющие этот пейзаж процессы и явления: дома, дороги, лужайки, ручейки и т. д. Для моделирующих их примитивов географическая (пространственная) привязка на обыденном языке может быть определена с помощью слов – "перед", "за", "слева от", "справа от". Какие при этом элементы реального мира выделять, а какие игнорировать, будет определяться опытом наблюдателя, его культурой и образованием, а также тем, с какой целью проводятся наблюдения (управленческой задачей). Однако если возникает потребность в обмене информацией об окружающей обстановке (территории), становится необходимым формализовать модели, используемые для описания реальности.

Формализация обеспечивает пользователю интерпретацию данных о реальном мире без какой-либо двусмысленности, а следовательно, и эффективную передачу и распространение этих данных. От пользователя ГИС требуется четкое осознание того, что процессы и явления реального мира формализуются и представляются в ГИС только на основе ряда моделей. В табл. 2.1 представлены некоторые из таких моделей, которые используются для описания процесса перехода от наблюдений реального мира к цифровому компьютерному представлению в среде ГИС. Правильное применение моделей из табл. 2.1 требует специальных методологических

походов. При этом наблюдения проводятся человеком либо непосредственно, либо с помощью специального оборудования и технологий, таких как, например, аэрофотосъемка, лабораторные исследования образцов грунта и т. д. Следует также сделать замечание, что в процессе проектирования ИАС на базе ГИС будущие пользователи должны активно принимать участие в разработке моделей первых двух видов, а также графических моделей [22]. При разработке других моделей более важную роль играют специалисты по разработке ПО ГИС.

Таблица 2.1

Модели и ГИС-технологии

Вид модели	Комментарий
Концептуальная	Общий взгляд на реальный мир: выделение процессов и явлений, элементов и связей
Аналитическая	Определение видов характеристик процессов и явлений, элементов и связей, необходимых для анализа
Пространственных данных	Формализация аналитической модели без каких-либо ограничений на реализацию
Базы данных	Представление модели пространственных данных, с точки зрения того, как данные хранятся в компьютере
Физическая вычислительная	Описание файловой структуры, которая является конкретным представлением структуры данных в компьютере
Манипулирования данными	Набор аксиом и правил для работы с данными из БД ГИС
Графическая	Набор правил и процедур для отображения и представления пространственных данных в виде, удобном для пользователя, в том числе, в картографическом виде

2.2. Концептуальные модели географического пространства

Для представления географических процессов и явлений реального мира в среде ГИС в соответствии с атрибутивно-графическим содержанием БД ГИС необходимо отразить две основные сущности: *что* представляется и *где это* находится [27]. При этом описания, используемые для какого-либо явления в одном масштабе исследования, будут принципиально отличаться от описания того же явления в другом масштабе.

Так, например, при решении управленческих задач масштаба региона явление "дорога" может изучаться на основе данных дистанционного зондирования, полученных со спутника. В этом случае можно использовать простейший линейный примитив с минимальным набором атрибутов. Но при проектировании места под строительство вдоль дороги это же явление должно быть промоделировано с помощью целого набора примитивов в целях обеспечения необходимых деталей. В этой связи процессы и явления реального мира часто группируются или разделяются на разных уровнях разрешения (масштабах) согласно определенному иерархическому таксонометрическому принципу и в соответствии с этим разделением строятся разные модели.

Пространственная привязка процессов и явлений реального мира может быть определена различными способами. В некоторых случаях используются мировые координатные системы геоидов, которые определяют местоположение непосредственно на поверхности Земли с помощью двух параметров – широты и долготы. Различные картографические проекции и координатные системы позволяют аппроксимировать реальную форму Земли (геоид) на плоскости [14, 20]. Кроме того, используются локальные прямоугольные системы координат, которые применяются на крупных масштабах (1:10 000 и крупнее). В такой "местной" системе координат реальной шарообразной формой Земли можно пренебречь вследствие малой площади охвата анализируемой территории.

В общем случае специалистам при работе в среде ГИС необходимо с самого начала сделать принципиальный выбор – на какой из двух основных концептуальных идей следует остановиться. Речь идет о выборе между двумя различными взглядами на реальный мир [27]. Этот выбор определяет весь дальнейший процесс моделирования реального мира в среде ГИС и состоит в следующем:

воспринимать окружающий мир как состоящий из дискретных примитивов, чье пространственное положение может быть определено с помощью подходящей координатной системы, а свойства этих примитивов – с помощью набора атрибутов;

воспринимать окружающий мир как набор непрерывных геополей, чьи характеристики также непрерывно изменяются в пространстве.

Среди специалистов в области природообустройства большее распространение нашел первый подход, т. е. считается, что окружающий реальный мир заполнен отдельными примитивами. При этом первым шагом при моделировании реального мира является определение и распознавание примитивов (это дом, электрический кабель, лес или река?), а вторым шагом – определение их границ и положения, а также создание списка атрибутов этих примитивов.

При подходе, основанном на непрерывных полях, используется простейшая концептуальная модель, которая представляет реальное географическое пространство с помощью непрерывных геополей, заданных в соответствующих координатах в двух или трех измерениях (четырёх, если учитывается время). Характеристики этих полей (атрибуты) обычно рассматриваются как функции, гладко изменяющиеся в зависимости от координат. Такими геопольями могут быть, например, давление воздуха, температура, высота над уровнем моря, содержание глины в почве и т. д. Данный подход выбирают, если управленческие решения определяются в первую очередь особенностями *изменения* характеристик реального мира в пространстве. При таком моделировании в БД ГИС могут быть выявлены некоторые экстремальные значения, которые обычно соответствуют определенным процессам и явлениям реального мира. Например, ураганы, течения, горные пики или другие "значительные явления". Эти области в среде ГИС могут определяться как "предметы" (Гольфстрим, Эльбрус). Шаги по выбору концептуальной модели представлены на рис. 2.2, где продемонстрировано, что могут существовать и некоторые промежуточные подходы.

Выбор концептуальной модели определяет методы получения и анализа информации, которые будут применяться пользователями создаваемой ГИС в дальнейшем. Например, если рассмотреть задачу об анализе горных вершин, подход, основанный на примитивах, будет лучше подходить для ГИС-системы, предназначенной для хранения и анализа информации о том, кто покорил какую-либо вершину и когда. Однако в этом случае затруднительно обеспечить вычисление уклонов для этой вершины, что требуется в ГИС-системе, предназначенной для выбора и проектирования горнолыжных трасс. Если для рельефа выбрать представление в виде непрерывных полей, тогда появится возможность вычислять уклоны (как

первую производную от поверхности). Однако в этом случае возникнут проблемы с сохранением имен покорителей вершин для тех частей поверхности, где первая производная равна нулю и кривизна поверхности соответствует пику, что легко делается в первом случае.



Рис. 2.2. Выбор концептуальной модели определяет пути реализации ГИС

Таким образом, выбор между двумя подходами также зависит от научной или технической специальности ЛПР – будущего пользователя

ГИС – и, конечно, тех задач, которые он решает в организации. Для тех задач, которые концентрируются на анализе пространственных процессов в окружающей природной среде, может быть более предпочтительно использование подхода на основе непрерывных полей. Если же деятельность ЛПР связана, например, с управлением недвижимостью или администрированием, то большие преимущества будет иметь подход на основе примитивов.

Справедливо утверждение, что с большинством процессов и явлений, связанных с деятельностью человека (дома, земельные участки, административные единицы, дороги, трубопроводы), можно успешно работать с помощью подхода на основе примитивов, которые отличаются друг от друга по типам, атрибутам и географическому положению.

2.3. Примитивы в модели реального мира

Итак, как показывает опыт практической реализации ГИС проектов, для специалистов в области природообустройства более продуктивным оказывается подход, основанный на использовании понятия примитив (entity) [25]. При этом формирование модели реального мира сопровождается конкретизацией данных, которые должны собираться для этой модели. Основным носителем информации в этой модели является примитив, определяемый как явление реального мира, которое невозможно разделить на явления того же самого типа. Любой примитив состоит из:

классификационного типа

атрибутов

пространственных отношений

Понятие классификационного типа для примитивов предполагает, что имеется возможность классифицировать однородные процессы и явления как таковые. В процессе классификации должны быть недвусмысленно сформулированы правила классификации, отражающие все существенные для конкретного случая свойства примитива. На основе этих правил для каждого примитива должна появиться возможность однозначно выделять его в реальном мире и относить к какому-либо классификационному типу для предотвращения двусмысленности. Например, правила для выявления примитивов типа "жилой дом" должны быть сформулированы таким образом, чтобы не путать их с примитивами "промышленное здание".

С каждым типом примитивов связывается один или несколько атрибутов, описывающих характеристики соответствующих процессов и явлений, которые необходимо знать ЛПР для принятия управленческих решений. Например, примитив типа "строения" может иметь атрибут "тип строения" с возможными значениями "жилое", "нежилое", а также атрибут "число этажей" с возможными значениями от 1 до 10. В общем случае примитив может иметь любое число атрибутов, что определяется конкретной управленческой задачей. Например, примитивы типа "озеро" могут быть описаны с использованием следующих атрибутов: "название", "глубина", "качество воды", "химический состав", "цвет воды", что требуется при решении природоохранных задач.

Атрибуты могут описывать количественные и качественные характеристики процессов и явлений, их измеряют по разным шкалам. Шкалой будем называть правило, согласно которому состояние системы характеризуется числами, т. е. шкала служит для перехода от физического (или другого) объекта к числу [22,29]. Примеры различных шкал представлены в табл. 2.2.

В качестве комментария к таблице можно указать, что иногда первую шкалу называют качественной, а оставшиеся – количественными. Кроме указанных в табл. 2.2 используются и другие шкалы, например, абсолютная, степенная, разностей. Существует специальная наука – теория измерений, в общем случае результаты которой необходимо учитывать при формировании атрибутивной части БД ГИС.

Между примитивами существуют определенные отношения и связи, примеры которых сведены в табл. 2.3. При анализе обычных карт на бумажной основе такие отношения являются очевидными и определяются интуитивно на основе опыта и знаний ЛПР. При этом используются уникальные способности человека к выявлению и пониманию пространственных соотношений при визуальном анализе любых изображений, в том числе картографических. Эти способности пока не могут быть полностью алгоритмизированы, и поэтому чрезвычайно важной задачей является расширение возможностей ГИС по визуализации географической информации из БД ГИС, о чем будет более подробно говориться в теме 4. Для учета отношений и связей между примитивами при переходе к компьютерным тех-

нологиям требуется либо дополнение БД ГИС соответствующей описательной информацией, либо алгоритмизация инструкций по идентификации таких отношений и связей.

Таблица 2.2

Примеры шкал для определения значений атрибутов

Шкала	Пример	Возможные операции	Подходящая оценка
Индивидуальная, наименований	Тип землепользования	=	Мода
Порядковая или ранговая	Бьюфортова шкала ветров	> <	Медиана
Интервалов	Температура, С	+ - * /	Среднее арифметическое
Относительная	Содержание тяжелого металла в почве	+ - * /	Среднее арифметическое

Таблица 2.3

Примеры отношений между примитивами

Отношение	Пример
Принадлежность	Труба принадлежит большой непрерывной трубопроводной сети
Включение	Российская Федерация включает в себя субъекты, которые в свою очередь включают в себя муниципальные образования
Расположен на/в	Некоторый дом расположен на определенном земельном участке
Граничит с	Два соседних земельных участка имеют общую границу

Также следует учитывать, что некоторые отношения могут быть громоздкими и даже не постоянными, как, например, такие, которые существуют в сетях инженерных коммуникаций. В этом случае состояние переключателей или вентилях (включено/выключено, открыто/закрыто) определяет, как инженерная сеть расчленяется на логические примитивы в разные моменты времени. В таких ситуациях различают действительные и потенциальные отношения.

2.4. Объекты в модели данных

Итак, модель реального мира облегчает ЛПР решение задач по управлению определенной (управляемой) территорией путем уменьшения количества анализируемых сущностей, а значит и упрощения реальной ситуации. При этом все детали, которые не влияют на процесс принятия решений, считаются несущественным и не включаются в модель. Продолжение процесса формализации модели реального мира (см. рис. 2.1) в виде модели данных делает возможным представлять примитивы реального мира в БД ГИС [28].

В отличие от человека компьютеры не могут "узнать" сущность границ земельного участка, буровой скважины, озера или других объектов. Компьютеры могут манипулировать только такими геометрическими объектами, как точки, линии и области, которые и используются в моделях данных. Носители информации в модели данных называются объектами. Они соответствуют примитивам в модели реального мира и поэтому рассматриваются как описание явлений реального мира в терминах баз данных (см. рис. 2.1). При этом следует учитывать, что в литературе термины примитив (*entity*), элемент (*feature*) и объект (*object*) часто используются как взаимозаменяемые. В настоящем пособии термин "примитив" используется для явлений реального мира, а термин "элемент" используется в качестве синонима термину "объект" и связан с компьютерной реализацией.

Объекты в модели данных ГИС характеризуются следующими компонентами:

тип;

атрибуты;

отношения;

геометрия;

качество данных.

Модели реального мира и примитивы не могут быть представлены в базе данных непосредственно, что связано, в частности, с тем, что конкретный примитив может быть представлен с помощью нескольких объектов. Например, примитив "Невский проспект" может быть представлен в виде совокупности объектов – отрезков улиц между перекрестками, каждый из которых является носителем информации. Применение такого под-

хода, повышающего эффективность использования данных в ГИС, означает, что элементарные носители информации и их охват, должны быть выбраны перед тем, как информация будет вводиться в базу данных. Структура географической информации в БД ГИС представлена на рис. 2.3.

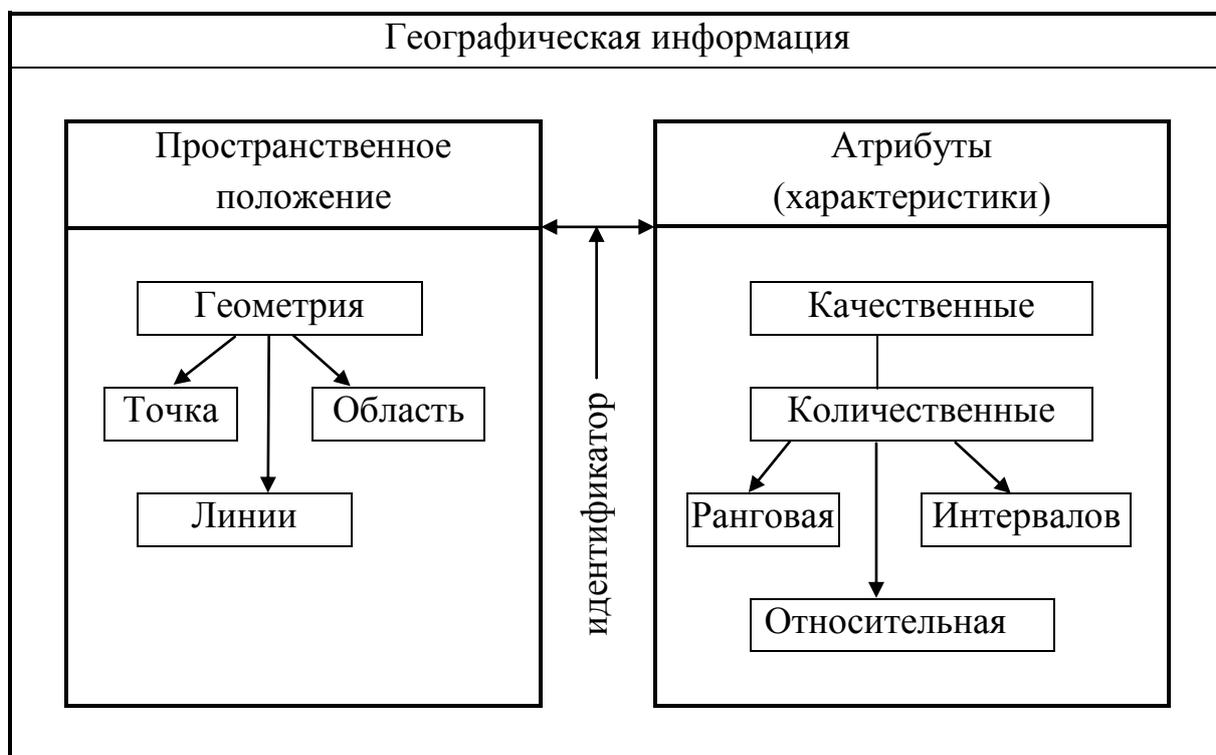


Рис.2.3. Структура географической информации в БД ГИС

Каждый объект в модели данных ГИС имеет уникальный идентификатор. С помощью идентификаторов, в частности, реализуется взаимнооднозначная связь между графической и атрибутивной частью объектов БД ГИС. При использовании любой модели данных в БД ГИС о каждом пространственном объекте хранится информация, по крайней мере, двух видов: информация о положении объекта (графическая) и атрибутивная информация (тематическая или неграфическая), а также связывающий их идентификатор (см. рис. 2.3). Именно по наличию этих характеристик ГИС можно отличить от традиционных видов СУБД, предназначенных в основном для обработки только атрибутивной информации.

Кроме представленного на рис. 2.3 разделения атрибутов на качественные и количественные в соответствии с шкалами из табл. 2.2, полез-

ным является выделение временных атрибутов. Эти атрибуты относятся ко времени сбора данных или измерения. Другие атрибуты называют тематическими, они определяют остальные характеристики пространственного объекта, например, агрохимические параметры сельхозугодий.

Атрибуты также классифицируют на первичные (измеренные, введенные) и вторичные, расчетные, полученные путем различных вычислений на основе значений других атрибутов. Частный случай вторичных атрибутов – это атрибуты, значения которых рассчитываются исходя из позиционной информации об объекте. Такие атрибуты иногда называют пространственными, например значение площади земельного участка.

В настоящее время, в эпоху мультимедиа, вполне естественным является расширение области определения атрибутов объекта на другую, связанную с ним информацию – растровую графику (фотографию объекта или отсканированную схему), видеофильмы или компьютерную анимацию, звуковую информацию. В связи с этим говорят о классических (алфавитно-цифровых) атрибутах объекта, а также его расширенных атрибутах (мультимедийных, в частности).

В реальных ГИС наборы данных с атрибутами пространственных объектов могут достигать гигантских размеров. Обычно такие наборы организованы в виде списков или таблиц. Применяемые для работы с ними СУБД могут использовать иерархическую, сетевую или реляционную модель данных. Однако чаще атрибуты пространственных объектов организованы в таблицу, называемую атрибутивной таблицей. Это обычно двумерный массив чисел с рядами, относящимися к примитивам или объектам ГИС, и колонками, являющимися определенными признаками – атрибутами (характеристиками) объектов, что соответствует реляционной схеме организации БД [6, 24]. В настоящее время большинство ПО ГИС использует реляционные СУБД, в которых база данных состоит из таблиц. Колонки таблицы ("поля") соответствуют разным атрибутам, а строки – содержат значения атрибутов для пространственных объектов. В БД ГИС также могут присутствовать таблицы, не имеющие связи с пространственным положением объектов. Пример – таблица ставок земельного налога или размер платы за сброс различных загрязнителей в водные объекты.

Можно выделить три подхода к организации связи графической и атрибутивной информации: геореляционный, интегрированный и объектный, и соответствующие им модели взаимодействия. Наиболее распространенная и известная на сегодня модель – геореляционная (рис. 2.4). В этом случае графическая компонента организована по-своему, а атрибутивная – по-своему и между ними устанавливаются и поддерживаются связи через идентификатор пространственного объекта.

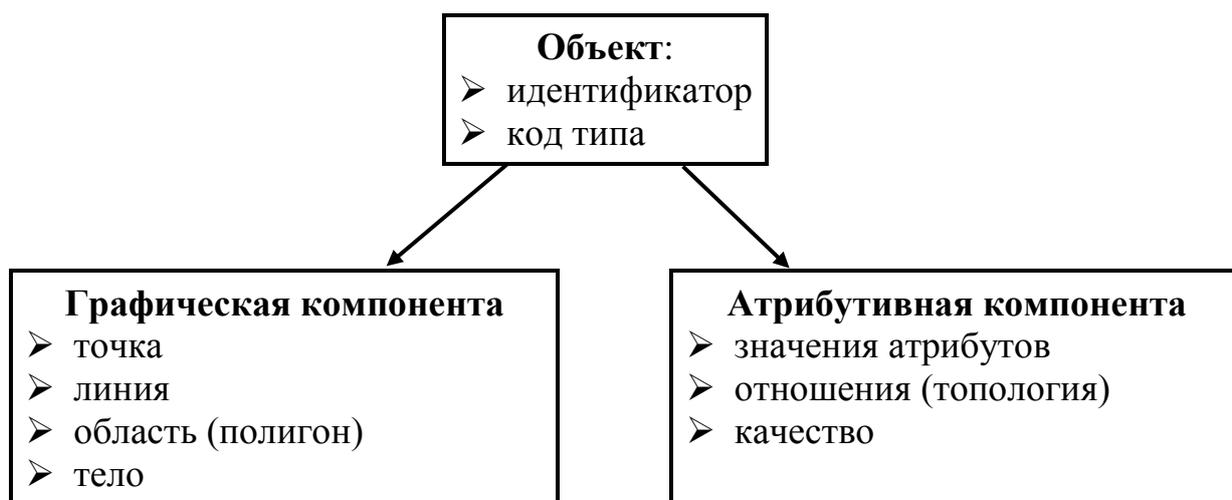


Рис. 2.4. Объекты геореляционной модели данных

Геореляционный подход характеризуется тем, что графическая информация, а иногда и топологическая, хранится и обрабатывается отдельно от атрибутивной. Такой подход определяется тем, что трудно добиться одновременной оптимизации хранения и графических, и атрибутивных данных [12]. В модели данных ГИС объекты различаются согласно классификации объектов, геометрическим элементам (точка, линия, область, тело), атрибутам, отношениям между примитивами и определению качества этих описательных элементов.

Кодирование типов объектов осуществляется на основе классификации примитивов. Каждый объект принадлежит одному и только одному типу. При этом графическая информация для объекта может быть представлена с помощью:

- точек (нет размерности);*
- линий (одномерные);*

*областей или полигонов (двумерные);
трехмерных тел.*

Идентификаторы позволяют однозначно выделять объекты и служат для связи графической и атрибутивной (неграфической) информации. Чаще всего ПО ГИС, для того чтобы управлять атрибутивной информацией, использует внутреннюю СУБД, однако в некоторых случаях ПО ГИС обеспечивает всю или часть своей работы через связь с внешней СУБД. Однако в большинстве ПО ГИС для работы с графической частью БД ГИС используются свои собственные программные модули.

2.5. Растровая и векторная модели данных

В ГИС-технологиях для пространственных объектов используются две основных модели данных – растровая и векторная (рис. 2.5) [22]. Исторически, данные модели носят также названия растрового и векторного форматов, соответственно, что связано с компьютерными реализациями первых систем автоматизированного картографирования.

Растровая модель по своей сути отражает концептуальный взгляд на окружающий мир как совокупность геополей. При этом изучаемая территория представляется в виде совокупности регулярно организованных площадных объектов, в виде квадратного пиксела (pixel).

Векторная модель отражает другой концептуальный взгляд – окружающий мир состоит из совокупности отдельных примитивов. Простейший тип векторной модели называется "модель спагетти". В такой модели основные объекты представляются следующим образом: точки – как пары пространственных координат, линии – как строки координатных пар, а области – как полигоны, ограниченные замкнутыми линиями.

Ключевое различие между растровыми и векторными моделями данных – растровая модель использует регулярные искусственные пространственные объекты, в то время как векторная модель использует нерегулярные пространственные объекты [2, 26]. Как в векторной, так и в растровой модели информация о пространственном положении объектов хранится либо в виде широты/долготы, либо в какой-либо картографической проекции, либо в местной системе координат.

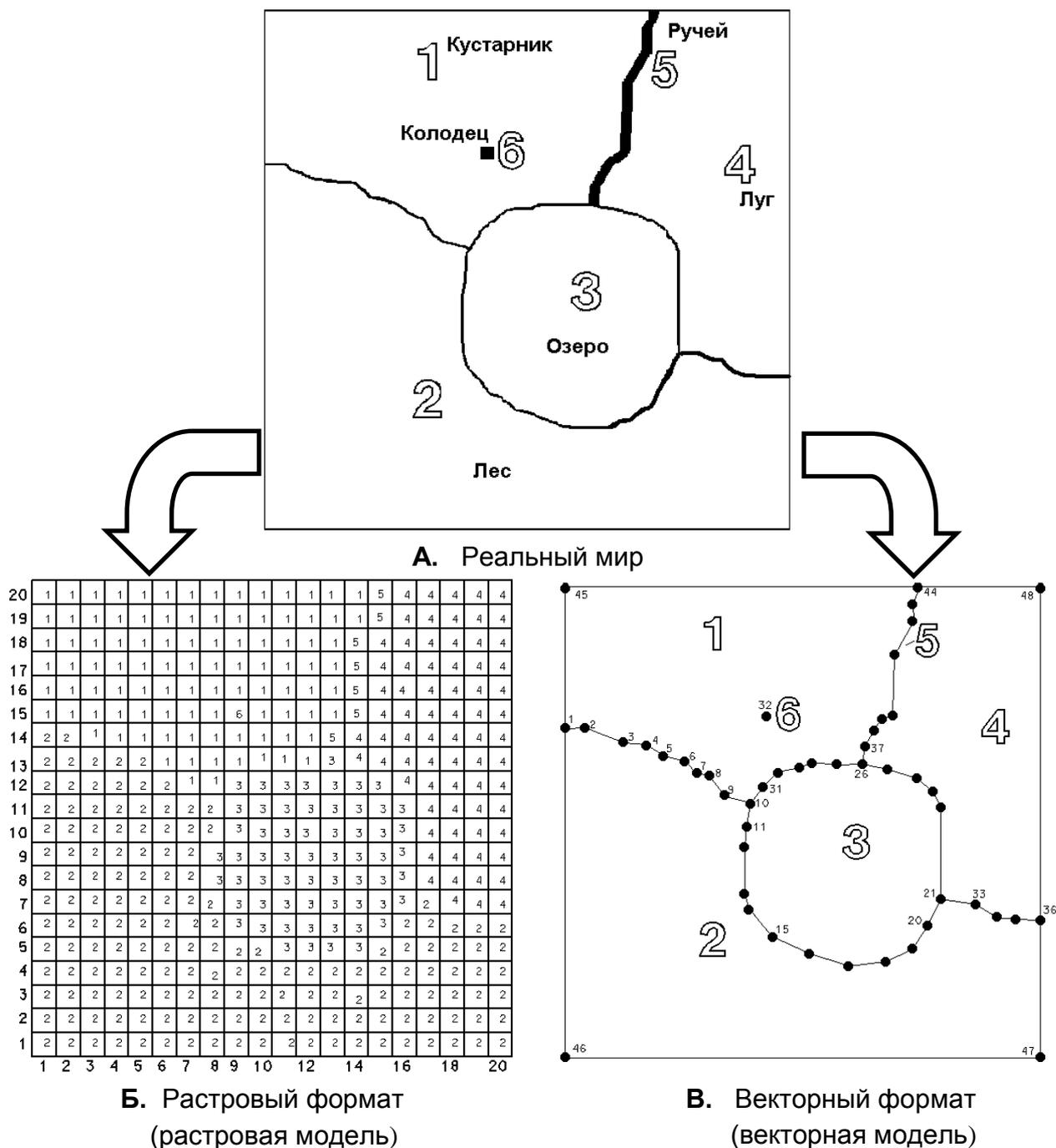


Рис. 2.5. Растровая и векторная модели реального мира

Главное различие между векторной и растровой моделями состоит в том, как эти модели представляют пространство. Для представления пространственных объектов растровая модель использует плоскостное или объемное перечисление, а векторная – изображение границ объектов. Иными словами растр описывает объекты непосредственно, а векторная

модель хранит информацию только о границах объектов. В табл. 2.4 [25] представлено сравнение рассматриваемых подходов по ряду критериев.

Таблица 2.4

Сравнение растровой и векторной моделей

Критерий сравнения	Растровая	Векторная
Сбор данных	Быстрый	Медленный
Объем данных	Большой	Маленький
Манипулирование графическими элементами	Среднее	Хорошее
Структура данных	Простая	Сложная
Геометрическая точность	Низкая	Высокая
Возможности анализа на сетях	Слабые	Хорошие
Возможности анализа перекрытия областей	Хорошие	Средние
Геометрическая генерализация	Простая	Сложная

Растровая модель хорошо подходит для представления явлений реального мира, имеющих непрерывное распределение, например температуры поверхности Земли. Растр – набор прямоугольных (чаще всего квадратных) ячеек (пикселей), может быть представлен как прямоугольная матрица чисел, подобно двумерным массивам в языках программирования. Для хранения информации в растровой модели можно пользоваться простой файловой структурой с прямой адресацией каждого пикселя. Растровая модель широко используется при непосредственной обработке и анализе цифровых изображений, полученных по данным дистанционного зондирования Земли, а также для решения многих прикладных задач, в частности мониторинга состояния окружающей среды.

При моделировании пространства в растровом формате основные сложности связаны с тем, что пространственные объекты могут быть представлены с большой точностью только за счет уменьшения размера пикселя, что ведет к увеличению стоимости хранения информации. Пространственное разрешение растра представляет собой размер пикселя на поверхности Земли. При разрешении в 25 метров квадратная область со стороной 100 км требует растра 4000x4000 или $16 \cdot 10^6$ пикселей. При использовании 1 байта на пиксел такое растровое изображение будет занимать

16 Мб. Это достаточно большой объем, и требования к памяти возрастают экспоненциально с ростом разрешения, поэтому в растровых моделях применяются алгоритмы сжатия и специальные структуры данных, такие как лексико-графический код, квадротомические деревья или код Фримана и т. д. Представление пространственной информации в растровом формате требует обычно большего объема памяти, чем в векторном.

При использовании растровой модели операции по сопоставлению и перекрытию разнообразной пространственной информации об одной территории могут быть проведены непосредственно без каких-либо сложных геометрических вычислений. При этом в характерном для ГИС послойном представлении информации каждый растровый слой представляет отдельный атрибут (рис. 2.6) [25]. Положение ячейки адресуется номером строки и столбца, поэтому пространственные координаты для каждой ячейки не запоминаются, а хранится число колонок и строк плюс географическое положение первой ячейки (угловой). Таким образом, основное преимущество растрового представления состоит в слиянии графической и атрибутивной информации в единой регулярной структуре.

В растровом формате точечные объекты представляются единичным пикселом, а линейные – строкой связанных пикселов. Размер пиксела фиксируется во время создания раstra и может оказаться слишком большим, поэтому некоторые детали могут быть потеряны. Растровое представление удобно для решения таких задач, как запрос о соседстве, пространственной фильтрации, и, конечно, для операций перекрытия двух и более растровых слоев (изображений). Растровая форма представления хорошо подходит для моделирования пространственной непрерывности, особенно если соответствующий атрибут имеет высокую степень пространственной изменчивости. Такие ситуации часто возникают при обработке спутниковых изображений. Также растр является идеальной формой для представления пространственных градиентов.

В векторной модели линии образуются в результате соединения последовательности точек или вершин, представленных в виде упорядоченных пар пространственных координат, откуда и название "векторный". Если в БД координаты выражаются числами с большим количеством значащих цифр, то объекты сложной формы могут быть представлены практи-

чески как угодно точно за счет более близкого расположения вершин, определяющих границу объекта.

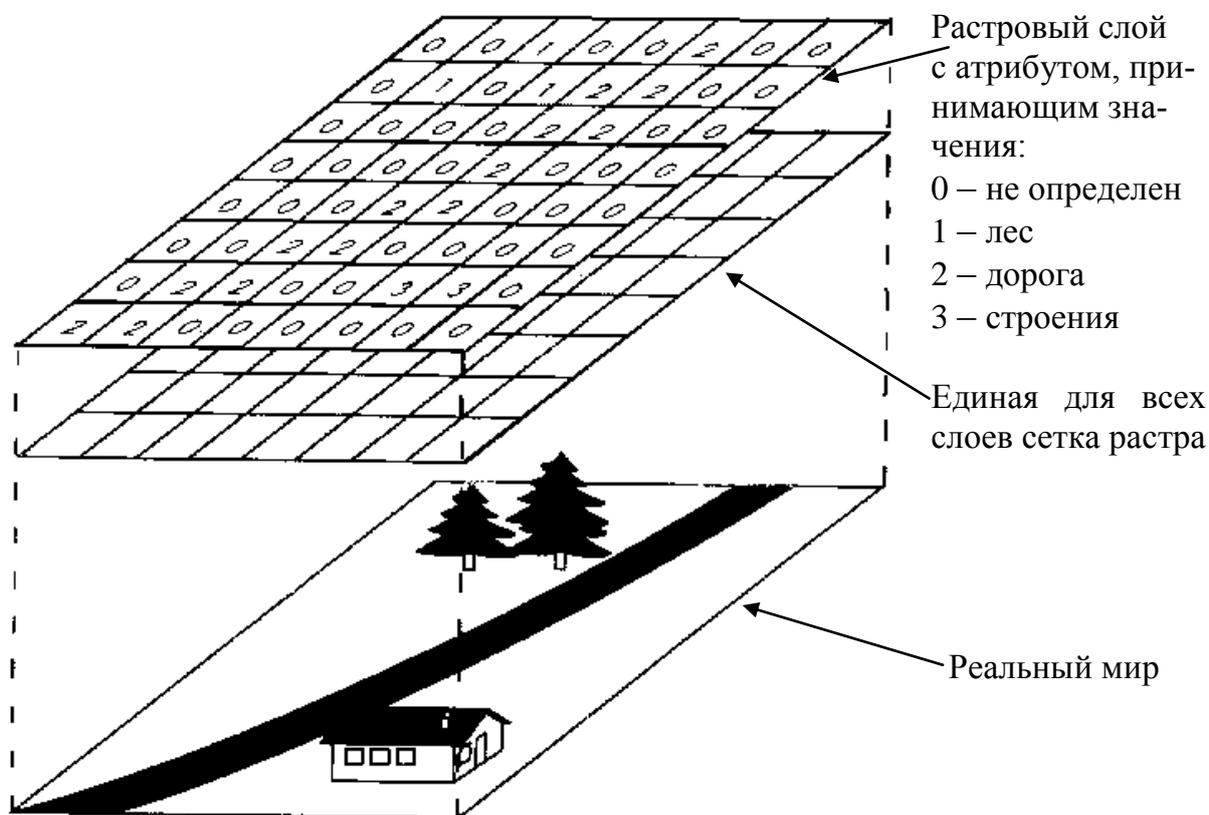


Рис. 2.6. Слои в растровом формате

В ПО ГИС, использующем векторные модели, графические данные организованы различными способами. Организация данных определяется в соответствии с предполагаемыми целями их использования, а также способом сбора и хранения. Специальные атрибуты могут хранить дополнительную информацию относительно местоположения, топологии и геометрии пространственных объектов. При этом модели данных усложняются, и получают характерные названия, например векторный топологический формат. В современном ПО ГИС топологические атрибуты могут формироваться автоматически при создании графической части БД ГИС. Как уже указывалось, основной способ хранения информации в векторной модели данных – так называемая, модель "спагетти" (рис. 2.7). Соответствующие цифровые графические изображения могут быть легко масштабированы и трансформированы к любой картографической проекции. В настоящее

время для работы с моделью данных спагетти доступен широкий спектр ПО ГИС, использующего геореляционную схему организации БД. При этом с помощью идентификаторов обеспечивается связь графического изображения пространственного объекта с атрибутивной информацией. При использовании векторного формата легко может быть реализовано графическое отображение пространственных объектов в зависимости от связанных с ними атрибутов, например, линии могут отображаться с разной толщиной, а полигоны – с заливкой разного цвета и типа.

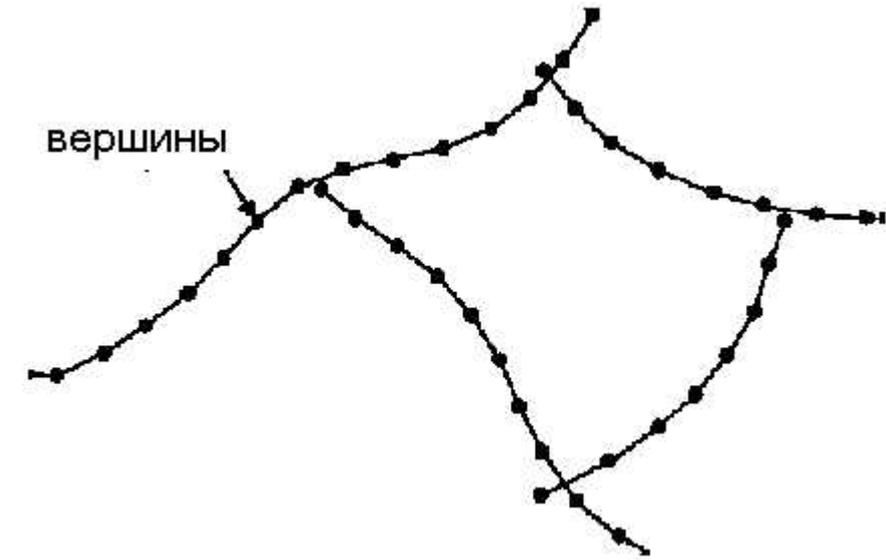
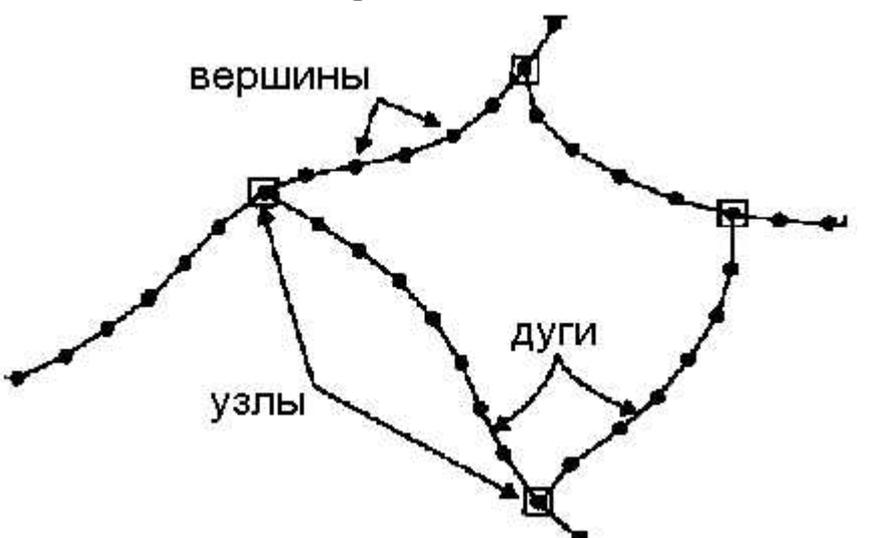
<p>Модель спагетти</p> 	<p>Таблица координат вершин для каждого объекта (X, Y):</p> <p>$X_1 \quad Y_1$</p> <p>$X_2 \quad Y_2$</p> <p>•</p> <p>•</p> <p>•</p> <p>$X_n \quad Y_n$</p>
<p>Топологическая векторная модель</p> 	<p>Таблица координат вершин (X, Y) и для каждого объекта список составляющих его дуг, узлов (топологические атрибуты)</p>

Рис. 2.7. Векторные модели, используемые в ГИС

При решении многих задач необходимо использование топологических характеристик для представления пространственных отношений между объектами. Для этого служит топологическая векторная модель (рис. 2.7), чье ключевое отличие от модели спагетти состоит в дополнении этой модели специальными атрибутами, представляющими топологические связи между объектами [26]. В топологической модели границы полигонов разбиваются на серию дуг и узлов, и пространственные отношения между дугами, узлами и полигонами подробно определяются в атрибутивной таблице. В модели спагетти, граница между двумя соседними полигонами представлена дважды, по одному разу для каждого полигона. Такая ситуация приводит к неэффективному использованию памяти за счет двойных границ, которые могут частично не совпадать. Топологическая модель специально применяется для предотвращения таких ситуаций – границы никогда не повторяются, и полигоны, лежащие справа и слева от каждой дуги, определены однозначно.

Следует отметить, что не существует единого подхода к реализации топологии в ПО ГИС. Использование модели спагетти не дает полной уверенности в том, что полигоны полностью заполняют некоторое пространство. Для топологической модели наоборот, обычно вводится понятие пространственного заполнения (или принуждения), которое позволяет целиком заполнять полигонами некоторую область (не позволяет существовать "дыркам"). Топологические атрибуты пространственных объектов при проведении различных графических трансформаций остаются неизменными, хотя координаты и такие пространственные характеристики, как площадь, могут изменяться. При этом следует учитывать, что на построение топологии затрачивается дополнительное компьютерное время не только при вводе данных, но и при редактировании.

Резюме

1. ГИС-технологии предоставляют широкие возможности для формирования и формализации (моделирования) реального мира.
2. Реальность, с которой имеют дело ЛПР, является нерегулярной и постоянно изменяется, а восприятие реального мира является субъектив-

ным, зависящим от пользователя (наблюдателя) и задач, которые он решает в рамках своей организации.

3. Моделированием называется процесс интерпретации реальности, который устанавливает соответствие между реальным миром и моделью данных.

4. Процессы и явления реального мира представляются в ГИС только на основе ряда формализованных моделей, среди которых выделяют концептуальную, аналитическую, пространственных данных, базы данных, физическую вычислительную, манипулирования данными и графическую.

5. Для представления географических процессов и явлений реального мира в среде ГИС необходимо отразить две основных сущности: *что* представляется и где *это* находится.

6. При переходе к работе в среде ГИС необходимо сделать принципиальный выбор между двумя различными взглядами на реальный мир: воспринимать окружающий мир как пространство, состоящее из дискретных примитивов, или воспринимать окружающий мир как набор непрерывных геополей.

7. Примитив – это явление реального мира, которое невозможно разделить на явления того же самого типа. Любой примитив состоит из классификационного типа, атрибутов и отношений.

8. Наиболее распространенная и известная на сегодняшний день модель организации связи пространственной (графической) и атрибутивной информации – это геореляционная. В этом случае пространственный компонент БД ГИС организован по-своему, а атрибутивный – по-своему, и между ними устанавливаются и поддерживаются связи через идентификатор пространственного объекта.

9. В ГИС для пространственных объектов используются две основных модели данных – растровая и векторная. Для представления пространственных объектов растровая модель использует плоскостное или объемное перечисление, а векторная – изображение границ объектов.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. В чем особенности моделирования реального мира в среде ГИС?
2. Какие две основные концептуальные модели используются в ГИС-технологиях и в чем состоят их отличия?

3. Расскажите о процессах моделирования и представления реального мира в среде ГИС.

4. Какая существует связь между примитивами в модели реального мира и объектами в модели базы данных ГИС?

5. Расскажите о геореляционной схеме организации БД ГИС.

6. В чем основные преимущества растровой модели?

7. Что такое векторная топологическая модель и чем она отличается от модели "спагетти"?

ТЕМА 3. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИС

- 3.1. Источники информации для формирования БД ГИС
- 3.2. Использование существующих ГИС-данных
- 3.3. Оцифровка
- 3.4. Использование Глобальной Системы Позиционирования
- 3.5. Данные дистанционного зондирования

Ключевые термины Информационное обеспечение ГИС-проектов, первичные и вторичные, цифровые и нецифровые источники информации, Система Глобального Позиционирования (GPS), использование существующих БД ГИС, масштабный ряд топографических карт, оцифровка, технология оцифровки по растровой подложке, сканирование карт, данные дистанционного зондирования, активное и пассивное зондирование.

3.1. Источники информации для формирования БД ГИС

В настоящее время для наполнения БД ГИС используются данные из широкого спектра источников. Среди них выделим бумажные топографические карты, данные из всевозможных регистров и кадастров, изображения Земли, полученные с космических аппаратов и низколетящих самолетов, статистические данные, фотографии, данные из САД-систем, а также данные архивов, полученные, в том числе, через Интернет и другие сети. При этом возможности интеграции данных из различных источников, на основе единой пространственной привязки, являются одними из наиболее привлекательных особенностей ГИС-технологий, которые расширяют круг пользователей ГИС. В последние годы эти возможности активно развиваются и совершенствуются путем расширения функций ПО ГИС по обработке и интеграции все новых и новых источников данных, в том числе мультимедийных [17].

Совершенно очевидно, что удачное структурирование и организация БД определяет их практическую значимость, а значит успех и экономические характеристики любого ГИС-проекта. Следовательно, при выборе источников информации для формирования БД ГИС основной характеристи-

кой, по которой должны оцениваться соответствующие данные, должно быть наличие структуризации, подходящей для конкретной управленческой задачи. В случае отсутствия в данных, предполагаемых для использования в ГИС-проекте, требуемых характеристик необходимо либо использовать другие источники, либо преобразовывать существующие структуры в более подходящие, с тем чтобы превратить данные в информацию, полезную для пользователя. Кроме того, как уже указывалось, наличие человеческого фактора накладывает определенные ограничения, которые ведут к тому, что, например, данные, собранные для какого-либо одного ГИС-приложения, даже в рамках одной организации могут быть бесполезными для других приложений.

Формирование БД ГИС обеспечивается наличием в составе программно-аппаратного комплекса ГИС специализированных средств ввода-вывода. С помощью этих средств организовывается информационное обеспечение ГИС-проектов. Соответствующее ПО может включать модули работы со сканерами, электронными геодезическими приборами, интеллектуальные модули по автоматическому распознаванию объектов на космических снимках [16]. ПО ГИС обеспечивает автоматическую или ручную векторизацию растровых изображений, обязательно включает средства геометрической коррекции и перехода от одной картографической проекции к другой, а также средства контроля качества пространственных данных. Обязательным элементом ПО ГИС является графический редактор. Также в ПО ГИС могут присутствовать алгоритмы картографической генерализации и проверки топологической корректности.

Наполнение атрибутивно-графической БД ГИС обеспечивается также за счет наличия в составе ПО ГИС модулей преобразования пространственной геоинформации, созданной в форматах другого ПО ГИС, которые нельзя напрямую использовать в данной конкретной ГИС. В состав соответствующих модулей импорта/экспорта входят возможности по преобразованию наиболее распространенных форматов: для графической информации часто используется DXF-формат фирмы Autodesk; атрибутивно-графической информации с сохранением проекций и структуры БД ГИС часто используются форматы MapInfo (MIF/MID) и ESRI (шейп-файлы);

атрибутивной информации часто используется текстовый формат, или DBF.

Итак, когда говорят об информационном обеспечении ГИС, то под этим термином понимают усилия, которые направлены на сбор данных в цифровой форме и создание пространственной БД. При этом в БД ГИС вся атрибутивно-графическая информация, различные изображения, а также необходимые справочные таблицы должным образом организованы, структурированы и пространственно привязаны. Источники информации для наполнения БД ГИС можно классифицировать по двум признакам. Во-первых, являются ли эти источники первичными или вторичными, а во-вторых, цифровыми (т. е. хранящимися в файле определенного формата) или нецифровыми.

В основном при создании БД ГИС используются вторичные источники. Соответствующая вторичная информация ранее уже была когда-либо получена, обработана и сохранена. К вторичным источникам относятся, в первую очередь, географические карты (в основном бумажные, т. е. нецифровые), таблицы (чаще цифровые) и изображения (в основном цифровые). Наполнение БД ГИС информацией, даже имеющей цифровую форму, тем не менее требует разработки специальных методов для преобразования, с целью удовлетворения специфическим требованиям конкретного ГИС-проекта [22]. ПО ГИС имеет в своем составе стандартные средства преобразования данных, однако их применение требует учета некоторых общих методологических принципов.

Сбор первичных географических, гидрологических, метеорологических и других данных осуществляется с помощью широкого спектра приборов и часто в цифровом виде. Измерения проводятся в некоторых характерных точках, называемых "точками взятия образцов" (sample points). При этом значения характеристик пространственных объектов (атрибутов) фиксируются или сразу ("в поле"), или после лабораторного анализа. Традиционные методы определения графической компоненты БД ГИС основаны на привязке географического местоположения точек взятия образцов к видимым ориентирам на местности, которые показаны на базовой топографической карте. К самым современным методам определения местоположения следует отнести использование приемников Глобальной Системы

Позиционирования (Global Position System – GPS), которые с помощью сигналов, принимаемых с искусственных спутников Земли (космических аппаратов), могут определить свои координаты на поверхности Земли с точностью до сантиметра (см. разд. 3.4). Широкое применение также находят так называемые "полевые" компьютеры, совмещенные с измерительными приборами (например электронными тахеометрами), которые позволяют оперативно формировать атрибутивно-графическую базу данных ГИС непосредственно при обследовании территории.

Множество первичных данных поступает с борта искусственных спутников Земли [5, 16]. Космические аппараты (КА) сканируют и фотографируют поверхность Земли из космоса и передают эти данные на Землю. На основе данных с КА имеется возможность формировать информацию об определенной характеристике поверхности Земли. Это может быть, например температура, возвышение над уровнем моря, тип растительного покрова в равномерно распределенных квадратных ячейках 30м x 30м.

После того как первичные данные интерпретированы, отредактированы и обработаны, они становятся вторичными. Среди источников вторичной информации для наполнения БД ГИС чаще других привлекаются картографические и статистические данные, а также данные земельного кадастра. Последние имеют то существенное преимущество, что обладают юридической легитимностью. Широкое применение различных тематических географических карт как источников исходных данных для формирования БД ГИС обусловлено тем, что объекты на таких картах уже имеют пространственную привязку и их атрибуты могут быть определены по легенде к карте. В связи с этим во всем мире тратятся огромные средства на преобразование бумажных карт в цифровые БД ГИС.

Географические карты всегда являются некоторой интерпретацией первичных данных о реальном мире, которые имелись в распоряжении ее составителя. В некоторых случаях это бывает не совсем удобно. Например, на топографических картах рельеф изображается в виде изолиний, которые проводятся на основе результатов полевых обследований (первичных данных) по определению возвышений в некотором наборе точек на местности. Последние больше подходят для формирования БД ГИС, поскольку пользователь ГИС в таком случае может сам с помощью ПО ГИС выбрать под-

ходящую для себя модель для представления поверхности Земли на основе первичных данных и построить изолинии с требуемой густотой.

Другая проблема заключается в том, что не всегда информация, сформированная в одной организации, может пригодиться в другой. Ее полезность определяется тем, какие при этом использовались стандарты, модели, структуры данных и т. д. Проблема унификации данных широко обсуждается и дискуссия еще далека от завершения. Например, в России с 2007 года действует национальный стандарт на совместимость пространственных данных, формируются нормативные документы по формированию инфраструктуры пространственных данных [13]. Таким образом, формирование БД на основе первичной информации является предпочтительным, однако следует учитывать, что и первичная информация зачастую подвергается предварительной обработке, например для фильтрации искажений атмосферы при использовании космических снимков. В этой связи современные подходы требуют, чтобы для всех наборов данных ГИС создавались бы метаданные – данные о данных.

3.2. Использование существующих ГИС-данных

Один из достаточно простых методов формирования БД ГИС для обеспечения информационной поддержки принятия управленческих решений заключается в приобретении данных в других организациях. Следует учитывать также, что в этих организациях ГИС-данные могли создаваться для совершенно других целей и поэтому иметь структуру, не подходящую для непосредственного использования. Однако важным аргументом в пользу приобретения данных в других организациях является то, что существующие данные для БД ГИС, и в первую очередь цифровые карты, обычно могут быть приобретены за суммы значительно меньшие, чем требуется для их создания собственными силами [17, 32].

В настоящее время в Российской Федерации цифровые карты можно приобрести у многих поставщиков в самых разнообразных форматах [31]. Так, например, в организациях Роскартографии созданы и распространяются цифровые топографические карты на территорию нашей страны масштабов 1:1 000 000 (1 см карты = 10 км местности) и 1:200 000 (1 см карты = 2 км местности). Эти цифровые карты созданы на основе издательских оригиналов традиционных бумажных топографических карт, на

которых картах поверхность Земли изображена по строго определенным правилам со стандартными легендами. Указанные карты являются подробными общегеографическими картами, отображающими размещение и свойства основных природных, а также социально-экономических явлений. Для эффективного использования данного информационного ресурса необходимо знать основные характеристики этих карт, которые и представлены ниже.

Каждая топографическая карта изображается в рамке строго определенного размера на одном листе в заданном масштабе и проекции. Система деления топографических карт на листы называется разграфкой. Номенклатура карты служит для установления "адреса" листа карты, т. е. соответствия между углами листа карты и местоположением на поверхности Земли. Разграфка и номенклатура масштабного ряда всех топографических карт России основана на разграфке и номенклатуре листа карты масштаба 1:1 000 000 (табл. 3.1). Размер одного листа карты М 1:1 000 000 составляет 4° по широте и 6° по долготе. Четырехградусные полосы по широте называются рядами и обозначаются заглавными буквами латинского алфавита от экватора к северу и югу – в каждом полушарии по 22 ряда. Шестиградусные полосы по долготе называются колоннами и нумеруются арабскими цифрами с запада на восток (рис. 3.1).

В табл. 3.2 представлены данные руководителя Роскартографии на апрель 2006 года о картообеспеченности территории России. Как можно заметить, актуальность существующих карт оставляет желать лучшего.

Согласно приказу по Министерству транспорта Российской Федерации от 30 августа 2007 года N 104-пр стоимость цифровой топографической карты М 1:200 000 из архива составляет до 4839 рублей за номенклатурный лист. Карты поставляются с подробным описанием слоев и атрибутов пространственных объектов. Состав слоев в картах, которые могут поставляться в различных форматах, например, MapInfo (MIF/MID), следующий: математическая основа; рельеф; гидрография; справочная информация; населенные пункты; социально-культурные объекты и промышленность; дорожная сеть; растительный покров; границы и подписи.

Таблица 3.1

Разграфка и номенклатура листов топографических карт

Масштаб	На сколько частей делится лист М 1:1 000 000	Дополнительное обозначение листа	Пример номенклатуры	Размер рамок		Средняя площадь листа на широте 54°, км ²
				по широте	по долготе	
1:1 000 000	-		N-36	4°	6°	175104
1:500 000	4	A...Г	N-36-Г	2°	3°	43776
1:200 000	36	I...XXXVI	N-36-III	40'	60'	4864
1:100 000	144	1...144	N-36-3	20'	30'	1216
1:50 000	576	A...Г	N-36-11-Г	10'	15'	306
1:25 000	2304	a...г	N-36-11-Г-a	5'	7'30"	76
1:10000	9216	1...4	N-36-11-Г-a-1	2'30"	3'45"	19

Небольшой город или муниципальное образование может истратить сотни тысяч рублей на создание новой цифровой топографической карты для использования ее в качестве базовой картографической основы ГИС. Но, с другой стороны, можно приобрести за гораздо меньшие суммы существующие пространственные БД, содержащие ту же самую тематическую информацию, например, дороги, гидрографическую сеть, топографию, строения и растительность, и имеющие тот же самый пространственный охват. Однако следует учитывать, что для существующих цифровых картографических данных, вероятно, будут характерны более низкая горизонтальная и вертикальная точность, недостаточная актуальность информации (см. табл. 3.2), а также отсутствие некоторых деталей [25].

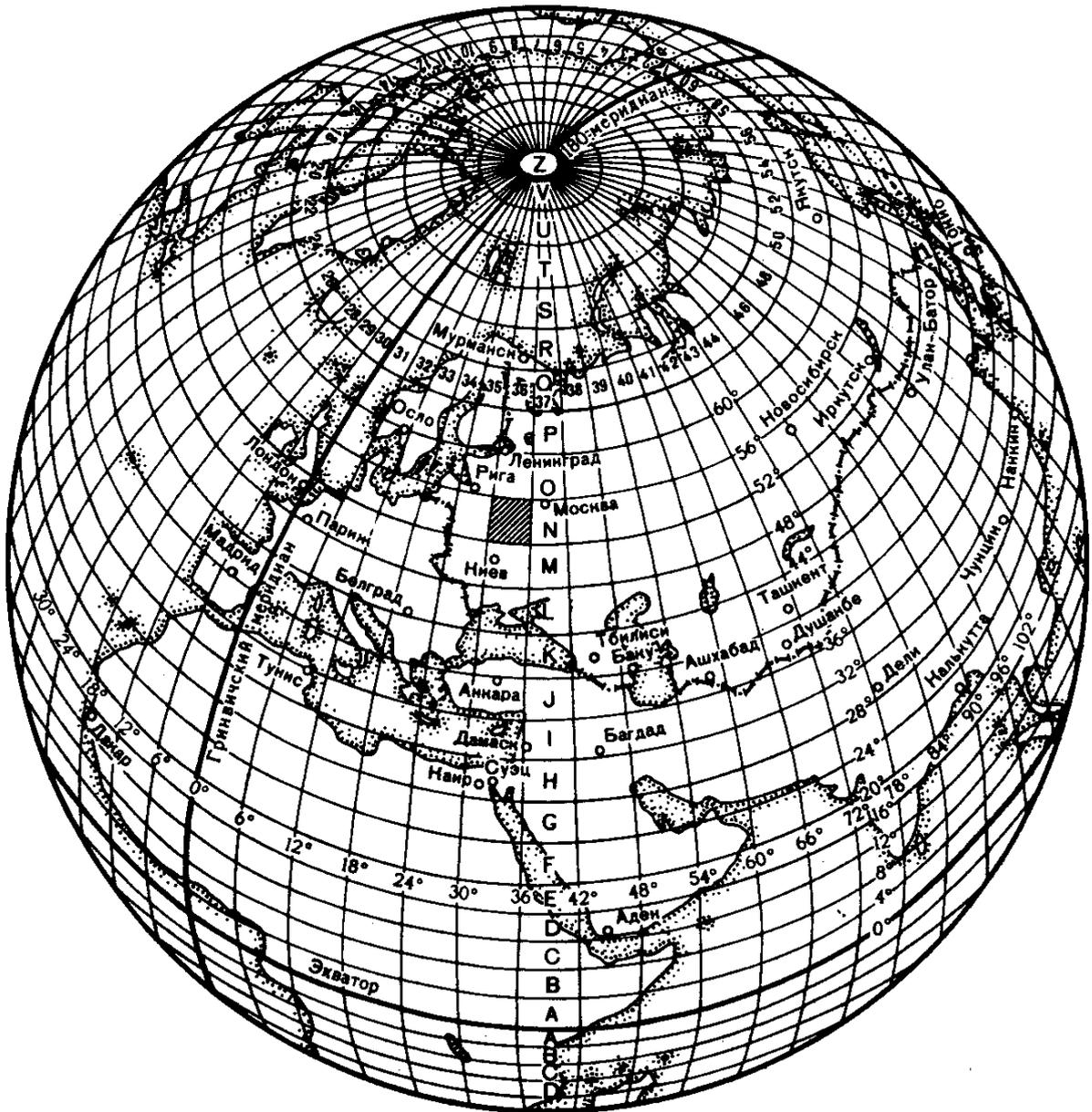


Рис. 3.1. Схема разграфки и номенклатуры листов карты масштаба 1:1 000 000 (для Северного полушария). Заштрихован лист N-36

В связи с указанными обстоятельствами многие менеджеры начинают реализацию ГИС-проектов на основе существующих цифровых карт, в первую очередь, из-за их относительно низкой цены. В дальнейшем руководители ГИС-проектов планируют дополнять и улучшать БД ГИС более точными и более детальными данными. Однако следует учитывать, что подобная стратегия может привести к тому, что общая стоимость БД ГИС будет больше, чем просто покупка более точных данных с самого начала.

Тем не менее постепенный, пошаговый подход к построению БД ГИС является популярным. Привлекательность этого подхода не только в том, что в данном случае предполагается невысокий уровень начальных инвестиций. Подобный подход помогает быстрее получать видимый результат от ГИС-проекта, а значит и поддержку руководства.

Таблица 3.2

Картообеспеченность территории России

Масштаб топографических карт	Количество номенклатурных листов	Актуальность карт (от количества)	Общее кол-во карт в электронном виде
1:10 000	247 660	15%	отд. участки
1:25 000	201 442	30%	менее 5%
1:50 000	50 792	27%	5%
1:100 000	13 129	26%	20%
1:200 000	3 543	31%	100%
1:500 000	488	22%	менее 5%
1:1 000 000	148	18%	100%
ТПГ 1:10 000	418 городов	10%	5%
ТПГ 1:25 000	72 города	10%	5%

В качестве примера проанализируем задачу о выборе картографической основы для ГИС-проекта уровня муниципального образования. Одна из основных проблем связана с точностью карты-основы, которая будет использоваться в ГИС-проекте для обеспечения общей координатной привязки. Для этого необходимо сравнить точность, требуемую для поддержания типичных приложений, и стоимость высокой точности ввода. Технически ПО ГИС способно обеспечить очень высокую точность, но на практике для муниципальных ГИС редко требуется точность более 1–2 метров. Данные сравнительно низкой точности позиционирования достаточны для большинства сфер применения в качестве средства информационной поддержки принятия управленческих решений при ведении бизнеса в городе. Например, поддержка планирования развития сети кафе или магазинов, подготовка обзоров экономического развития, оценка состояния окружающей среды, многочисленные транспортные задачи и административные функции – все это не требует точности более 5–10 метров. При этом увеличение точности от 5–10 метров до 1–2 ведет к десятикратному

росту стоимости за счет перехода от обычных данных к данным фотографии и т. д. Улучшение точности до 0,5 метров увеличивает стоимость еще на порядок.

Представленное обсуждение позволяет сделать вывод о том, что построение БД ГИС "с нуля" требует значительных затрат денежных средств и времени. Альтернативно при построении БД ГИС на основе существующих атрибутивно-графических данных пользователь может приступить к эксплуатации ГИС быстрее [22]. Кроме того, оперативная демонстрация определенных достижений обеспечит поддержку со стороны менеджеров более высокого уровня в дополнительном финансировании ГИС-проекта.

Административные органы различного уровня, так же как и коммерческие организации, компании, собирают и продают ГИС-данные. За рубежом такие данные зачастую имеют символическую цену и распространяются через Интернет, в том числе и бесплатно. Типичным примером подобных ресурсов являются сайты организаций GeoWorld (www.geoplace.com) и Open Geospatial Consortium (www.geospatial.org). Следует учитывать, что использование ГИС-данных ограничено областью ответственности соответствующей организации, формат также будет зависеть от организации-поставщика. Однако почти всегда эти данные доступны в одном из популярных форматов обмена – Autodesk (DXF), MapInfo (MIF/MID) или ESRI (шейп-файлы).

3.3. Оцифровка

Оцифровка (цифрование) – это процесс преобразования (путем обводки) карты на бумажной основе в цифровой компьютерный формат. Данный термин был придуман для описания процесса формирования БД ГИС на основе традиционной карты на бумажной основе. Огромные объемы информации для векторных ГИС формируются именно таким методом. В 70 – 80-х годах XX века оцифровка проводилась с помощью дигитайзеров, представляющих собой устройство, позволяющее регистрировать местоположение, указанное на его поверхности. Эта возможность обеспечивалась за счет того, что поверхность дигитайзера покрыта сенсорами. Перед оцифровкой бумажная карта укреплялась на поверхности дигитайзера. Если устройство указания помещалось в некоторое место на карте, а значит и на поверхности дигитайзера, то при нажатии кнопки информация о

положении указателя заносилась в БД ГИС. Оператор определял тип и атрибуты элемента, положение которого он указывал, т. е. БД ГИС формировалась на основе информации "считываемой" с карты. От названия устройства (дигитайзера) появилось общее название для преобразования карт на твердых носителях (в основном бумажных) в цифровые данные – дигитализация (оцифровка) [6, 18]. Опыт показывает, что наиболее подходящей является технология оцифровки "по растровой подложке" (рис. 3.2).

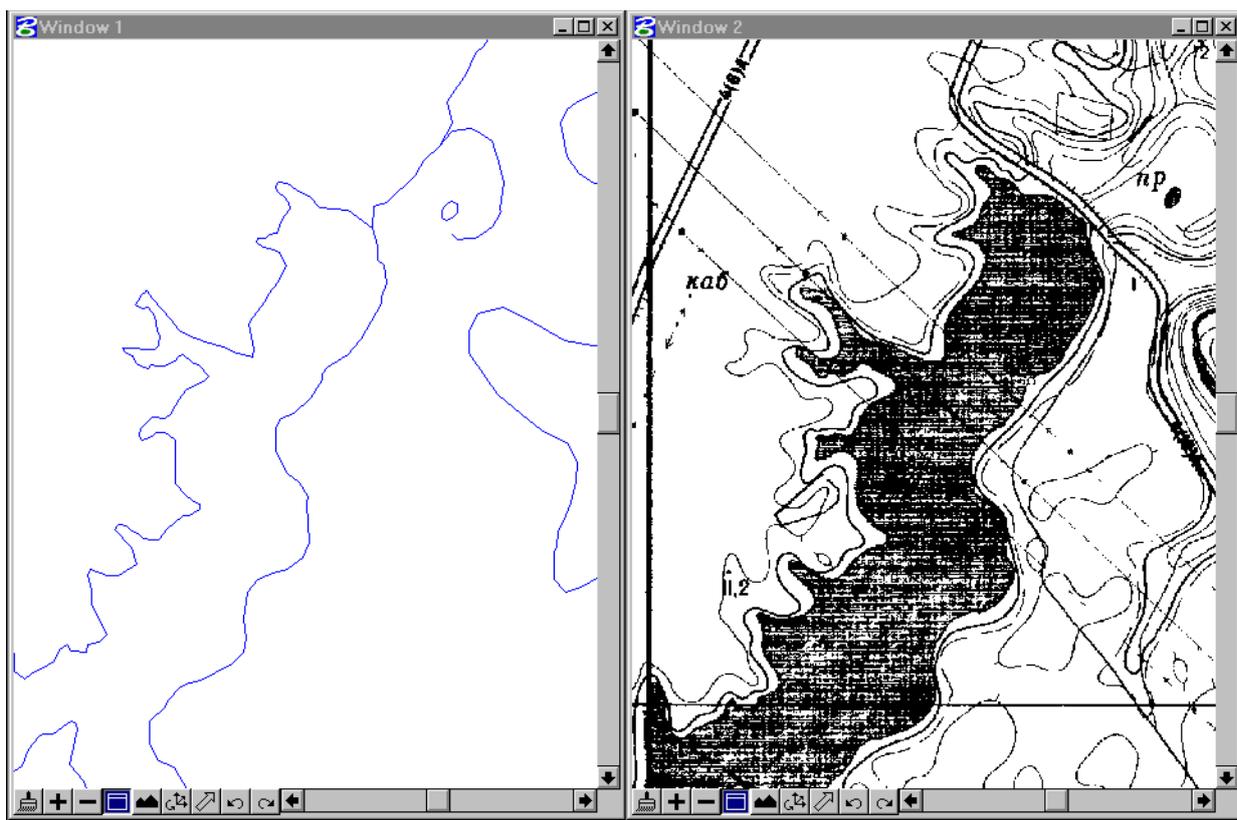


Рис. 3.2. Технология оцифровки по растровой подложке: Window1 – векторный слой гидрографии. Window2 – сканированное растровое изображение карты

Данная технология состоит в следующем. Карта на твердом носителе, чаще всего бумажном, с помощью специального устройства – сканера преобразовывается (сканируется) в растровое изображение, цветное или черно-белое. Данное изображение в среде ГИС трансформируется к нужной проекции и масштабу. Затем оператор (на экране компьютера) формирует (обводит) пространственные объекты в соответствии с принятой моделью данных. Часть таких операций рисования может проводиться в ав-

томатическом режиме с помощью специального программного обеспечения – векторизатора. Такой процесс детально разработан теоретически, а также проанализированы типичные ошибки и методика их исправления.

Используемые в технологии оцифровки по растровой подложке сканеры содержат множество световых сенсоров, которые преобразовывают карту на бумажной основе в большой массив точек, во многом так же как в факсимильном аппарате, сканирующем письмо. Рассмотрим, например, процесс сканирования в черно-белом виде. Качественная картина изменения уровня сигнала (уровень "серого"), поступающего на сенсор, изображена на рис. 3.3 [28]. Пики появляются при прохождении через темную линию на карте, а базовая область соответствует светлым областям. В общем случае для каждой карты проводится тестирование для установки правильного уровня серого для четкого распознавания линий.

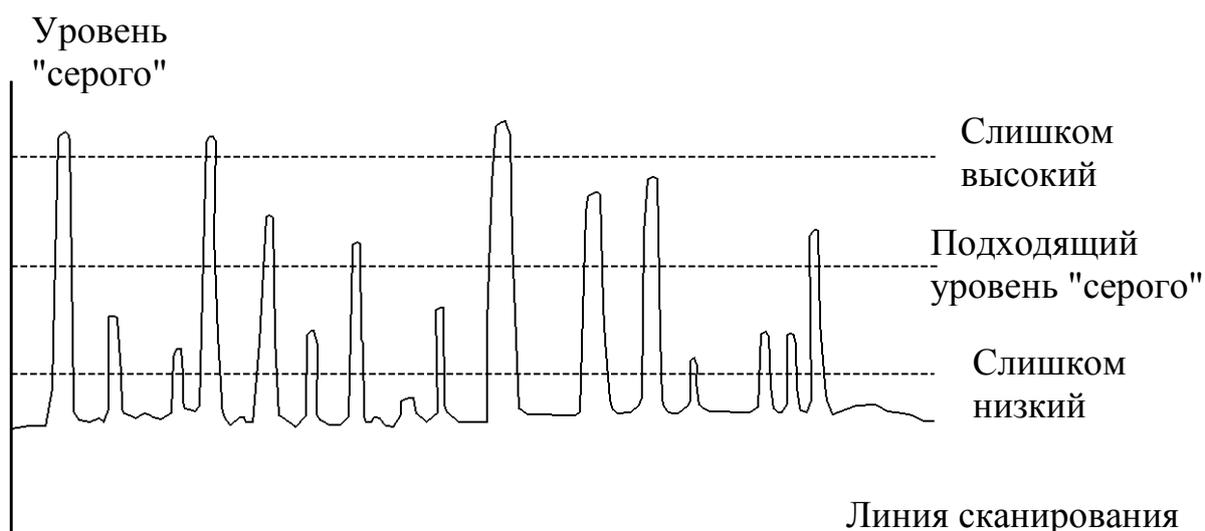


Рис. 3.3. Качественная картина изменения уровня серого цвета вдоль линии сканирования

Сканеры с высоким разрешением могут воспринимать данные с разрешением более 2000 точек на дюйм – dot per inch (dpi). Однако карты и изображения для использования в целях формирования БД ГИС обычно сканируют с разрешением 100–400 dpi. Для изображения карты также подбираются подходящие яркость и контрастность. Следующий шаг – растровое изображение карты привязывается к координатной системе БД ГИС (рис. 3.4). Суть такой привязки в том, что формируется таблица соответ-

ствия между набором контрольных точек на растровом изображении и их пространственным положением в выбранной координатной системе. Далее на экране компьютера отсканированная карта отображается в соответствии с общей пространственной привязкой БД ГИС и может рассматриваться как слой в БД ГИС. При отображении такого изображения карты на экране компьютера у оператора появляется возможность обводить картографические элементы вручную для получения векторного изображения. Данный процесс и называется ручной векторизацией по растровой подложке.

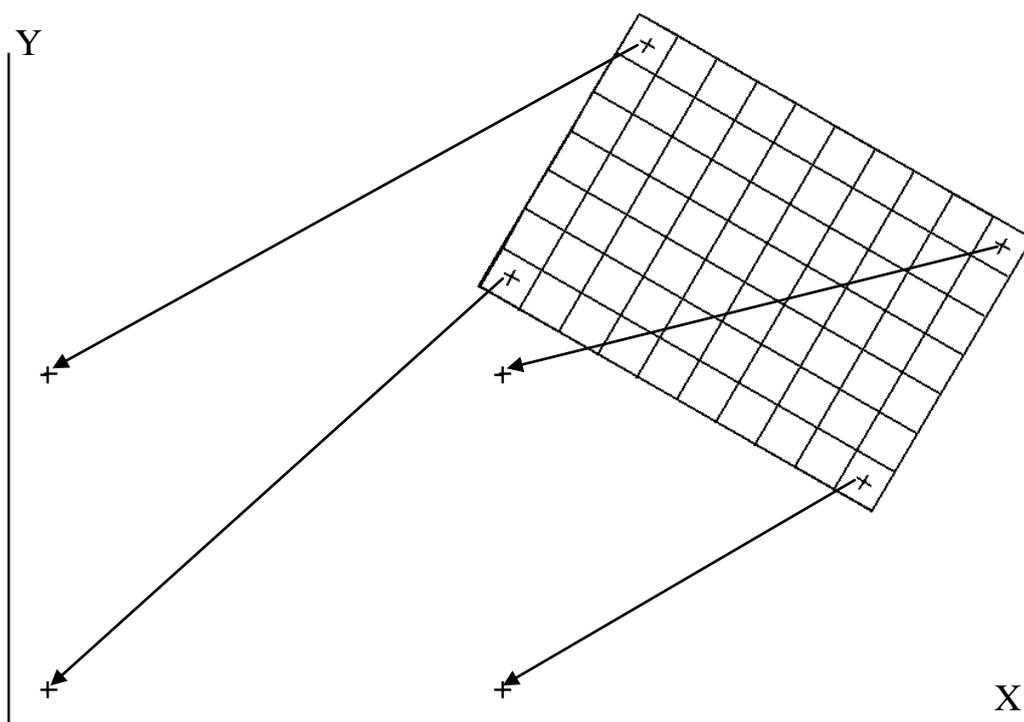


Рис. 3.4. Трансформация растрового изображения карты для привязки к координатной системе БД ГИС

Существует специальное ПО для ускорения процесса оцифровки. Это ПО автоматически распознает определенные элементы на растровом изображении (линии или символы) и строит цепочку точек вдоль них. Однако такое распознавание всегда сопровождается некоторым количеством ошибок, а сам процесс требует специальных инструкций. Обычно после автоматической векторизации требуется определенный объем "ручной" работы по оцифровке и исправлению ошибок [18].

Другой способ оцифровки называется "ввод данных по ключевым точкам", применяется в том случае, если данные описывающие объекты реального мира, представляют собой текстовое описание пространственного положения этих объектов. Это может быть список координат характерных точек описываемых объектов. Примером таких данных могут служить данные геодезической съемки, проводимой для целей кадастровой регистрации земельных участков. Подобные данные, записываемые в специальный документ – межевое дело, содержат координаты узловых и поворотных точек, а также направление и длину каждого отрезка границы земельного участка. В таком случае координаты точек, определяющих границы объектов, сначала вводятся с помощью клавиатуры компьютера, а затем с помощью специального программного обеспечения формируются соответствующие объекты. Следует отметить, что указанный способ оцифровки применяется для данных, полученных с использованием точных технологий геодезической съемки, поэтому получаемая БД ГИС имеет высокое качество за счет точного определения местоположения объектов.

Данные о рельефе местности являются важнейшей компонентой содержания топографических карт. Горизонтали, которые изображают рельеф, рисуются картографами-фотограмметристами с использованием стереоплоттеров. Как видно из названия этого аппарата, стереоплоттер работает со стереопарой, получаемой при аэрофотосъемке. Посредством специального процесса, называемого аэротриангуляцией, два перекрывающихся аэрофотоснимка позиционируются один относительно другого и рассматриваются как трехмерное изображение в стереоплоттере. Используя такую стереомодель, фотограмметрист имеет возможность точно обводить контуры зданий, дороги, линии рельефа и другие элементы, которые вводятся непосредственно в БД ГИС. Такой процесс называется стереокомпиляцией, поэтому фотограмметрическое картографирование также является процессом ручной оцифровки [25].

3.4. Использование Глобальной Системы Позicionирования

Как одной из альтернатив традиционной ручной оцифровке должна рассматриваться технология геодезической съемки, основанная на использовании Глобальной Системы Позicionирования – Global Positioning System (GPS) [17, 18]. Выделяют три подсистемы (сегмента): подсистема

наземного контроля и управления (control-segment), сеть наземных станций, обеспечивающих спутники точными координатами (эфемериды) и другой информацией; подсистема созвездия спутников (space-segment) – состоит из 24 космических аппаратов, оснащенных атомными цезиевыми стандартами частоты-времени и постоянно передающих на частотах L1 и L2 сигналы для измерений псевдодальностей кодовым и фазовым методами, метки времени и другие сообщения, необходимые для позиционирования. Длины несущих волн на всех спутниках GPS соответственно равны 19,0 и 24,4 см, а частоты находятся в строгом отношении 77/60. 24 спутника космического сегмента GPS находятся на шести различных орбитах, высота которых около 10 000 км. GPS-приемники оборудованы точными часами, которые синхронизированы с часами на спутниках, работающих круглосуточно. Это позволяет GPS-приемнику определять расстояние до спутника по задержке (времени в пути от спутника до приемника) сигнала со спутника. На рис. 3.5 схематично изображены три спутника и приемник. Очевидно, что в данном случае три сферы, представляющие расстояния от GPS-приемника до спутников, будут иметь две общие точки. Компьютер в GPS-приемнике различает, какая из точек "лишняя", и определяет положение приемника относительно спутников, на основе которого вычисляется положение приемника на поверхности Земли с учетом параметров используемого геоида (датума). Таким образом, принимая сигнал, по крайней мере, от трех спутников, GPS-приемник определяет как свою высоту над уровнем моря, так и свои широту и долготу.

Описываемая технология начала развиваться как военная и была разработана в США. Россия также имеет собственную группировку спутников ГЛОНАСС (GLONASS). В ГЛОНАСС у каждого спутника свои несущие частоты, находящиеся в соотношении 9/7, длины волн близки к 18,7 и 24,1 см; подсистема аппаратуры пользователей (user-segment) – включает приемники позиционирования с антеннами, накопителями результатов измерений, прочим оснащением и программным обеспечением обработки данных. В табл. 3.3 представлена информация о спутниках, которые используются по целевому назначению, по состоянию на 09 января 2008 года (подготовлена по материалам www.glonass-ianc.rsa.ru). Как видно из табл. 3.3, в системе ГЛОНАСС имеется только 13 рабочих спутников, не-

равномерно распределённых по орбитам, а полнофункциональная система подразумевает 24 спутника. В связи с важностью такой технологии в странах Европейского Союза запущена собственная программа Galileo, которая начнет функционировать в полную силу после 2012 года.

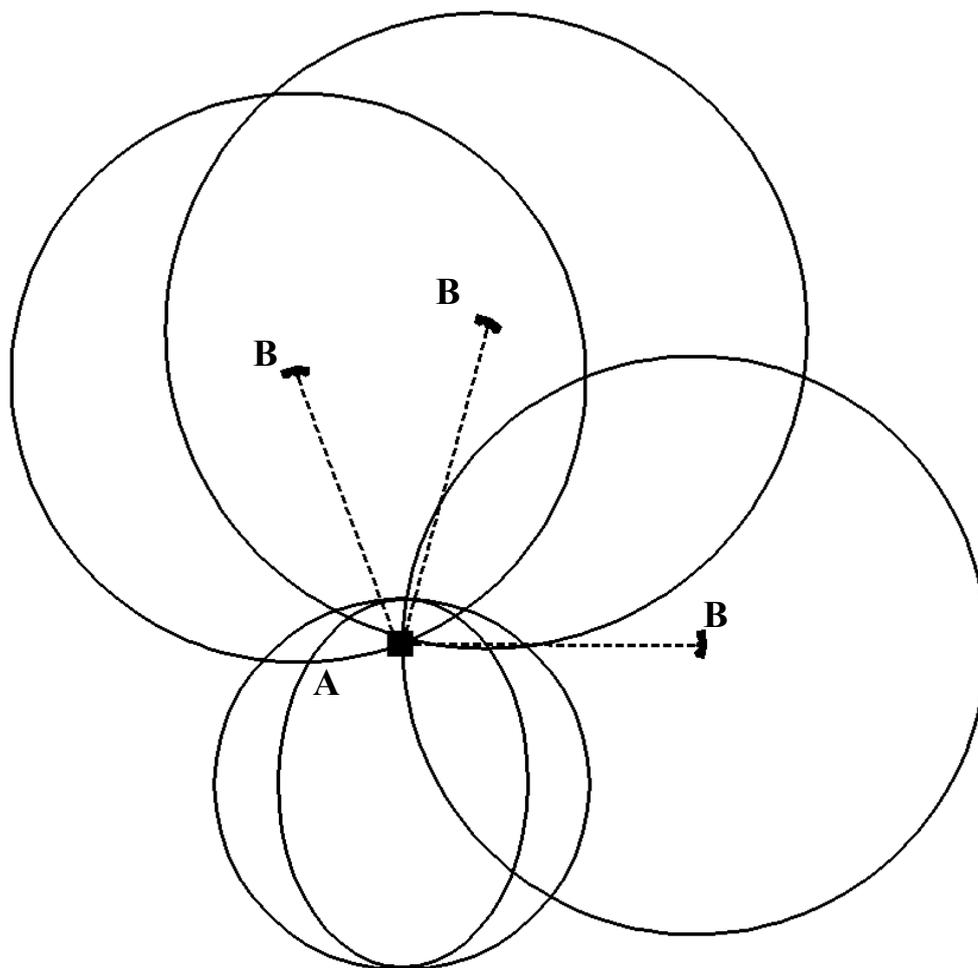


Рис.3.5. Координаты GPS-приемника (A) на Земле определяются по расстояниям до спутников (B).

GPS также используются для сбора детальных картографических данных непосредственно при полевых исследованиях. Геодезист или другой специалист с GPS-оборудованием становится "человеком-дигитайзером", собирающим графическую и атрибутивную информацию во время движения по маршруту. Эти данные дополняют информацию, которая была оцифрована вручную с бумажных карт по технологии, описанной ранее. GPS может использоваться для проверки и редактирования БД

ГИС непосредственно при обследовании местности. При этом значительно сокращается время и стоимость проверки "в поле" данных, которые были получены со спутников или при аэрофотосъемке. Автомобили, оборудованные GPS, во время своего передвижения по дорожной сети могут определить свое положение и собирать информацию о состоянии дорожного покрытия или, определять по БД ГИС, что находится в данной точке.

Таблица 3.3

Данные об отечественной системе ГЛОНАСС на 09.01.2008

Номер точки	Частотный канал	Номер ГЛОНАСС	Дата запуска	Дата ввода в систему	Активное существование (мес)
1	07	796	26.12.04	06.02.05	32,4
4	06	795	10.12.03	29.01.04	46,8
6	01	701	10.12.03	08.12.04	31,7
7	05	712	26.12.04	07.10.05	23,8
8	06	797	26.12.04	06.02.05	33,6
10	04	717	25.12.06	03.04.07	8,7
14	04	715	25.12.06	03.04.07	9,2
15	00	716	25.12.06	12.10.07	2,9
17	-1	718	26.10.07	04.12.07	1,2
19	03	720	26.10.07	25.11.07	1,5
20	02	719	26.10.07	27.11.07	1,4
23	03	714	25.12.05	31.08.06	14,4
24	02	713	25.12.05	31.08.06	13,0

Система геодезической съемки с помощью GPS обычно основана на использовании портативных компьютеров и специальных средств хранения данных, объединенных с GPS-приемником и функционирующих под управлением программного обеспечения САД. При этом использование GPS-приемников позволяет достигать точности до 1 см при определении координат. Более того, для того чтобы "вынести" на местность линию, запроектированную между двумя точками, не требуется, чтобы из начальной точки была видна конечная. Наличие между точками препятствий, таких как деревья или строения, не влияет на определение координат. Однако

при использовании рассматриваемого метода требуется, чтобы GPS-приемник "видел" спутники. В области с высокими зданиями или деревьями для получения данных может потребоваться использование промежуточной стационарной базовой станции (рис. 3.6), также являющейся GPS-приемником. С базовой станции на GPS-приемник передается уточняющая информация в составе более мощного радиосигнала.

GPS также активно используется для определения местоположения инженерных сетей, границ водных объектов, рекреационных зон и т. д. Исследования показывают, что инвентаризация инженерных сетей с помощью GPS проводится быстрее в 2–5 раз и требует на 30–50 процентов меньше материальных затрат. В этом случае электромагнитные радиодетекторы и эхолоты используются для первоначального определения положения подземных коммуникаций: их изображают с помощью краски прямо на земле разным цветом в зависимости от типа сети. Затем обследователь двигается с GPS-приемником вдоль нарисованной линии, регистрируя положение и атрибуты сети. ПО САД рисует трассу сети по координатам, получаемым с GPS-приемника. Предварительно определенные символы для оборудования и линий коммуникаций изображаются в соответствующей координатной проекции.

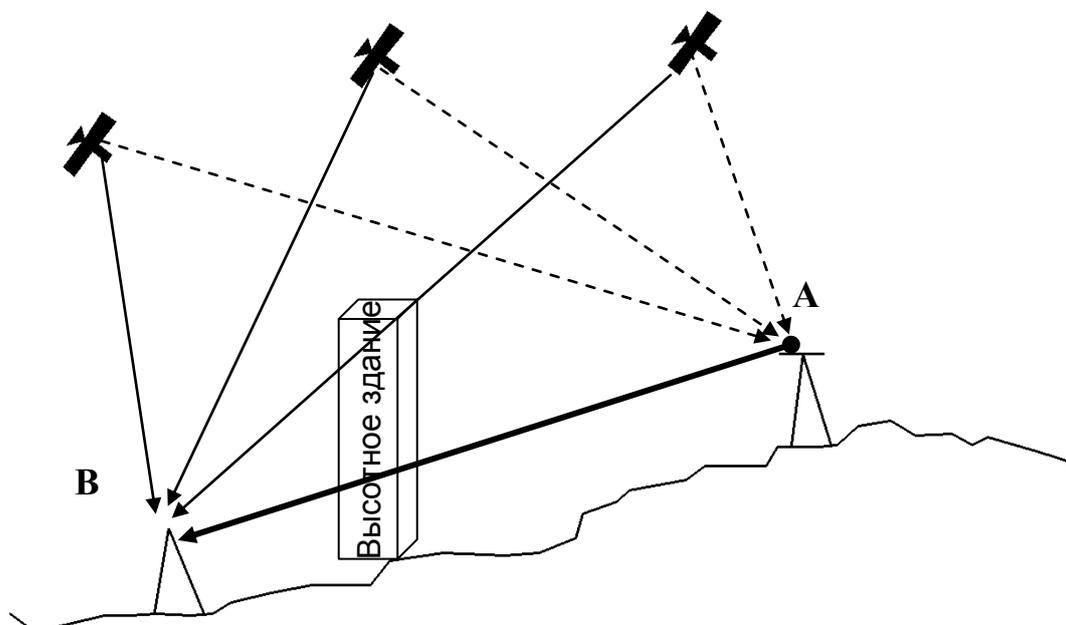


Рис.3.6. С помощью базовой станции (А) можно уточнить местоположение GPS-приемника (В)

3.5. Данные дистанционного зондирования

Получение данных дистанционного зондирования (ДДЗ) с помощью искусственных спутников Земли началось в 60-е годы XX века, когда технические возможности по управлению спутниками на орбите Земли стали согласовываться с возрастающей возможностью компьютеров по манипулированию большим количеством данных [5, 16, 18, 28]. Существуют два типа наблюдений для получения ДДЗ:

пассивное оптическое, которое имеет дело с отраженной солнечной энергией и излучаемой тепловой радиацией;

активное микроволновое, которое как радар имеет дело с передачей и отражением энергии в микроволновой части радиочастотного спектра.

Не считая природы наблюдаемых явлений, разница между двумя типами чисто техническая. Оптический спектр для ДДЗ рассматривается как расширенный – от очень коротких длин волн в ультрафиолетовой области до волн длиной 1000 мкм ($1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$) в длинной инфракрасной области. Второй тип наблюдений определяется ограничением на коротковолновое излучение, которое может быть сгенерировано и выделено подходящим способом микроволновыми электронными устройствами. Второй тип получил пока меньшее распространение. Хотя, например, Европейское космическое агентство (ESA) в 1991 году запустило космический аппарат (КА) ERS-1 (Earth Resource Satellite) с приборами для получения радарного изображения.

За рубежом для исследования поверхности Земли длительное время и достаточно широко используются две спутниковые системы пассивного оптического типа – Landsat и SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre). ДДЗ, полученные с этих систем, могут быть успешно применены в ГИС. Landsat это общее имя для серии спутников, запускаемых на орбиту в США с 1972 года. Спутники SPOT Франция запускает с 1986 года. Параметры орбит этих спутников представлены на рис. 3.7.

Системы Landsat и SPOT используются для картографирования растительности, геологических особенностей, почвенных разностей, а также, с некоторыми ограничениями, водных параметров и линейных структур, таких как дороги и реки. С помощью системы SPOT может формироваться

также и трехмерное изображение, которое может использоваться в фотограмметрии при создании модели рельефа поверхности Земли.

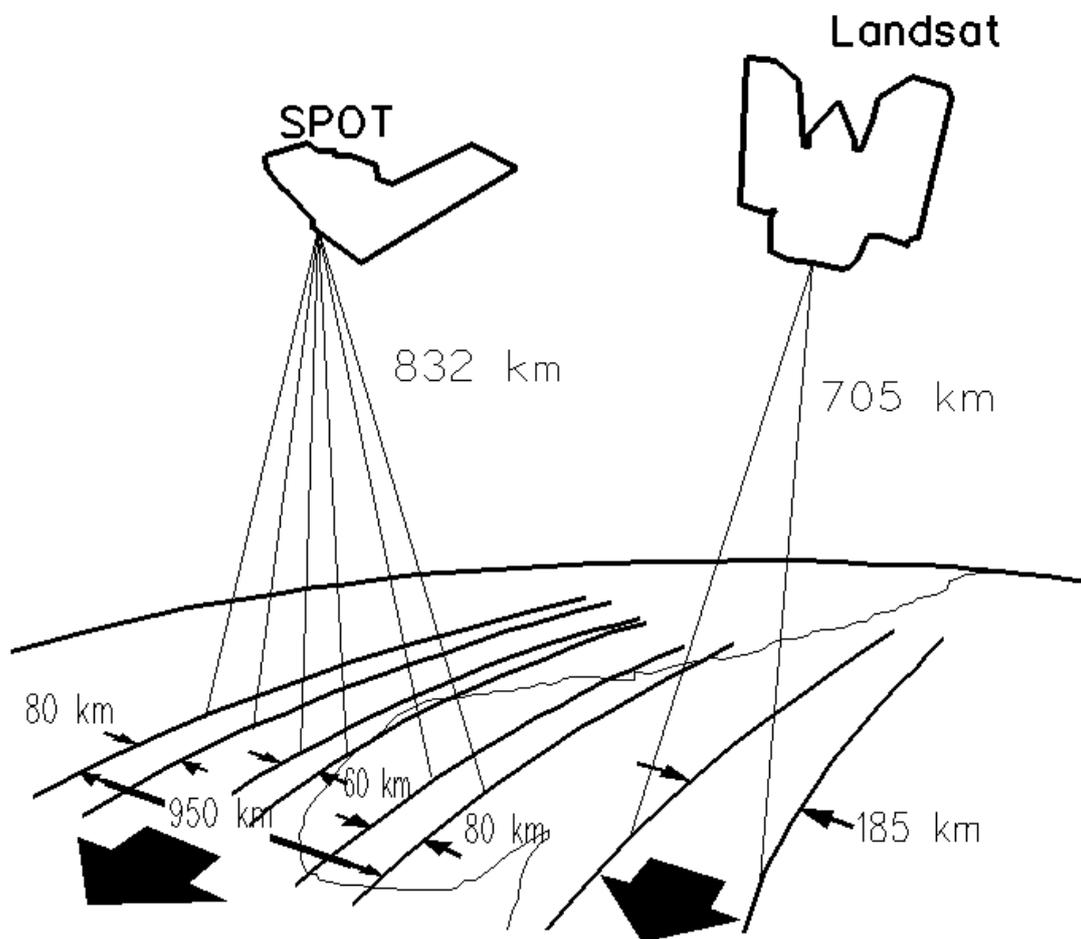


Рис. 3.7. Параметры орбит спутников SPOT и Landsat. Показаны трассы на поверхности Земли, определяющие области сканирования для этих спутников.

КА сенсоры, которые воспринимают отраженную солнечную энергию, рассматривая "сцену" на Земле. В принципе сенсоры могут воспринимать энергию на любой длине волны в оптической области электромагнитного диапазона от 0,4 до 1000 мкм. Традиционно оптическая область делится на подобласти, каждая из которых называется спектром (табл. 3.4).

На КА, используемых для получения ДДЗ, могут иметься сенсоры для всего спектра, но не все могут использоваться при оптическом дистанционном зондировании. Это связано с тем, что не все части оптического спектра одинаково проходят через атмосферу, некоторые длины волн частично поглощаются, а некоторые не проходят вовсе (рис. 3.8) [25].

Таким образом, в связи с вариацией атмосферной проницаемости и поглощения в зависимости от длины волны, размер "окна" оптического спектра, которое реально используется в дистанционном зондировании для наполнения БД ГИС, составляет от 0,4 до 15 мкм (рис. 3.8).

Таблица 3.4

Классификация спектров излучения

Наименование диапазона спектра	Диапазон длин волн, мкм
Ультрафиолет	менее 0,4
Видимый	0,4 – 0,7
Ближний инфракрасный	0,7 – 1,0
Солнечный отраженный инфракрасный	1,0 – 3,0
Средний инфракрасный	3,0 – 15,0
Дальний инфракрасный	больше чем 15,0

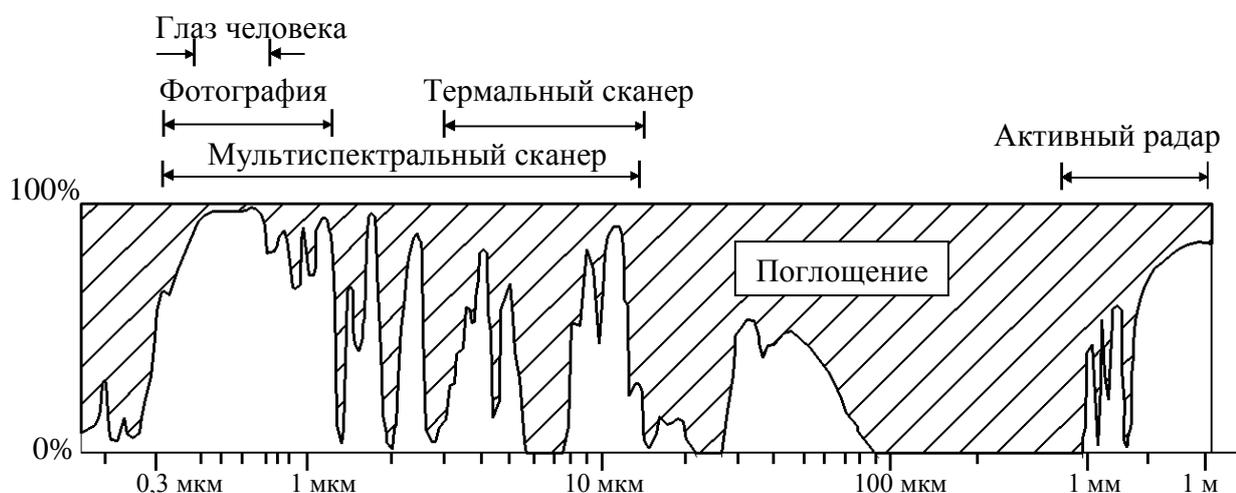


Рис.3.8 Зависимость прохождения через атмосферу от длины волны сигнала

Работу сенсоров на спутниках можно сравнить с работой бытового фотоэкспонетра. Однако, вместо измерения энергии только в видимом диапазоне, как это делает фотоэкспонетр, сенсоры могут измерять энергию в более широком диапазоне длин волн. Эти диапазоны классифицируются на группы, как представлено на рис. 3.8. Мультиспектральное сканирование, как видно из названия, имеет своим результатом данные с

изображением Земли в каждом из диапазонов – "окон". Спектральные окна выбираются таким образом, чтобы соответствующие длины волн представляли бы наибольший интерес для мониторинга Земли. Различные объекты на поверхности Земли – вода, леса, сельскохозяйственные поля, по-разному отражают солнечную энергию в разных диапазонах длин волн, что позволяет распознавать эти объекты на основе данных, поступающих со спутников (рис. 3.9).

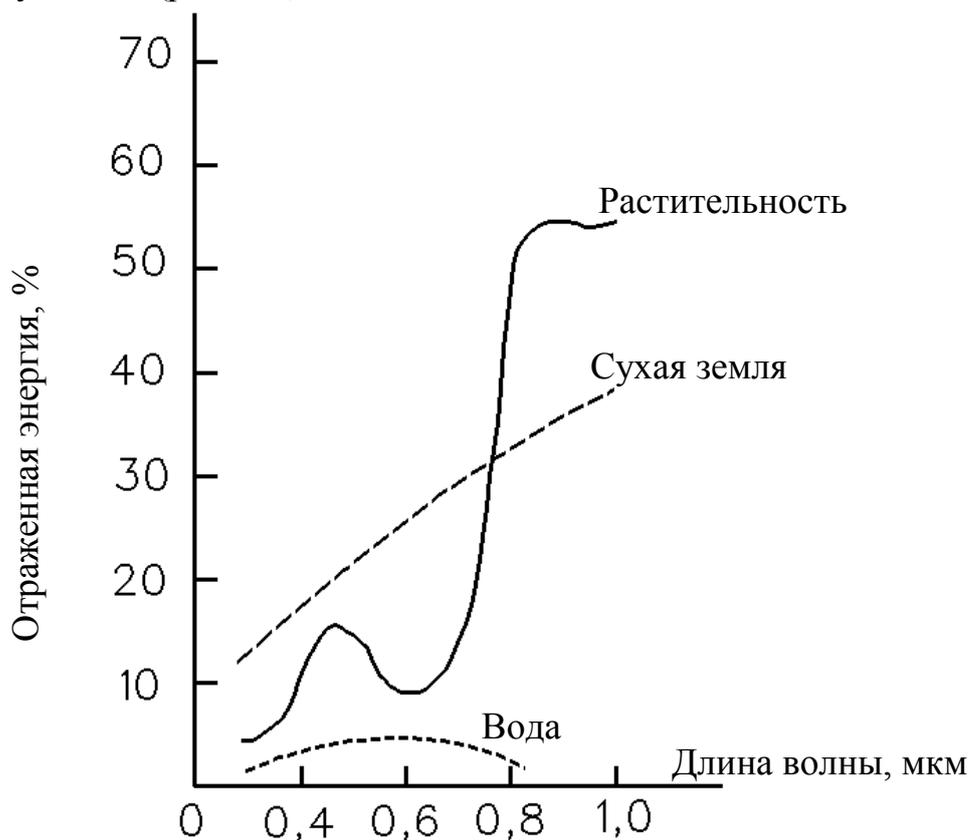


Рис. 3.9. Типичные кривые спектральной отражательной способности

КА собирает изображения Земли последовательно вдоль курса (трассы) движения спутника в проекции на поверхность Земли. Каждый сенсор спутника состоит из множества детекторов, регистрирующих энергию, отраженную от маленькой квадратной области на поверхности Земли, называемой мгновенной областью изображения – *instantaneous field of view (IFOV)*. Полученные данные сохраняются на спутнике как элементы изображения (пикселы), с каждым элементом связывается цифровое значение, соответствующее интенсивности излучения. В целом сенсоры воспринимают данные по полосе вдоль трассы движения спутника в виде растрово-

го изображения сканируемой поверхности. Данные передаются с помощью микроволновой связи на приемную станцию на Земле.

В табл. 3.5 представлено сравнение характеристик ДДЗ, поступающих от систем SPOT и Landsat. Спутники SPOT имеют полярную орбиту, т. е. проходящую почти над полюсом Земли, на высоте около 800 км. Движение спутника синхронизировано с движением Солнца, поэтому этот КА проходит над одной и той же точкой на поверхности Земли один раз в 26 дней. Другими словами, этот КА сканирует всю Землю каждые 26 дней. SPOT имеет двухсенсорную систему. Один сенсор регистрирует видимый спектр с разрешением (IFOV) 10x10 м, другой является мультиспектральным, регистрирующим данные в трех каналах – зеленом, красном и инфракрасном с разрешением 20x20 м. Одно спутниковое изображение, или сцена, охватывает область 60x60 км.

Таблица 3.5

Характеристики систем SPOT и Landsat

Сенсор	Канал	Длина волны, мкм	Разрешение (IFOV), м	Размер сцены, км
Landsat (4, 5) MSS	4	0,5-0,6 (зеленый)	80	185x185
	5	0,6-0,7 (красный)	80	
	6	0,7-0,8 (ближний ИК)	80	
	7	0,8-1,1 (ближний ИК)	80	
Landsat (4, 5) TM	1	0,45-0,52 (голубой)	30	185x185
	2	0,52-0,6 (зеленый)	30	
	3	0,63-0,69 (красный)	30	
	4	0,76-0,9 (ближний ИК)	30	
	5	1,55-1,75 (средний ИК)	30	
	6	10,4-12,5 (тепловой ИК)	120	
	7	2,08-2,35 (средний ИК)	30	
SPOT	Мультиспектральный 0,50-0,59 (зеленый) 0,61-0,68 (красный) 0,79-0,89 (отраженный ИК)			60x60
	Панхроматический 0,51-0,73 (зеленый)			60x60

Положение сенсоров КА SPOT можно изменять для получения трехмерных изображений. SPOT программируется с Земли для изменения угла приема сигнала так, что одна и та же область может быть "рассмотрена" с разных положений (углов). Кроме получения трехмерных изображений, такие возможности позволяют получать изображения определенных участков поверхности Земли более часто, чем один раз в 26 дней. В программе SPOT в настоящее время функционирует несколько спутников. На SPOT-4 имеется дополнительный четвертый канал в диапазоне 1,55–1,75 мкм, предназначенный, в первую очередь, для получения вегетационного индекса. В этой программе введено понятие архивных данных, имеющих более низкую цену. В 2007 году архивными будут данные с 1986 по 2005 годы включительно. В 2002 году начал функционировать спутник SPOT-5 с вдвое большим пространственным разрешением: 10 м в режиме мультиспектральной съемки и 5 м – панхроматической.

Орбиты спутников Landsat являются одновременно полярными и синхронизированными с Солнцем. Высота орбиты для первых двух спутников – 918 км, а для Landsat 4 и 5 – 705 км. КА сканирует всю Землю каждые 18 дней. Landsat 4 и 5 имеют два типа сенсоров. Один сенсор – тематический картограф – Thematic Mapper (TM) регистрирует семь каналов в видимом и инфракрасном диапазоне с IFOV 30x30 м, кроме теплового инфракрасного канала, имеющего IFOV 120x120 м. Другой сенсор – мультиспектральный сенсор – Multi Spectral Sensor (MSS) регистрирует четыре канала с IFOV 80x80 м. Одна сцена КА Landsat охватывает 185x185 км. В 1999 году был запущен спутник Landsat-7. На Landsat-7 установлен сенсор ETM+ с улучшенными, по сравнению с Landsat-5, характеристиками. Так, добавился 15-метровый панхроматический канал, а разрешение теплового канала улучшилось до 60 м.

Вследствие того что SPOT и Landsat воспринимают отраженную солнечную энергию, они не могут "видеть" через облака. Единственное исключение составляет сенсор Landsat для среднего инфракрасного излучения (тепловой инфракрасный сенсор), воспринимающий энергию вторичного излучения.

Для поиска в Интернете данных по этим и другим ДДЗ можно воспользоваться информацией с сайтов фирм:

Eurimage: www.eurimage.com

Дата+: www.dataplus.ru

СканЭкс: www.scanex.ru

Одним из наиболее заметных событий начала 21 века стало появление на рынке ДДЗ данных сверхвысокого разрешения. Данные со спутника IKONOS-2, коммерческая эксплуатация которого началась в 2000 году (www.spaceimaging.com), имеют метровую точность панхроматическом режиме. Этим данным составляют конкуренцию отечественные снимки высокого разрешения (www.sovinformsputnik.com). Кроме того, в настоящее время конкуренция обострилась в связи с запусками американских спутников сверхвысокого разрешения QuickBird-2 и OrbView-3.

В целом можно сказать, что ДДЗ являются одним из самых перспективных источников информационного обеспечения для ГИС-проектов, и ЛПР следует это учитывать. При этом отрасль настолько быстро развивается, что ДДЗ больше, чем алгоритмов для их использования. Так, например, в настоящее время функционирует спутник Earth Observing-1 (EO-1), на борту которого находится гиперспектральный 220-канальный сенсор с 30-метровым пространственным разрешением. Теперь основная проблема состоит в разработке методов анализа и интерпретации получаемых данных, а также соответствующего программного обеспечения, позволяющего работать с такими данными.

Резюме

1. Удачное структурирование данных при формировании БД ГИС определяет их практическую значимость, а значит успех и доходность любого ГИС проекта.

2. Формирование БД ГИС обеспечивается наличием в составе программно-аппаратного комплекса ГИС специализированных средств для ввода-вывода информации. С помощью этих средств организовывается информационное обеспечение ГИС проектов.

3. Необходимой компонентой любого ПО ГИС, которое обеспечивает наполнение атрибутивно-графической БД ГИС, являются модули преобразования (импорт/экспорт) внешних форматов данных.

4. Источники информации для ГИС могут быть разделены по двум признакам: являются ли эти источники информации первичными или вторичными, а также эти цифровыми (т. е. хранящимися в файле определенного формата) или нецифровыми.

5. В настоящее время в Российской Федерации в организациях Роскартографии созданы и распространяются цифровые топографические карты на территорию России масштабов 1:1 000 000 и 1:200 000.

6. Построение БД ГИС "с нуля" требует значительных денежных средств и больших временных затрат. Альтернативно, при построении БД ГИС на основе существующих цифровых карт, пользователь может приступить к эксплуатации ГИС быстрее.

7. Оцифровка – это процесс преобразования (путем обводки) карты на бумажной основе в цифровой компьютерный формат. Технология оцифровки "по растровой подложке" состоит в следующем: сначала карта на бумажном носителе с помощью сканера преобразовывается в растровое изображение, которое в среде ГИС трансформируется к нужной проекции и масштабу, а затем оператор, имея это изображение на экране компьютера, рисует (обводит) пространственные объекты в соответствии с принятой моделью данных.

8. Приемники Глобальной Системы Позиционирования (GPS) оборудованы точными часами, которые синхронизированы с часами на спутниках, это позволяет GPS-приемнику определять расстояние до спутника по задержке сигнала (времени в пути от спутника до приемника) со спутника.

9. Получение ДДЗ с помощью КА основано на двух типах наблюдений: пассивное оптическое, которое имеет дело с отраженной солнечной энергией и излучаемой тепловой радиацией; активное микроволновое, которое как радар имеет дело с передачей и отражением энергии в микроволновой части радиочастотного спектра.

10. Данные с систем Landsat и SPOT, использующих пассивное излучение, применяются для картографирования растительности, геологических особенностей, почвенных разностей, а также, с некоторыми ограничениями, водных параметров и линейных структур, таких как дороги и реки. С помощью системы SPOT может формироваться также и трехмерное изображение, которое может использоваться в фотограмметрии.

11. Сенсоры на КА могут измерять энергию в широком диапазоне длин волн. Результатом мультиспектрального сканирования являются данные с изображением Земли в определенном наборе диапазонов – спектральных окон, которые выбираются таким образом, чтобы соответствующие длины волн представляли бы наибольший интерес. Объекты на поверхности Земли – вода, леса, сельскохозяйственные поля – по-разному отражают солнечную энергию в разных диапазонах длин волн, что позволяет распознавать эти объекты на основе спутниковых ДДЗ.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какие существуют источники информации для наполнения БД ГИС?
2. Как используются существующие ГИС данные для информационного обеспечения ГИС проектов?
3. Какие виды оцифровки существуют и в чем их особенности?
4. Как используется GPS в информационном обеспечении ГИС проектов?
5. Как осуществляется наполнение БД ГИС на основе спутниковых ДДЗ?
6. Какие существуют системы спутникового дистанционного зондирования и каковы их особенности?

ТЕМА 4. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 4.1. Построение тематических карт и визуализация в ГИС
- 4.2. Методы пространственного анализа в среде ГИС
- 4.3. Пространственный анализ непрерывных полей
- 4.4. Трансформация данных
- 4.5. Пространственный оверлей

Ключевые термины Визуализация, пространственный запрос, тематические карты, пространственный анализ, пространственное моделирование, способы картографирования, операция буферизации, пространственный оверлей полигонов, цифровая модель рельефа, точки взятия образцов, неинтерполяционные и интерполяционные методы трансформации, полигоны Тиссена, триангуляция Делоне, метод Шепарда.

4.1. Построение тематических карт и визуализация в ГИС

Визуализация является важнейшим методом реализации информационно-справочных функций ГИС в системах поддержки принятия управленческих решений. При этом широко эксплуатируются уникальные человеческие способности к распознаванию пространственных соотношений и структур на картах, фотоснимках, других графических изображениях, и, в частности, видеоизображений на дисплее компьютера. Специалисты, работающие с информацией о территории, немедленно оценили подобные возможности ГИС по визуализации, которые используются для представления атрибутивно-графической информации из БД ГИС в виде тематических карт с целью усиления человеческих возможностей по выявлению пространственных связей и структур, формирующихся процессами и явлениями, происходящими на территории [6, 16, 18, 22].

С другой стороны, ГИС, подобно другим типам информационных систем, позволяют получать ответы на запросы, которые раньше приходилось отыскивать в огромном количестве бумажных документов. Причем в случае пространственно-распределенной информации, по крайней мере,

двух типов – графического (карты) и неграфического (таблицы, отчеты и т. д.). В среде ГИС пространственно-распределенная информация из этих документов совмещена в БД ГИС в комплексном атрибутивно-графическом виде, что позволяет реализовывать запросы с наибольшим удобством для пользователя.

Если в БД ГИС используется геореляционная схема (см. п. 2.4), то подходы к формированию запросов к атрибутивной информации, совпадают с теми, которые присутствует в обычных реляционных СУБД. В этом случае запросы реализуются с помощью некоторого подмножества языка SQL (Structured Query Language – Структурированный Язык Запросов) [24]. Такие запросы обычно рассматриваются в рамках курса "Базы данных и знаний", поэтому здесь рассмотрим некоторые особенности, которые характерны для ГИС.

На рис. 4.1 представлен фрагмент пространственного диалога при анализе БД ГИС по субъектам Российской Федерации: показан момент реализации пространственного запроса, после того как был указан полигон, изображающий Нижегородскую область – видно окно информации с атрибутами из БД ГИС. Также на рис. 4.1 представлено пространственное распределения плотности населения и соотношения сельского и городского населения в виде тематической карты. Кроме того, при перемещении указателя по изображению появляются значения одного из атрибутов объектов, над которыми в данный момент находится указатель (надпись "Ивановская область").

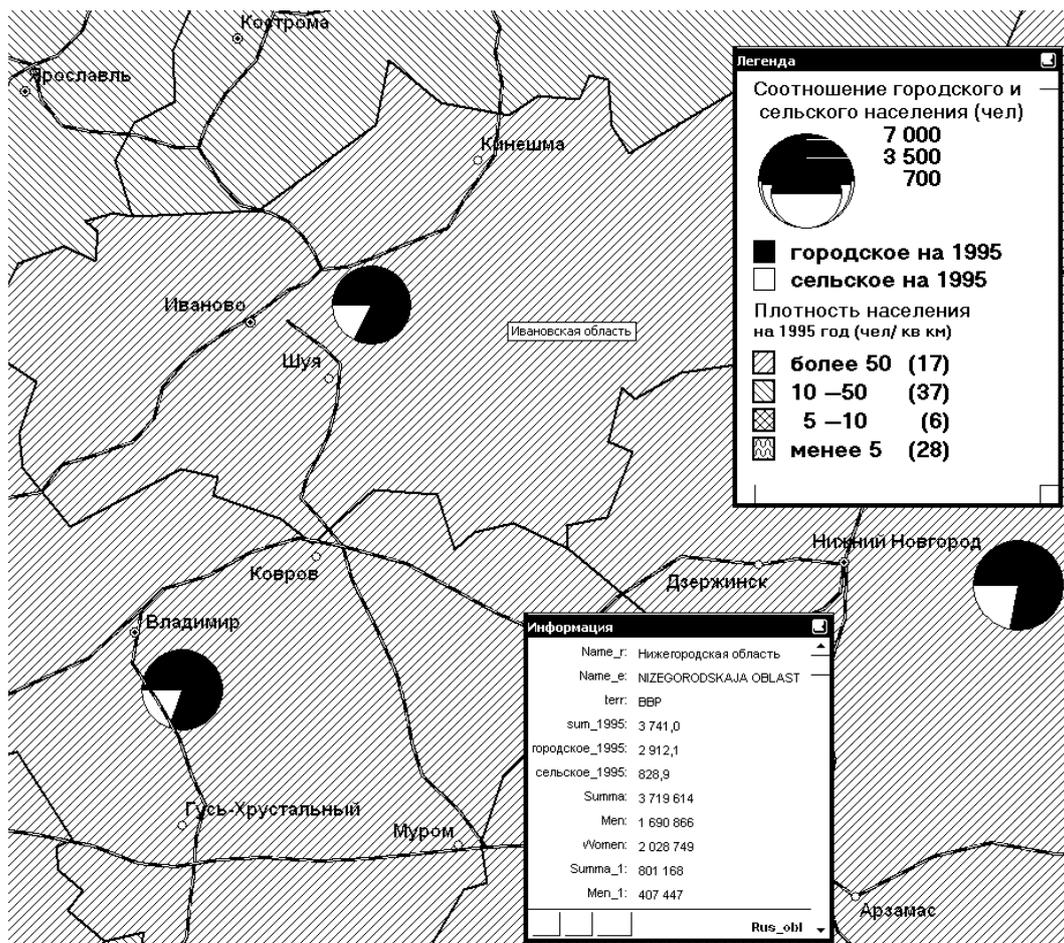


Рис. 4.1. Пример визуализации и пространственного запроса для БД ГИС по субъектам Российской Федерации

Если пространственные данные представлены в виде иллюстративных материалов, то путем сканирования возможно получение их цифрового изображения. Файл, содержащий сканированный документ, является примером цифрового изображения. Однако изображения, получаемые в среде ГИС, отличаются от других типов цифровых изображений тем, что они геокодированы. Это означает, что каждый пиксел, составляющий сформированное в ГИС изображение, является корректно позиционированным в соответствии с определенной картографической проекцией [18].

Графическая и атрибутивная информация в БД ГИС, а также логическая структура последней определяют те виды графического представления (визуализации), которые могут быть использованы при решении инженерных и управленческих задач. С другой стороны, способы визуализации зависят от состава объектов и содержания прикладных задач.

Атрибутивно-графическая информация из БД ГИС может быть визуализирована в виде электронных топографических карт (планов), тематических карт, графических схем отображающих различные процессы и явления, происходящие на территории. Содержание тематической карты можно условно разделить на две части, каждая из которых имеет свое назначение. К первой относят изображение явления, составляющего тему данной карты, а ко второй – географическую основу территории. ПО ГИС имеет средства, позволяющие динамически создавать тематические карты, на которых отображение пространственных объектов определяется текущим содержанием соответствующей атрибутивной части БД ГИС. Для того чтобы на таких картах отобразить изучаемые процессы или явления, в ГИС используют традиционные способы картографирования [20, 22]: ареалов, качественного фона, точечный, изолиний, значков, локализованных диаграмм, картодиаграмм; картограмм (рис. 4.2).

С помощью тематических карт можно отобразить пространственное распределение характеристик территории, хранящихся в атрибутах объектов БД ГИС, моделирующих реальный мир. Так, например, способ картодиаграмм применяется для отображения суммарной величины и структуру какого-либо явления в пределах определенных единиц территориального деления. Условные значки картограмм обычно имеют форму круга, квадрата, прямоугольника или других геометрических фигур (рис. 4.2).

Запросы к БД ГИС позволяют формировать множества различных объектов (в том числе и пространственных) на основе заданных критериев, которые также могут формулироваться на языке пространственных взаимоотношений. Самой простой формой пространственных запросов является получение характеристик объекта по указанию его курсором на экране (см. рис. 4.1) и обратная операция, в результате чего производится выделение объектов с заданными значениями атрибутов. Можно также отбирать объекты, например, по признаку их удаленности от других объектов, соседства, совпадения и т. д.

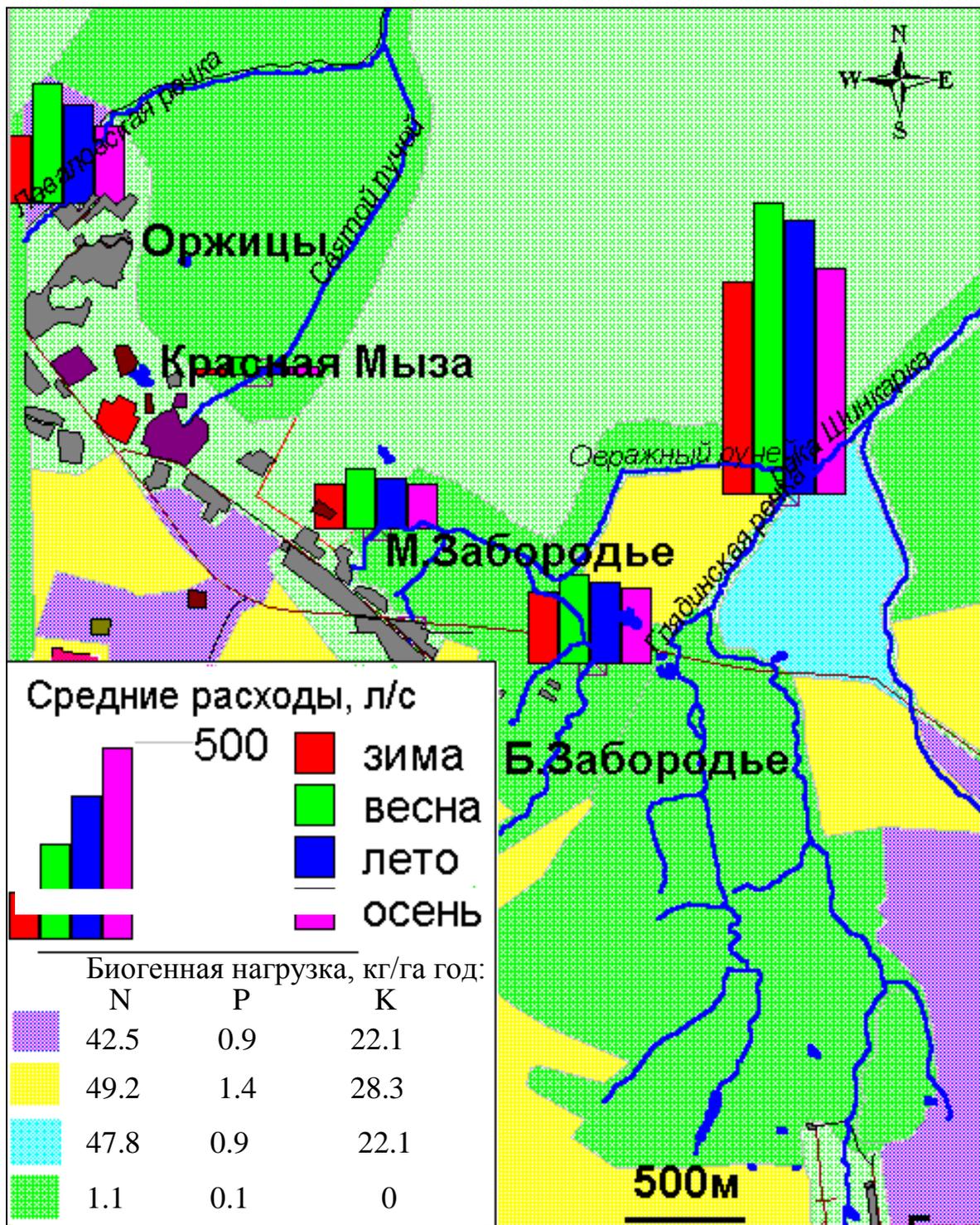


Рис. 4.2. Представление с помощью картодиаграмм структуры средних расходов по сезонам в истоках реки Шинкарки, водами которой питаются фонтаны Петродворца

4.2. Методы пространственного анализа в среде ГИС

В общем случае, анализ данных может быть определен как выделение значимых фактов, заключенных в некотором наборе данных. Поэтому пространственный анализ означает выделение полезной информации из данных, распределенных в пространстве. Основной целью пространственного анализа в среде ГИС является выявление и анализ пространственной структуры и связей процессов и явлений, происходящих на территории. Этот анализ используется при решении управленческих задач и включает методы, предназначенные для достижения указанных целей [16, 34]. Общее представление о возможных функциях пространственного анализа, используемых в среде ГИС, дает табл. 4.1. Современное ПО ГИС достаточно полно реализует информационно-справочные функции, однако функции пространственного анализа обычно представлены только частично. Классические функции пространственного анализа включают оверлей (наложение) полигонов, анализ близости, буферизацию, алгебру карт, построение и анализ моделей рельефа, моделирование сетей. Операция буферизации обеспечивает такие возможности, как, например, построение карт зашумленности, доступности, распространения загрязнения по территории. При помощи операций оверлея (перекрытия) полигонов можно рассчитывать статистику и строить карты совместной встречаемости явлений. Результатом анализа сетей могут являться, например, карты транспортной доступности, распространения загрязнений по речной сети и т. д.

Однако функции, имеющиеся в составе стандартного ПО ГИС, не всегда подходят для решения управленческих задач. В этой связи при реализации ГИС-проектов приходится разрабатывать дополнительные модули. Частично подобная ситуация связана с тем, что собственно теория пространственного анализа разработана еще недостаточно глубоко и у разработчиков ГИС отсутствует подходящая теоретическая база, которая постоянно расширяется. В настоящее время среди специалистов нет устоявшегося мнения о том, какие именно средства пространственного анализа должны включаться в состав стандартного ПО ГИС. Возможности ПО ГИС по пространственному анализу постоянно расширяются и если раньше соответствующие функции включались в состав дополнительных пакетов, то теперь они входят в состав стандартного (базового) ПО.

Таблица 4.1.

Функции пространственного анализа

Полигональные операции	<p>перекрытие (оверлей) полигонов; определение принадлежности точки полигону; определение принадлежности линии полигону; снятие границы и слияние полигонов</p>
Анализ близости (построение буферных зон)	<p>на множестве точек; относительно кривых; на множестве полигонов</p>
Анализ сетей	<p>поиск кратчайшего пути; суммирование значений атрибутов по элементам сети; размещение объектов и распределение ресурсов в сети; поиск пространственной смежности; поиск ближайшего соседа; поиск по адресам</p>
Функции картографической алгебры	<p>перекодирование и переквалификация; средние, максимальные, минимальные значения ячейки по множеству слоев; логические комбинации слоев; сложение/вычитание, умножение/деление слоев БД ГИС; операции анализа в режиме скользящего окна; группировка или идентификация неразрывных зон равных значений; характеристика формы</p>
Прочие функции	<p>логические операции с множеством слоев из БД ГИС; генерация случайной пространственной сети опробования</p>

4.3. Пространственный анализ непрерывных полей

При пространственном анализе непрерывных геополей удобно рассматривать задачу определения распределения некоторой характеристики в пространстве как задачу построения "поверхности" $z=f(x, y)$, где z – значение характеристики (атрибута), а (x, y) – координаты на поверхности

Земли. Пусть атрибут один и измеряется по индивидуальной шкале. Его значениями могут быть целые числа, произвольно назначенные, например, механическому составу или типу почвы. В этом случае реконструируемая поверхность будет кусочно-непрерывной. Чаще всего, атрибуты измеряются в интервальных или относительных шкалах, например содержание фосфора или соединений азота в почве. В этом случае модель геополя – поверхность может получиться непрерывной.

Многие методы пространственного анализа первоначально разрабатывались при решении задач по созданию различных моделей рельефа Земли [3, 6]. В среде ГИС такие модели получили название "цифровые модели рельефа" (ЦМР) или по-английски Digital Elevation Model (DEM) – рис. 4.3. С математической точки зрения подобные модели являются двумерными (2D), но в отличие от площадных объектов, ЦМР на плоскости "полностью" отобразить нельзя. В связи с этим используют специальные методы представления, например с помощью изолиний. Для того чтобы выделить такого рода модели, используют специальное название 2,5D цифровые модели. Тем самым подчеркивается, что реально такая двумерная модель может быть отображена только в трехмерном пространстве.

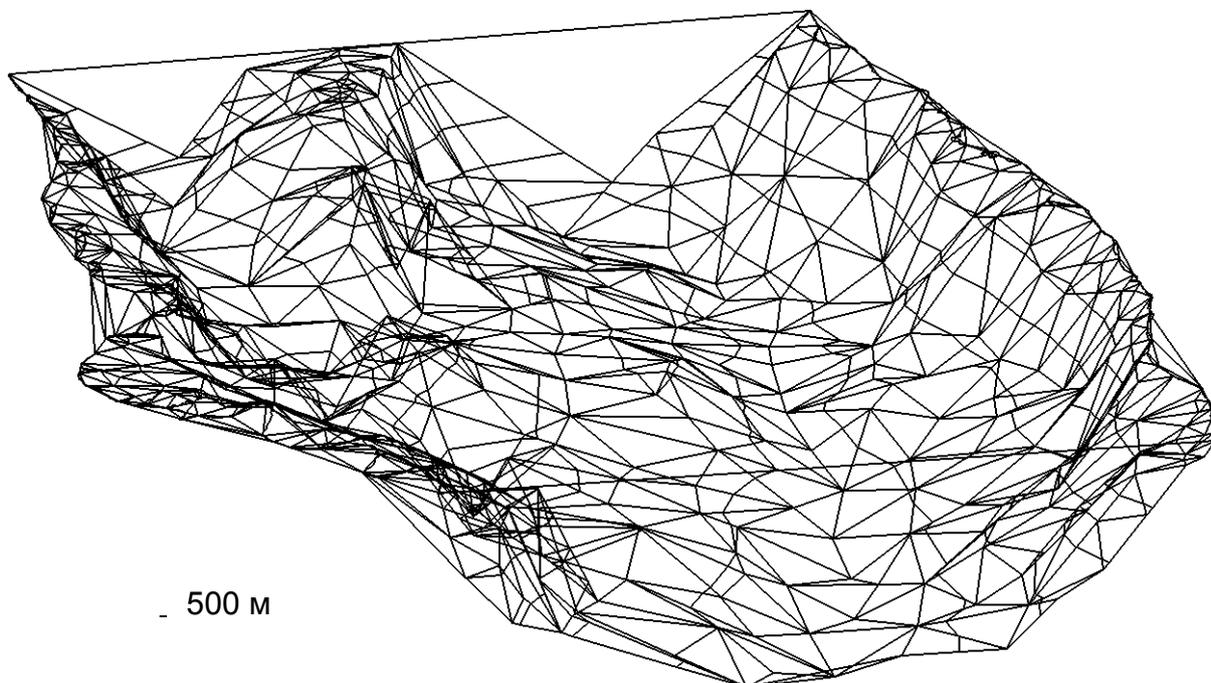


Рис. 4.3. Цифровая модель рельефа - аппроксимация поверхности дна пролива Бьеркезунд, построенная в ГИС с использованием триангуляции Делоне

На рис. 4.3 представлен пример использования ЦМР – аппроксимация поверхности дна пролива Бьеркезунд, (нефтеналивной порт, г. Приморск, Ленинградская область), построенная в ГИС с использованием триангуляции Делоне. Эта ЦМР использовалась при математическом моделировании на базе ГИС гидродинамических процессов на объекте в г. Приморск. В расчетах использовалась двумерная гидродинамическая модель течений (уравнения "мелкой воды"), интегрированная в среду ГИС.

Очевидно, что для моделирования непрерывных геополей (температуры, осадков, геофизических полей, загрязнений и других) могут применяться те же алгоритмы, что и для ЦМР. В связи с этим большинство исследователей используют термин ЦМР для обозначения цифровой модели геополей любой природы, при этом имеется в виду, что график функции пространственного распространения какого-либо показателя можно рассматривать как "рельеф" поверхности.

4.4 Трансформация данных

К наиболее важным методам пространственного анализа, необходимым для обеспечения эффективного функционирования ГИС как средства информационной поддержки принятия управленческих решений, относятся алгоритмы и модели трансформации данных. Такие модели используются, в первую очередь, при формировании БД ГИС на основе информации, поступающей из нескольких разнородных источников. Кроме того, часто трансформация данных необходима перед применением определенных методов пространственного анализа. Это связано с тем, что большинство алгоритмов пространственного анализа требует представления данных в совершенно определенном виде, например в виде точечных объектов, расположенных в узлах регулярной решетки [26].

Рассматриваемые в этом параграфе алгоритмы трансформации – достаточно универсальны и при работе в среде ГИС играют роль вспомогательных процедур, реализация которых в ПО ГИС не зависит от изучаемого процесса или явления. Простейшими трансформациями являются геометрические преобразования из одной системы координат в другие. Другой класс трансформаций относится к преобразованиям данных внутри и между основными типами пространственных объектов БД ГИС: точек, линий и областей (табл. 4.2). Эти преобразования включают как геометриче-

ские построения с созданием новых объектов, так и вычисление атрибутов вновь построенных объектов и являются чрезвычайно важными при формировании БД ГИС.

Таблица 4.2.

Примеры трансформаций пространственных объектов

	Точки	Линии	Области
Точки	Интерполяция Пространственная интерполяция из одного набора точек к другому (к равномерной сетке перед построением изолиний)	Построение изолиний Соединение линиями точек с равными значениями	Полигоны Тиссена Построение полигонов Тиссена или Вороного из нерегулярно распределенных точек.
Линии	Пересечение линий	Сглаживание линий	Построение буферных зон
Области	Атрибут области привязывается к ее центру	Область преобразуется в свою границу или некоторую среднюю линию	Преобразование атрибутивных значений из одного набора полигонов к другому.

Большинство данных о территории, необходимых для управления, собирается или измеряется в определенных местоположениях, которые в дальнейшем будут называться точками взятия образцов (sample point). В основном эти измерения проводятся в некоторых характерных точках, например, местах расположения буровых исследовательских скважин, точек вдоль курса самолета, производящего аэрофотосъемку, или наземных траверсов геодезической съемки. Точки взятия образцов могут располагаться как произвольно, так и регулярно. Например, ДДЗ, представляющие собой растровые изображения, также можно рассматривать как источник информации с регулярно расположенным набором точек взятия образцов.

При проведении трансформаций в среде ГИС чаще других требуется проводить пространственные преобразования "точка–область" и "точка–точка". Подобная ситуация возникает и в том случае, когда стоит задача сравнения каких-либо пространственно распределенных переменных, информация о которых собрана в различных наборах точек, что требует преобразования к общим данным. Задача преобразования "точка–область" со-

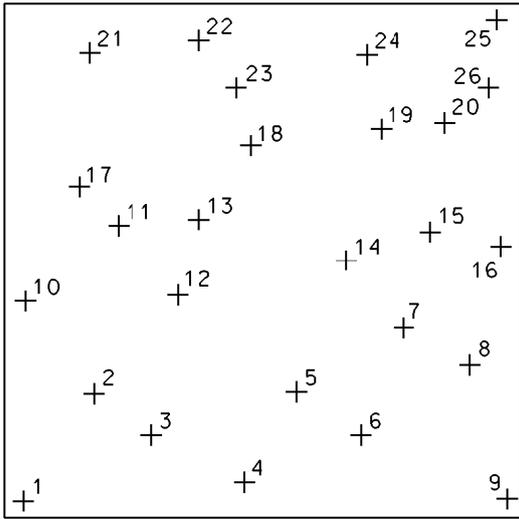
стоит в том, чтобы преобразовать атрибуты в точках взятия образцов к атрибутам вновь построенных или существующих площадных объектов. В результате в среде ГИС создается специальный тематический слой векторного или растрового типа, который будет представлять либо непрерывную, либо кусочно-непрерывную поверхность. Способ преобразования "точка–область" зависит от шкалы измерения рассматриваемых атрибутов и от того, являются ли точки естественными или искусственными объектами для отбора образцов.

Выбор метода преобразования "точка–область" и "точка–точка" определяется многими факторами и в частности тем, какова структура расположения исходных данных – точек взятия образцов. Выделяют три возможных случая:

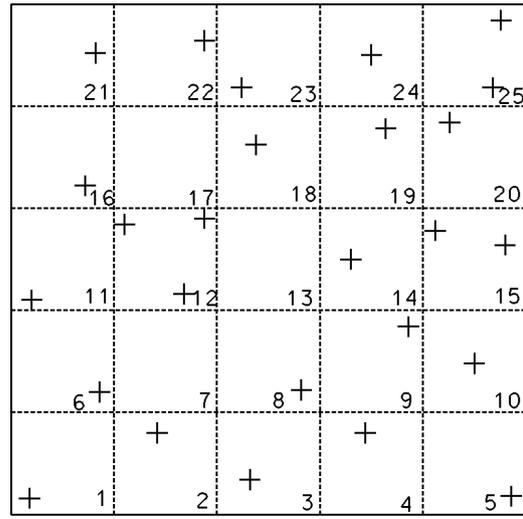
точки расположены регулярно на прямоугольных сетках;
точки расположены нерегулярно в произвольных точках;
точки расположены полурегулярно или равномерно на изолиниях, профилях и др.

Для точечных исходных данных методы преобразования к площадным объектам могут быть подразделены на две группы в зависимости от того, применяется или нет пространственная интерполяция. Кроме того, при моделировании поверхностей пространственно-непрерывных полей переменных часто используют интерполяцию из набора нерегулярно расположенных точек отбора образцов к регулярной сетке.

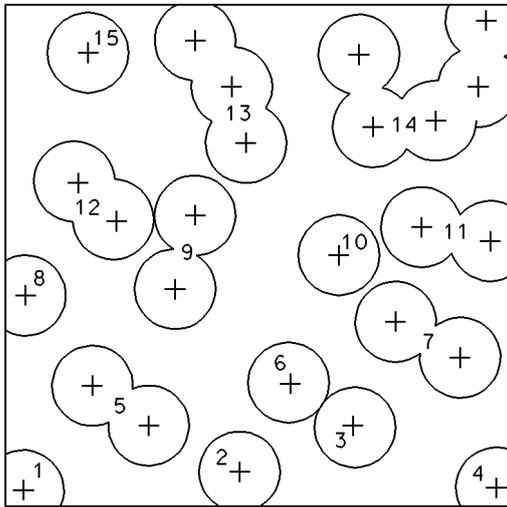
Ниже рассмотрены неинтерполяционные методы, целью которых является построение полигонов, с которыми связывается один или несколько атрибутов исходной точки взятия образцов. Если полигон строится по нескольким точкам, то используется подходящая операция осреднения для атрибута нового полигона, зависящая от шкалы. В большинстве случаев используются алгоритмы автоматического построения полигонов по исходным точкам, хотя иногда используются методы, в которых полигоны строятся вручную на основе субъективных выводов и мнений специалистов (рис. 4.4). Примеры применения методов, не использующих интерполяцию, представлены на рис. 4.4 (рис. 4.4, А – расположение исходного набора точек взятия образцов) [22].



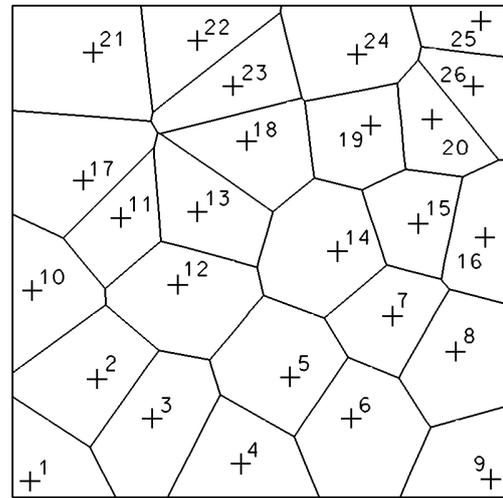
A



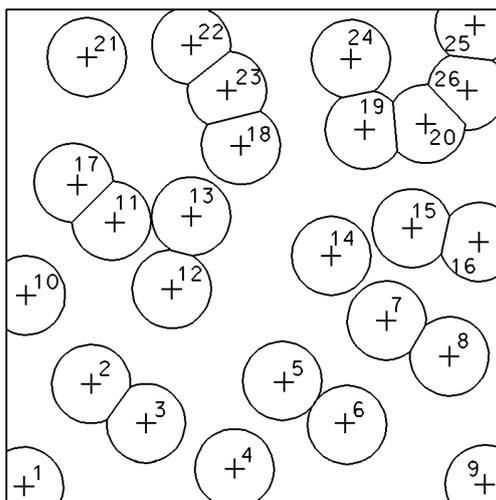
B



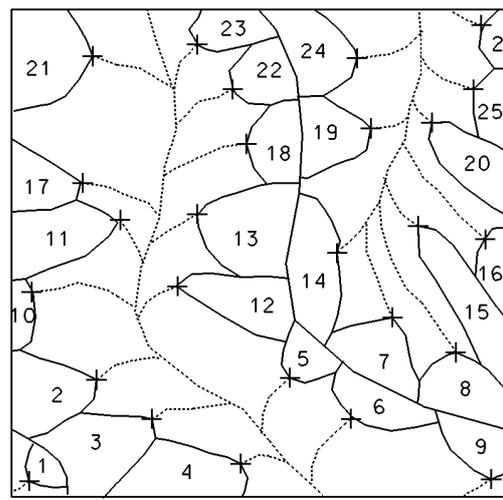
B



Г



Д



Е

Рис. 4.4. Методы преобразования "точка-область"

В простейшем случае (рис. 4.4, *Б*) площадные объекты, для которых необходимо определить атрибуты по исходным точкам, представляют собой регулярно расположенные ячейки некоторой сетки, и каждая исходная точка связывается с такой ячейкой. Если в ячейку не попадает ни одна точка, то такой ячейке назначается либо пустой атрибут, либо атрибут, вычисляемый как некоторая функция от атрибутов соседних ячеек. Атрибуты ячеек, содержащих более чем одну точку, определяются путем агрегирования атрибутов этих точек согласно некоторому правилу, такому как вычисление среднего, медианы, моды, максимального или минимального значения, в зависимости от шкалы измерения атрибута или смысла задачи. Главное преимущество этого метода в его наглядности и простоте реализации.

Другой простой метод состоит в построении полигонов в виде правильного вписанного многоугольника или круга вокруг исходных точек взятия образцов (рис. 4.4, *В*). Этим полигонам назначаются атрибуты исходных точек. Непокрытые области получают пустые атрибуты. Вариант метода (рис. 4.4, *В*) хорошо работает, когда точки распределены более или менее равномерно, без особых сгущений (отсутствует кластеризация), иначе для перекрывающихся полигонов необходимо применять специальные операции для определения формы новых полигонов и агрегирования атрибутов. Преимущество этого подхода состоит в том, что при построении полигонов радиус круга может быть выбран для отражения субъективного мнения о размере зоны влияния точек взятия образцов.

Применение метода, основанного на использовании полигонов Тиссена (называемых также полигонами Вороного) [3, 24], позволяет исключить проблему полигонов, либо не имеющих точек, либо содержащих несколько точек (рис. 4.4, *Г*). Полигоны Тиссена всегда содержат только одну исходную точку, и любая другая точка внутри полигона ближе к ней, чем к остальным исходным точкам. Такие полигоны образуются посредством проведения серединных перпендикуляров к отрезкам, соединяющим соседние точки. Преимуществом этого метода является то, что отсутствуют непокрытые области и могут быть определены "естественные" соседи для каждой точки. Недостаток метода в том, что размер полигонов обратно пропорционален плотности точек и отдельная точка может иметь очень

большое влияние (соответствующий полигон имеет большую площадь), несоразмерное смыслу задачи. Один из возможных выходов из этой ситуации может состоять в комбинировании полигонов Тиссена с предыдущим методом. Результат такого комбинирования представлен на рис. 4.4, *Д*. Последний метод часто применяется в том случае, когда точки взятия образцов расположены, например, вдоль некоторых траверзов обследования (например русла рек), а расстояние между траверсами велико.

Иногда более удобно пользоваться полигонами неправильной формы, построение которых зависит от смысла задачи. Такой метод применяется в том случае, если, например, стоит задача создания геохимической карты крупного масштаба по образцам воды или осадка, взятым в притоках некоторого водотока. Зоны влияния в виде полигонов для таких исходных точек не могут определяться ни одним из представленных выше методов. Построение таких полигонов осуществляется путем выделения водосборов каждого притока, что отвечает смыслу задачи (рис. 4.4, *Е*). Для выделения границ водосбора в среде ГИС могут присутствовать автоматизированные процедуры с использованием ЦМР. Они работают достаточно удовлетворительно в областях с хорошо выраженным склоном. Этот пример демонстрирует, что в тех случаях, когда точки расположены недостаточно плотно, границы полигонов, построенные специалистом в предметной области, будут давать более удовлетворительный результат, чем автоматическое построение полигонов Тиссена.

Неинтерполяционные методы хорошо работают в том случае, когда атрибуты точек измеряются по качественной шкале, хотя они годятся и для случая измерения атрибутов по порядковой, интервальной или относительной шкале. Алгоритмы реализации этих методов достаточно универсальны, и они широко представлены в составе ПО ГИС.

Интерполяционные методы лучше использовать в том случае, когда в точках отбора образцов определяется величина, представляющая собой непрерывную характеристику (геополе), например, температура поверхности Земли [22, 26]. Эти методы обычно применяются для какого-либо одного атрибута, хотя иногда используется интерполяция векторных полей. Интерполяционный процесс часто заключается в оценивании значений некоторого атрибута в последовательности местоположений, обычно в квад-

ратной решетке, по известной точечной атрибутивной таблице. В английском языке регулярная сетка квадратов называется *grid*, поэтому операцию по пересчету значений атрибута из произвольных точек в узлы регулярной сетки называют "гридинг" (*gridding*).

В качестве основного картографического средства отображения в ГИС пространственного распространения геополей используется построение линий равного значения (изолиний). При этом точечные данные преобразовываются либо в линейные объекты, с которыми связывается определенный атрибут (собственно изолинии), либо в полигоны между изолиниями. Альтернативой гридингу является построение триангуляционной нерегулярной сети. Наука, которая занимается обсуждаемыми задачами, называется геостатистикой. В рамках этой науки разрабатываются методы, позволяющие оценивать и характеризовать пространственно-распределенные переменные. Рассмотрим несколько интерполяционных методов, чаще других применяемых в ГИС.

В триангуляционном методе точки взятия образцов соединяются линиями для образования мозаики треугольников [26]. Предпочтительным является использование триангуляции Делоне, при построении которой получаются треугольники, наиболее близкие к равносторонним. Данный способ удобен для моделирования топографических поверхностей в связи с тем, что легко представляются разрывы поверхности Земли, такие как обрывы, реки и т. д. Рисунок 4.5 иллюстрирует применение триангуляционного метода.

Внутри каждой треугольной фасетки функция изменяется линейно:

$$z = a + bx + cy. \quad (4.1)$$

Неизвестные коэффициенты находятся отдельно для каждого треугольника. Так, на рис. 4.5 неизвестная точка лежит внутри треугольника, для вершин которого можно записать следующие уравнения:

$$\begin{aligned} 42 &= a + 3b + 5c; \\ 32 &= a + 4b + 2c; \\ 28 &= a + 2b + 3c. \end{aligned} \quad (4.2)$$

Решение этой системы дает $a=4,8$, $b=4,4$, $c=4,8$. Таким образом, оцениваемая "высота" может быть вычислена для любой точки в треугольнике:

$$z = 4.8 + 4.4x + 4.8y. \quad (4.3)$$

Значение в точке (3,4) равно 37,2.

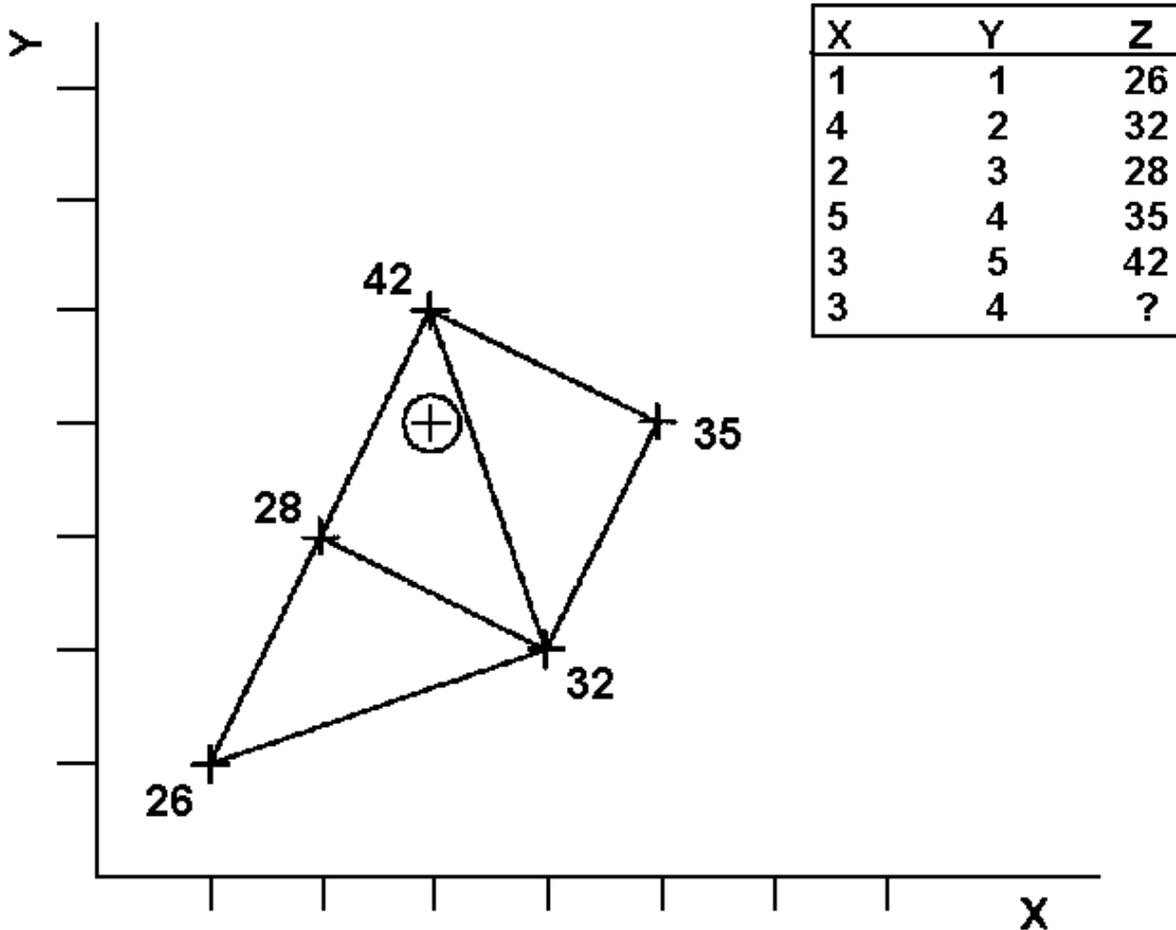


Рис. 4.5. Иллюстрация применения триангуляционного метода

При триангуляции генерируемая поверхность проходит через каждую исходную точку с известным значением интерполируемого геополя. Такое свойство является желаемым, если ошибки в определении данных малы. Например, если это возвышения поверхности Земли, определяемые высокоточными геодезическими приборами. Другая особенность триангуляционного метода заключается в том, что зона влияния каждой точки ограничена окружающими треугольниками и, следовательно, зависит от плотности исходных точек.

Для данных, имеющих неравномерное распределение и ошибки, более предпочтительным является использования методов подвижного сред-

него, где используются зоны влияния круглой и эллиптической формы. В одном из таких методов (методе Шепарда) используются веса, обратно пропорциональные расстояниям.

В общем виде формула для оценивания значения z_0 в некоторой точке по методу Шепарда выглядит следующим образом [29]:

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n w_i * z_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (4.4)$$

Здесь индекс i относится к точкам с известными значениями, попадающими внутрь зоны влияния (рис. 4.6).

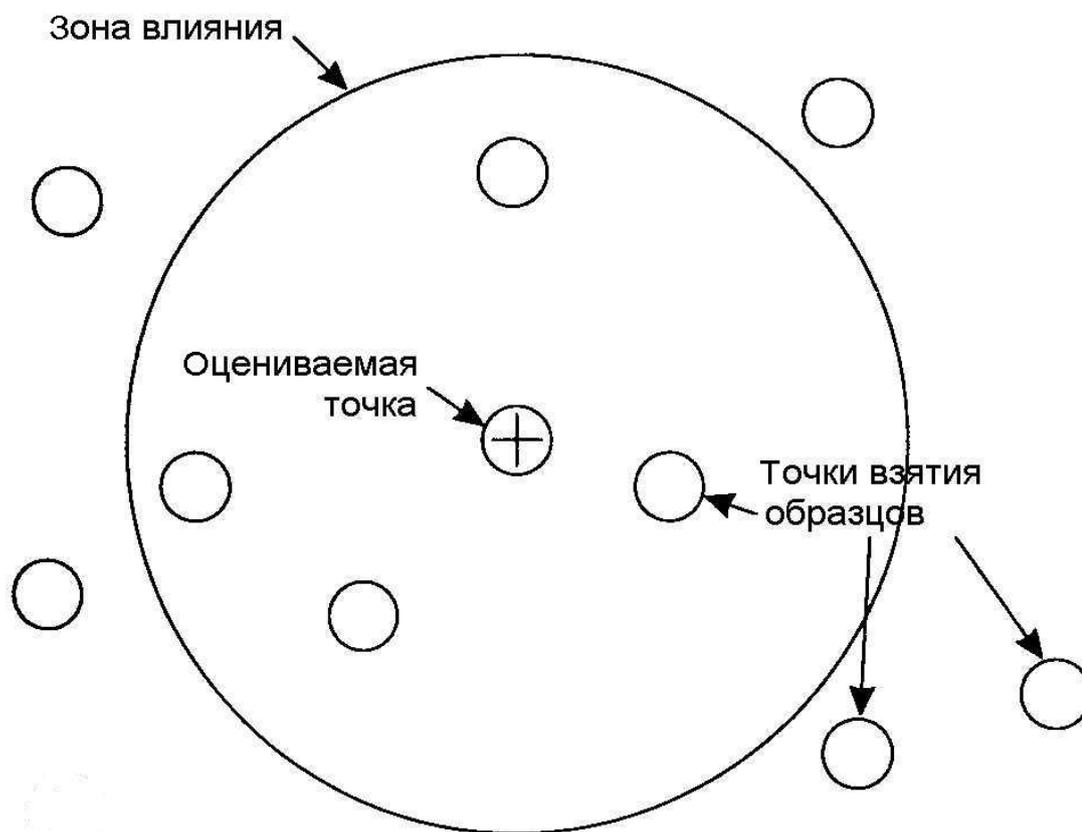


Рис. 4.6. Схема метода Шепарда с зоной влияния в виде окружности

Веса w_i в методе Шепарда вычисляются с использованием величины расстояния d_{io} между оцениваемой точкой и точкой с известным значением следующим образом:

$$w_i = 1 / d_{io}^2, \text{ либо } w_i = 1 / d_{io}. \quad (4.5)$$

Этот метод достаточно прост и широко применяется. Однако можно показать, что частные производные в исходных точках равны нулю. Это означает, что производные у истинной и модельной поверхности могут сильно различаться.

Другая схема этого метода использует для вычисления весов функцию, изображенную графически на рис. 4.7.

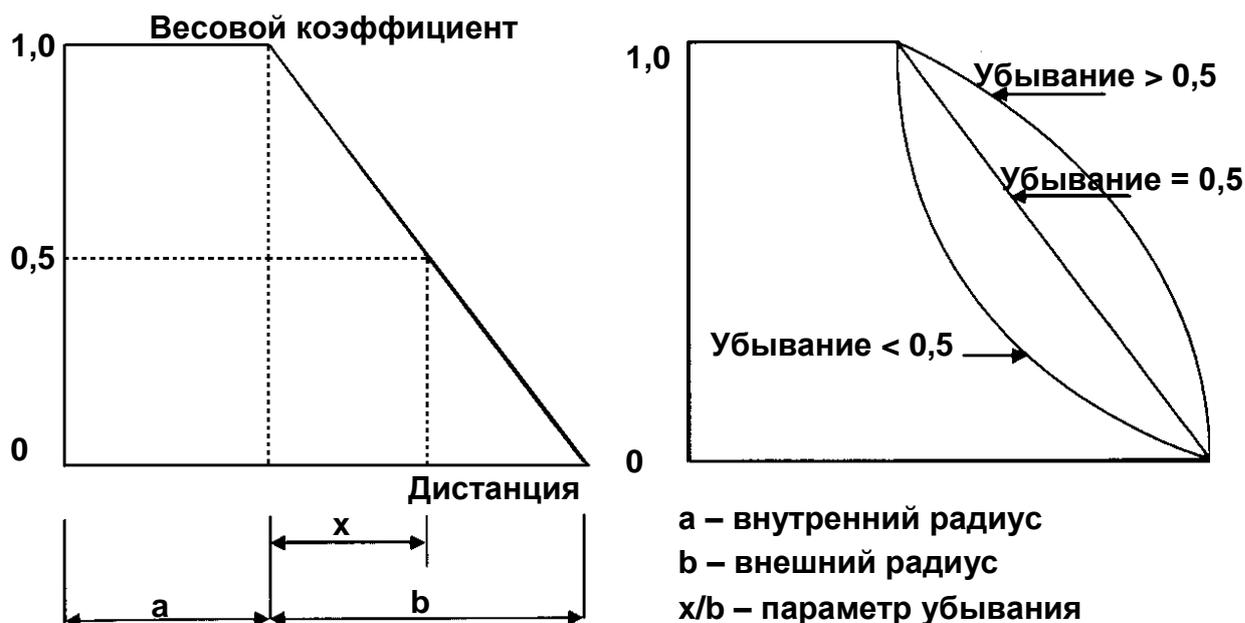


Рис. 4.7. Альтернативные схемы определения весовых коэффициентов

В такой модификации рассматриваемого метода (рис. 4.7) имеется три параметра:

радиус внутренней окружности a (в этой области веса для всех точек $w = 1$);

радиус внешней окружности b (вне этой области веса для всех точек $w = 0$);

параметр убывания x/b , где x – расстояние от внутренней окружности, на котором вес $w = 0,5$.

Главное преимущество метода Шепарда в его простоте и наглядности. К недостаткам следует отнести произвол в выборе параметров. Как следствие путем изменения параметров можно получать совершенно разные "поверхности" и, какой из них отдать предпочтение, не всегда ясно.

В методе кригинга [27] считается, что функция $f(x,y)$ является стационарной случайной функцией, т. е. измерение z в точке $p=(x,y)$ есть реализация случайной переменной Z . Из условия, что модель задает минимум дисперсии, получается так называемая система уравнений кригинга (система линейных уравнений), численное решение которой позволяет вычислить значение функции в заданной точке. У этого метода два важнейших параметра: тип вариограммы (вид корреляционной зависимости) и радиус влияния вариационной функции, т.е. максимальный радиус взаимовлияния соответствующих процессов, происходящих в разных точках.

При сравнении рассмотренных методов с точки зрения математической теории приближений ни одному из них нельзя отдать предпочтение, так как все они (при определенном задании параметров) имеют одинаковый порядок сходимости. Однако можно сказать, что моделирование на основе триангуляции – самый "быстрый" метод и наиболее приближен к "ручной" интерполяции. В большинстве случаев метод кригинга дает хорошие результаты, даже когда плотность точек невелика, но он требует достаточно большого объема вычислений и более сложен при реализации.

4.5. Пространственный оверлей

При принятии решений часто бывает необходимо проанализировать структуру и совместное распределение в пространстве двух и более явлений. Для реализации такого анализа в среде ГИС используются операции перекрытия (совмещения, наложения) или, как еще принято их называть, операции оверлея – от английского слова *overlay* – перекрытие, которые применяются к полигональным объектам [18]. Особенности послойной организации информации в ГИС позволяют рассматривать такие операции как операции оверлея двух и более слоев. На рис. 4.8 представлен пример операции оверлея [26].

В примере на рис. 4.8 в результате такого оверлея (так называемого "оверлея уникальных полигонов") полигонов, представляющих пространственное распределение признаков A и B в БД ГИС, создаются шесть новых полигонов типа C , с каждым из которых связано два атрибута, отражающих наличие полигонов с признаками A и B на территории этого полигона. Кроме приведенного на рис. 4.8, возможны и другие варианты операции оверлея, в которых в том числе могут учитываться значения атрибу-

тов исходных полигонов. Примеры таких операций представлены на рис. 4.9.

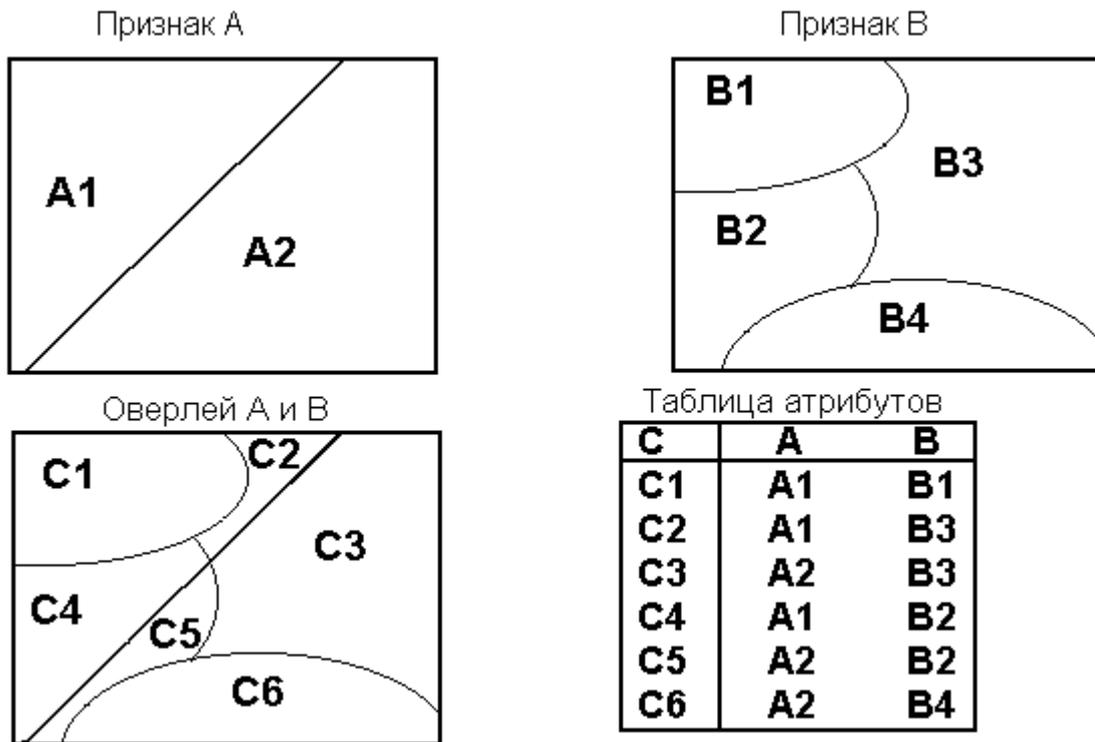


Рис. 4.8. Пример операции оверлея

Кроме чисто графических операций по генерации новых полигональных объектов, необходимо адекватное определение значений атрибутов, которое должно соответствовать смыслу решаемой задачи. Здесь возможно несколько вариантов. Например, в случае, когда атрибуты полигонов измеряются по интервальной или относительной шкале, то операции оверлея могут применяться для оценки значений атрибутов исходного полигона по данным полигонов, содержащих интересующую информацию, с использованием различных операций осреднения типа средневзвешенного по площадям:

$$z_i = \sum_{j=1}^n S_{ij} * z_j / \sum_{j=1}^n S_{ij} , \quad (4.8)$$

где z_i – оцениваемое значение атрибута в i -м исходном полигоне; n – количество полигонов, содержащих интересующую информацию (z_j), перекрывающих i -й исходный полигон и S_{ij} – площадь перекрытия.

Комментарии	Примеры		
	Исходные	полигоны	Результат
Ограничительный оверлей Первый полигон навязывает ограничение на остальные полигоны			
Оверлей типа "след". Полигоны из одного слоя накладываются сверху на полигоны второго слоя			
"Соединительный" оверлей. Полигоны с одинаковыми атрибутами объединяются.			
"Сравнительный" оверлей Результирующие полигоны формируются только при совпадении атрибутов			

Рис. 4.9. Возможные варианты операции оверлея

Например, если считать, что на рис. 4.8 слой **B** представляет собой изображение пространственного распределения зон с равным ставками за пользование услугами некоторой сервисной компании, то среднее значение платы за услуги этой организации на полигоне **A1** будет следующим:

$$F(A1) = (F(B1) * S(C1) + F(B2) * S(C4) + F(B3) * S(C2)) / S(A1), \quad (4.9)$$

где $F()$ и $S()$ ставка платежей на этом полигоне и его площадь, соответственно.

Важную роль при использовании ГИС в системах информационной поддержки принятия решений играет операция построения буферных зон. Суть этой операции состоит в том, что вокруг объекта строится полигон,

границы которого отстоят на заданном расстоянии от исходного объекта. Такая операция может применяться, когда необходимо, например, определить водоохранную зону или полосу отчуждения для железной дороги. Часто такие операции применяются для создания зон равноотстоящих от некоторой точки, например, точки предполагаемого строительства некоторого объекта [22].

В процессе проведения пространственного анализа в среде ГИС при решении управленческих задач часто используется сочетание построения буферных зон с операциями оверлея. Такая ситуация возникает, например, в том случае, когда необходимо выбрать участок территории (полигон), например, для будущего строительства (инвестиций), удовлетворяющий нескольким условиям, которые могут быть определены, в том числе, в виде буферной зоны.

Рассмотрим задачу выбора места под строительство объекта, которое должно удовлетворять следующим условиям [22]:

- 1) находиться на агрохимическом контуре сельхозпредприятия;
- 2) почва должна быть тяжело-суглинистой;
- 3) расстояние от основных дорог должно быть не менее 50 и не более 200 метров;
- 4) расстояние от водного объекта не менее 30 метров;
- 5) расстояние от населенного пункта не менее 300 и не более 600 метров.

На рис.4. 10 представлена реальная исходная ситуация в районе центральной усадьбы АОЗТ "Ленсоветовский" (территория административно подчиненная Санкт-Петербургу).

На рис. 4.11 отображены основные шаги по выбору места под строительство, представлены тематические карты, отражающие вышеприведенные ограничения и результирующая карта, на которой выделены участки, удовлетворяющие поставленным условиям.

На рис. 4.11, *А* показана буферная зона шириной 150 метров вокруг основных дорог, на рис. 4.11, *Б* показана буферная зона вокруг водных объектов, на рис. 4.11, *В* – буферная зона вокруг населенного пункта. На рис. 4.11, *Г* показаны полигоны, которые удовлетворяют исходным условиям и получены в результате оверлея всех этих буферных зон и полиго-

нов с механическим составом – тяжелые суглинки. Имея эти полигоны в БД ГИС, можно выбрать конкретное место для строительства, исходя из соображений, которые могут быть и не формализуемыми. Например, выбрать участок с наиболее подходящей конфигурацией.

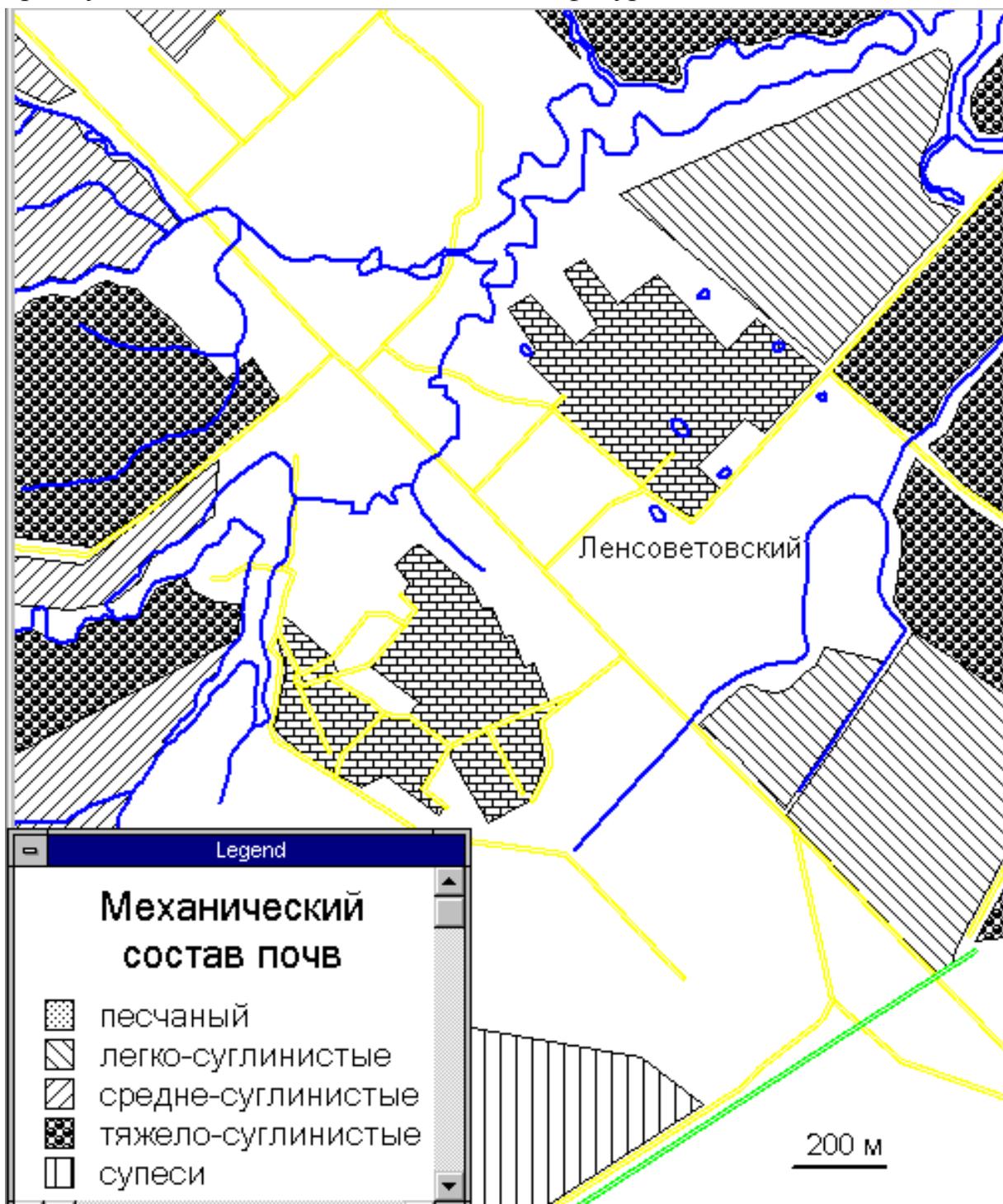


Рис. 4.10. Исходная ситуация для выбора места под строительство

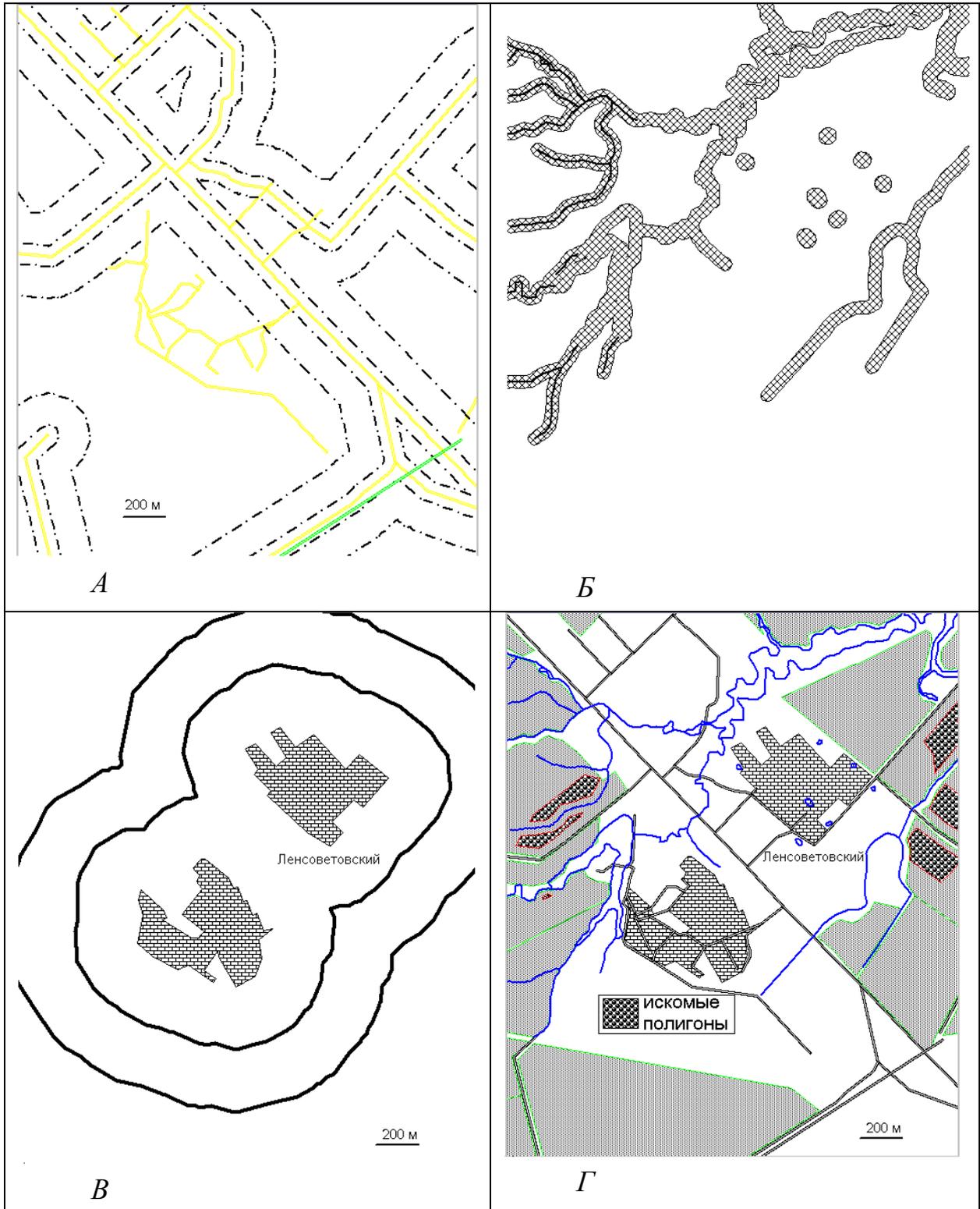


Рис. 4.11. Последовательность шагов принятия решения по выбору места под строительство в среде ГИС

Резюме

1. Визуализация является важнейшим методом реализации информационно-справочных функций ГИС в системах поддержки принятия управленческих решений.

2. ПО ГИС имеет средства, позволяющие динамически создавать тематические карты, на которых отображение пространственных объектов определяется текущим содержанием атрибутивной части БД ГИС. Для того чтобы на тематических картах отобразить изучаемые процессы или явления в ГИС, используется множество способов картографирования.

3. Самой простой формой пространственных запросов является получение характеристик объекта по указанию его курсором на экране и обратная операция, когда выделяются объекты с заданными значениями атрибутов.

4. Пространственный анализ означает выделение полезной информации из данных, распределенных в пространстве. Основной целью пространственного анализа в среде ГИС является выявление и анализ пространственной структуры и связи процессов и явлений, происходящих на территории.

5. При пространственном анализе непрерывных геополей удобно рассматривать задачу определения распределения некоторой характеристики в пространстве как задачу построения "поверхности" $z=f(x,y)$, где z – значение характеристики (атрибута), а (x,y) – координаты на поверхности Земли.

6. Алгоритмы и модели трансформации данных используются для представления данных в определенном виде. Примеры трансформаций: геометрические преобразования из одной системы координат в другие; преобразования данных внутри и между основными типами пространственных объектов – точек, линий и областей, которые включают как геометрические построения с созданием новых объектов, так и вычисление атрибутов вновь построенных объектов.

7. Метод преобразования точка–область, основанный на использовании полигонов Тиссена (Вороного), характеризуется тем, что полигоны всегда содержат только одну исходную точку и любая другая точка внутри полигона ближе к ней, чем к остальным исходным точкам. Такие полигоны

образуются посредством проведения срединных перпендикуляров к отрезкам, соединяющим соседние точки взятия образцов.

8. Интерполяционные методы лучше использовать в том случае, когда в точках отбора образцов определяется величина, представляющая собой непрерывную характеристику (геополе).

9. Для данных, имеющих неравномерное распределение и ошибки, более предпочтительно применение метода подвижного среднего, где используются зоны влияния круглой и эллиптической формы, например метод Шепарда.

10. При принятии решений для анализа структуры и совместного распределения в пространстве двух и более явлений в среде ГИС используются операции оверлея, которые применяются к полигональным объектам.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какая роль тематических карт при реализации ГИС проектов?
2. Какие методы пространственного анализа существуют и как они используются для информационной поддержки принятия управленческих решений?
3. Какие методы трансформации между основными типами данных используются в ГИС-технологиях?
4. Расскажите о методах трансформации данных, не использующих интерполяцию.
5. Какие существуют интерполяционные методы трансформации данных? Расскажите об одном из них.
6. Какие методы пространственного оверлея в ГИС существуют и как они применяются?

ТЕМА 5. ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИС ПРОЕКТАМИ

- 5.1. Основные проблемы реализации ГИС проектов.
- 5.2. Разработка бизнес концепции для ГИС проекта, идентификация текущих задач и требований пользователей
- 5.3. Анализ отношения расходов к доходам.
- 5.4. Разработка стратегического плана.
- 5.5. Организация работ по реализации ГИС проекта.

Ключевые термины Причина инициирования реализации ГИС проекта; организационные и технологические проблемы внедрения ГИС; изменение организационной структуры вследствие внедрения ГИС; срок возврата инвестиций; этапы процесса внедрения ГИС; подготовительная фаза ГИС проекта; бизнес концепция создания ГИС; оценка текущего состояния и методов работы в организации; идентификация требований пользователей; анализ расходов и доходов; стратегический план внедрения ГИС технологий; факторы, оказывающие влияние на процесс финансирования ГИС проекта; опросы и обследования пользователей; спецификации; внутренняя и внешняя эффективность; дата начала реализации проекта; метод внедрения ГИС технологий; географическое покрытие для ГИС проекта; пилот-проект; программа управления персоналом; организационная структура управления ГИС проектом.

5.1. Основные проблемы реализации ГИС проектов

Основной причиной, по которой менеджеры, работающие в организации, которая имеет дело с географически привязанной информацией, будут стремиться инициировать реализацию ГИС проекта, является повышение эффективности работы. Однако очевидно, что для перехода менеджеров от привычных методов работы к новым, основанным на использовании

ГИС технологий, требуются значительные затраты времени и материальных средств. Такой переход приведет к желаемому повышению эффективности работы менеджеров только в том случае, если будет соблюден разумный баланс четырех компонент: организации, технологии, кадров и задач (рис. 5.1).

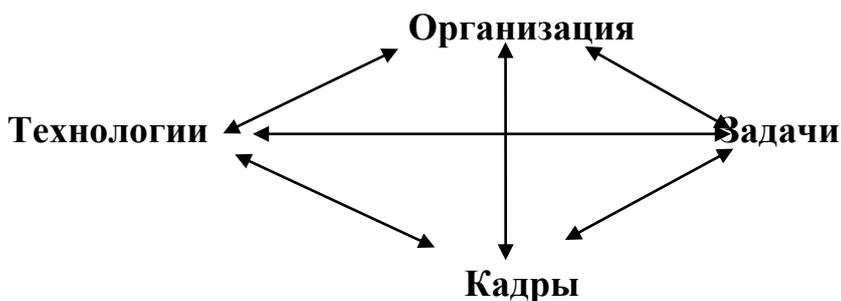


Рис. 5.1. Удачное внедрение ГИС в организации зависит от разумного баланса четырех компонент.

Первые шаги менеджеров по внедрению ГИС технологий в любой организации связаны с большим числом стратегических решений. Эти решения определяют все те выгоды и преимущества, которые могут быть получены в будущем вследствие перехода на работу с использованием ГИС технологий. Для перехода на новые технологии недостаточно просто приобрести компоненты ГИС системы. Программно-аппаратный комплекс ГИС может стать для менеджеров полезным инструментом информационной поддержки принятия управленческих решений, только тогда, когда этот комплекс должным образом адаптирован, поддерживается квалифицированным персоналом, а также обеспечен структурированными данными и организационными мероприятиями (см. рис.1.3). Таким образом, основные альтернативы в процессе внедрения ГИС определяются следующими четырьмя компонентами:

1. Данные
2. Программно-аппаратные средства
3. Квалификация персонала
4. Организация работы

Конкретные решения по этим компонентам принимаются достаточно независимо, а соответствующие предпочтения могут изменяться во времени трудно предсказуемым образом. Таким образом, существенную роль в процессе разработки ГИС системы для применения в какой-либо организации, должен играть системный подход. При этом проблемы и задачи, возникающие при внедрении ГИС, могут быть классифицированы на организационные и технологические.

На практике, при реализации ГИС проектов, больше внимания уделяется технологическим вопросам, а важность организационных проблем часто недооценивается. Такая же тенденция наблюдается и при внедрении других информационных технологий (ИТ). Английские исследования показывают, что 30% больших ИТ проектов имеют превышение бюджета по причине, в первую очередь, недостаточного внимания к организационным проблемам. В США подобные же исследования показывают, что только 10% проблем в ИТ проектах являются технологическими, а 90% относятся к организационным. Исследования, проведенные в скандинавских странах, показывают, что многие организации, имеющие опыт использования ГИС, понимают, что их разработки в области ГИС приносили бы больший доход при другой организации процесса внедрения.

Хотя процесс внедрения ГИС очень похож на процесс внедрения других ИТ, среди специалистов существует устойчивое мнение, что с организационной точки зрения внедрение ГИС является значительно сложнее. Такое мнение основано на объективных дополнительных сложностях, которые возникают по нескольким причинам. В частности, после внедрения ГИС пользователи будут нуждаться в специально организованном и регламентированном обеспечении данными из различных источников. Следовательно, для обеспечения соответствующего обмена информацией, адекватного новым задачам, необходимо разработать новые и зачастую более сложные взаимоотношения внутри организации, следствием чего почти всегда является изменение организационной структуры. Кроме того, для ГИС проектов характерна работа с информацией, которая создается в течение длительного времени, что для любой организации всегда порождает множество организационных проблем, связанных, например, с есте-

ственной сменой кадров и соответствующей утратой знаний и опыта специалистов.

Эти и другие сложности могут привести к возникновению ситуации, которая ведет к определенному разочарованию в полезности ГИС технологий. В первую очередь это связано с существованием достаточно длительного периода времени между началом инвестиций в ГИС проект и реализацией ожидаемых выгод. В обычных ИТ проектах допускается срок возврата инвестиций от одного до трех лет, в то время как для больших ГИС проектов этот срок достигает от 6 до 8 лет. При этом невозможно получить любую прибыль от ГИС, до тех пор, пока не будут созданы необходимые базы данных.

Реализация ГИС проекта, обычно включает в себя несколько этапов (см. обсуждение жизненного цикла ГИС системы в теме 1). Бюджет для этих этапов должен, конечно, отражать стоимость и сложность планируемой системы. Однако инвестиции в подготовительную фазу ГИС проекта, рассматриваемую ниже, составляют от 5 до 10% всего бюджета ГИС проекта и обычно адекватны минимизации проектного риска.

Как уже указывалось выше, процесс внедрения ГИС значительно отличается от своих обычных предшественников по ИТ. Следовательно, внедрение ГИС может привести к тому, что организация будет нуждаться в перестройке. Осторожный и реалистичный подход к такой перестройке обычно требует соблюдения баланса между изменениями организационного характера для обеспечения возможности применения ГИС технологий и соответствующей настройки ГИС технологий под нужды организации. Соответствующая деятельность образует наполнение подготовительной фазы ГИС проекта и включает:

- Разработку бизнес концепции создания ГИС и идентификацию целей ГИС проекта
- Оценку текущего состояния и методов работы в организации, включающую описание:
 - Задач, рабочих функций и методов работы
 - Основных данных
 - Используемых программно-аппаратных средств

- Поточков информации и данных
- Инфраструктуры обработки и передачи данных
- Потенциальных пользователей
- Идентификацию требований пользователей
- Анализ расходов и доходов, включающий оценку:
 - Условий для получения дохода
 - Мероприятий, проведение которых обеспечивает получение дохода
- Выбор стратегии внедрения ГИС технологий для определения:
 - Что должно быть автоматизировано
 - Даты начала проекта
 - Уровня инвестиций
 - Географического покрытия
 - Будущих потоков данных
 - Организационной структуры по управлению реализацией ГИС проекта
 - Бюджета и способа финансирования
- Разработку плана для будущего поведения (образа действий), включающего возможность изменения ГИС проекта

Современные подходы к разработке ИАС на базе ГИС основаны на рассмотрении информации как общедоступного и независимого ресурса. Этот ресурс "потребляется" пользователями множеством способов через интеграцию различных схем обработки данных. Планирование соответствующей структуры взаимодействия пользователей не должно быть ограничено только рамками организации. Схема работы ИАС на базе ГИС должна включать внешних пользователей и другие взаимодействующие организации. В этой связи большое значение имеют подготовительные работы. Они должны иметь цель повысить среди персонала организации желание переходить к использованию ГИС технологий, обеспечить необходимую квалификацию персонала, а также способствовать развитию новой

структуры организации. Следовательно, большое значение имеет человеческий фактор и квалификация сотрудников. При этом развитие программного обеспечения и различных новых методов обработки данных должно быть сбалансировано с деятельностью по внедрению организационных изменений.

5.2. Разработка бизнес концепции для ГИС проекта, идентификация целей и требований пользователей.

Тщательно подготовленная бизнес концепция должна стать основой для начала внедрения ГИС технологий в организации. В основе фундаментального решения о необходимости внедрения ГИС лежит необходимость в увеличении эффективности работы организации и повышении доходов учредителей. Это означает, что высшие руководители желают повысить с одной стороны внутреннюю производительность организации, а с другой - внешнюю конкурентоспособность. Руководители среднего звена обычно проявляют наибольшую профессиональную заинтересованность во внедрении новых ГИС технологий. Кроме того, внедрение ГИС часто является ответом на внутреннее и внешнее давление различных обстоятельств, требующих от организации перехода к решению задач новыми более прогрессивными методами.

Только после того как станут четко понятны причины и мотивы для перехода к использованию ГИС технологий, только затем с достаточной ясностью могут быть идентифицированы и сформулированы цели реализации ГИС проекта, а также определены методы достижения этих целей. Если эти очевидные требования не будут выполнены, это приведет к неудаче ГИС проекта или область его применения будет ограничена. При этом бизнес концепция образует основу для определения задач, которые будут решаться организацией с помощью новых методов, а формулировка требования пользователей являются следствием этих задач.

Цели создания ГИС должны быть сформулированы в таком виде, чтобы дать настолько точное, насколько это возможно описание того, какие результаты ожидается достичь в ходе выполнения проекта. Кроме того, цели должны быть реалистичными. Следует определить, по крайней мере, одну краткосрочную и одну долгосрочную цель внедрения ГИС, с тем, чтобы можно было бы рассматривать результаты внедренческой деятель-

ности в сравнении с этими целями. По этой причине, цели должны быть конкретными и насколько это возможно проверяемыми. Поэтому цели рекомендуется формулировать, например, в процентной форме как увеличение эффективности или дохода. Цели могут также определять сокращение расходов или состоять в необходимости удовлетворения требованиям внедрения нового типа обслуживания или продукта, в необходимости обеспечения реализации новых законодательных норм и т.д.

Внедрение любых новых информационных технологий, в том числе и ГИС технологий, основано на двух фундаментальных предположениях. Первое состоит в том, что новая технология позволяет решать старые задачи новыми более эффективными методами. Второе состоит в том, что благодаря новым технологиям появляется возможность дополнительно решать новые задачи, которые раньше были очень сложными или даже невыполнимыми. Поэтому, один из начальных этапов при внедрении новых ГИС технологий, состоит в ясной идентификации и описании текущих задач. Такое описание должно включать всех пользователей в организации, независимо оттого, что ГИС система, может быть, будет применяться первоначально только в одном отделе.

Первый шаг при проведении такой работы состоит в сборе информации обо всех существующих и потенциальных пользователях. Второй состоит в получении от этих пользователей информации о следующем:

- Все производственные процессы
- Все источники данных
- Все файлы и файловые системы
- Описание всех данных (включая состав, точность, полноту и временной фактор)
- Все пользователи данных
- Потоки данных и документов; связи между процессами, сотрудниками, а также внешними и внутренними файлами
- Как используются данные:
 - Задачи и программные продукты
 - Существующие методы принятия решений

- Как данные управляются и поддерживаются
- Описание текущих методов, включая все используемые компьютерные системы
- Человеческий фактор, включая рабочее окружение и индивидуальную компетентность сотрудников

Глубина и детальность описания должны быть адекватными задачам, решаемым в организации. Обычно организации уже компьютеризированы и поэтому сотрудники имеют на рабочих местах определенную инфраструктуру обработки данных. Поскольку эта инфраструктура может влиять на внедрение ГИС технологий, она должна быть рассмотрена и оценена с точки зрения соответствия следующим аспектам внедряемых ГИС технологий:

- общему подходу, выбранному для ГИС системы
- программному обеспечению ГИС
- пользовательскому интерфейсу
- базам данных
- операционным системам
- языкам программирования
- аппаратному обеспечению
- средствам коммуникации

Ясная диаграмма потоков информации обеспечивает понимание взаимодействия различных производственных процессов и процессов обмена информацией. Однако в связи с тем, что эти потоки могут быть сложными и поэтому трудными для описания, может возникнуть необходимость в применении специальных технологий и программных средств.

Описание текущих задач должно также содержать также оценку существующих и возможных факторов, оказывающих влияние на процесс финансирования ГИС проекта. На этой основе должен проводиться будущий анализ соотношения расходов и доходов. С этой целью необходимо:

➤ Рассмотреть проблемы, связанные с существованием распространяющихся задержек и ухудшением качества информации при передаче между исполнителями

➤ Сформировать описание некоторой идеальной ситуации для пользователей, которая может быть реализована с использованием новой технологии, содержащее:

Требования к новым продуктам и уровню сервиса

Пути изменения текущих продуктов и сервиса

Необходимые организационные изменения

➤ Определить проектируемую экономию времени и/или сокращение расходов в результате реализации идеальной ситуации

➤ Оценить косвенное влияние внедрения новой технологии

➤ Оценить количество пользователей в настоящем времени и в будущем

Бизнес концепция ГИС проекта образует основу для определения задач, которые будут решаться в организации с помощью ГИС технологий, а требования пользователей являются следствием этих задач. Следовательно, необходимо, чтобы эти задачи были однозначно идентифицированы и ясно понимаемы. Таким образом, определение требований пользователей тесно связано с разработкой бизнес концепции ГИС проекта, и должно быть частью построения общей бизнес концепции развития организации вообще. При этом определение требований пользователей является процессом, которому должно быть уделено огромное внимание в работе не только до, но и после приобретения ПО ГИС.

Для идентификации требований пользователей используются два основных метода:

➤ Опросы и обследования пользователей

➤ Рабочие совещания

Опросы пользователей обычно осуществляются как часть общего обследования организации при установлении потенциала для использования ГИС технологий. В таких обследованиях пользователей для сбора од-

народной информации, которая будет поступать из различных источников, лучше использовать стандартные вопросники. При этом особое внимание должно быть уделено выбору репрезентативных респондентов, чтобы собираемая информация была значимой. При заполнении вопросников всегда существуют потери информации, связанные, в частности с неправильной интерпретацией вопросов. Кроме того, пользователи не всегда четко представляют свои потребности. Поэтому обследование пользователей лучше проводить в форме персонального интервью. К сожалению, это дорого и требует больших временных затрат. В большинстве случаев опрос может быть ограничен репрезентативной выборкой, включающей пользователей, которые получают наибольшую выгоду от внедрения новых ГИС технологий. Указанная выборка должна включать также и широкий спектр других пользователей, чтобы дать хорошую общую картину того, что ожидается в организации от перехода к использованию ГИС технологий. При формировании списка лиц, среди которых планируется проводить опрос, следует учитывать, что интервью с сотрудниками, занимающимися передачей информации, являются более продуктивными, чем с лицами, занимающимися непосредственно производством.

Интервью лучше проводить лицам, имеющим опыт работы с ГИС. Эти люди, являясь специалистами по ГИС технологиям, могут не только провести интервью, но и помочь респонденту отвечать на вопросы во время его проведения путем разъяснения особенностей ГИС технологий. Одна из трудностей таких обследований состоит в том, что даже очень опытный пользователь ГИС редко эксплуатирует полный потенциал ГИС технологий, а потенциальные выгоды от ГИС системы становятся очевидными только после того, как определены цели внедрения ГИС. Поэтому следует четко себе представлять, что обследование пользователей может обеспечить обзор только того, что имеет место только на момент проведения интервью.

Рабочие совещания должны проводиться параллельно с обследованием пользователей для формализации и документирования идентифицированных требований пользователя. А с момента начала процесса внедрения ГИС в организации, рабочие совещания должны служить инструментом для ускорения этого процесса.

Информация, собираемая при проведении опросов пользователей и рабочих совещаний, будет основой для составления длинного списка различных потребностей пользователей. Этот список в дальнейшем будет нуждаться в структурировании и независимой оценке. Бизнес концепция должна являться основой для всех оценок. Следовательно, должны оцениваться только те требования, которые соответствуют бизнес концепции. Идеально, если ранжирование потребностей будет основано на жестком анализе расходов и доходов.

После идентификации требований пользователя и формулирования их в виде документа с необходимыми согласованиями можно переходить к разработке соответствующих спецификаций. Хотя может использоваться разная терминология, такие спецификации для разработчиков обычно включают две части: спецификацию приложений и функциональную спецификацию. Спецификация приложений устанавливает потребности организации или пользователей ГИС в терминах производственных процессов, которые будут использовать ГИС технологии. В этих спецификациях формулируется логическая модель данных. Определяется требуемый уровень сервиса, включающий число пользователей, их расположение, требуемое время доступа и уровень производительности. Функциональные спецификации определяют, как ПО ГИС будет применяться для удовлетворения выявленных ранее потребностей.

5.3. Анализ отношения расходов к доходам.

Предпосылкой для получения финансирования для ГИС проекта должны быть предложения по внедрению, которые основаны на жестком плане и финансовой оценке. Менеджерам для того, чтобы принять решение о проведении ГИС проекта важно знать:

- что может быть достигнуто с помощью ГИС технологий
- как может быть достигнуто правильное решение
- какие мероприятия должны быть проведены
- какой доход может быть получен от внедрения ГИС

Анализ отношения расходов к доходам обеспечивает выбор из возможных альтернатив реализации ГИС проектов тех, которые показывают большую рентабельность. Основу для такого анализа обеспечивают обсле-

дования пользователей и результаты проведения пилот проекта. При этом финансовые оценки в основном нацелены на следующее:

- Классификацию предполагаемых вариантов реализации ГИС проекта
- Принятие решения о том, какой проект должен реализовываться

Результаты анализа отношения расходов к доходам также служат основой для формирования плана будущих исследований по расширению использования ГИС технологий. Кроме того, такой анализ помогает в планировании и переработке текущего ГИС проекта для увеличения его рентабельности. Другие ожидаемые результаты анализа доходов и расходов связаны с формированием понимания влияния различных факторов на финансовые результаты внедрения ГИС технологий и, соответственно, улучшение планирования.

Традиционный теоретический анализ отношения расходов к доходам имеет тенденцию уделять особое внимание увеличению эффективности и производительности, которое получается в результате внедрения новой технологии, что выражается в терминах рентабельности. Однако оценка перехода на новые технологии кроме экономических факторов должна включать и социальные факторы. Это предполагает широкий взгляд, который включает как внутреннюю, так и внешнюю эффективность. Поэтому социально-экономический анализ расходов основан на включении всех компонент, подвергающихся воздействию со стороны рассматриваемых изменений.

Внутренняя эффективность (выгода) может быть измерена либо в терминах возрастания производительности или как экономия времени и средств. Однако экономия времени имеет место только тогда, когда сэкономленное время может быть использовано для получения равноценных преимуществ где-либо еще в организации.

Внешняя эффективность организации определяется тем, как хорошо она обслуживает своих потребителей. Для пользователей возрастающая эффективность проявляется в более низкой цене и высокой производительности. С социально-экономической точки зрения дополнительные эффекты могут возникать за счет увеличения поступления налогов от новых

инвесторов, увеличения числа квалифицированных работников, сокращения безработицы и т.д.

Анализ отношения расходов и доходов подразумевает проведение такой оценки для нескольких вариантов. Затем эти варианты внедрения ГИС технологий сравниваются с точки зрения того, как новые технологии будут использоваться в течение заранее установленного периода времени. Всегда в качестве одной из альтернатив рассматривается нулевой вариант, который подразумевает отсутствие каких-либо изменений в технологии. Другие варианты подразумевают различные степени технологических изменений. При этом каждый анализируемый вариант должен быть конкретным. Для этих вариантов проводится индивидуальная оценка отношения расходов и доходов, которая должна быть независимой от нулевого варианта. Таким образом, проведение социально-экономических оценок включают несколько этапов:

1. Определение перечня возможных вариантов - альтернатив реализации мероприятий по внедрению ГИС
2. Формулирование и утверждение единых для всех вариантов предположений для вычислений
3. Оценка позитивных и негативных эффектов различных проектных альтернатив
4. Перевод всех показателей в количественные (для расходов и доходов)
5. Вычисление отношения расходов к доходам
6. Рассмотрение эффектов, которые нельзя выразить количественно
7. Проведение анализа чувствительности, если это необходимо
8. Выработка необходимых рекомендаций по улучшению рассматриваемых альтернатив или выбор окончательного варианта
9. Установка предварительных условий для реализации выгоды
10. Разработка стратегического плана, включая предложения по бюджету

Расчет расходов обычно является прямым. Но когда учитываются социально-экономические факторы, расчет расходов нуждается в более тонкой настройке. Это связано с тем, что трудно сформулировать все фак-

торы в виде четких определений. Расчет расходов обычно включает следующие позиции:

1. Плановые расходы:

- Внутренняя заработная плата персонала
- Внешние консультанты
- Оборудование и материалы для каждой стадии разработки
- Командировки и организация совещаний

2. Расходы на внедрение:

- Преобразования данных
- Компьютеры
- Периферия
- Базовое ПО
- Стоимость установки
- Разработка нового ПО
- Сетевое обеспечение
- Помещение для компьютеров
- Системы безопасности

3. Эксплуатация и поддержка:

- Затраты на персонал (заработная плата, обучение, поддержка пользователей и администрации)
- Внешние консультанты
- Поддержка оборудования
- Поддержка ПО
- Начальное наполнение БД
- Поддержка БД в актуальном состоянии
- Переход на новые технологии
- Эксплуатация системы
- Обеспечение расходными материалами

- Административные расходы
- Стоимость капитала
- Страховка
- Оплата процентов и аренды

Кроме того, могут присутствовать косвенные потери, включающие:

- Возрастание уязвимости производственной деятельности - излишнее доверие к компьютерам может обмануть ожидания из-за неправильной их работы, а также аварии оборудования или сбоев в ПО
- Ухудшение условий труда из-за шума оборудования, утомительных задач по оцифровке и т.д.
- Возрастающие требования к уровню квалификации работников, которые могут исключить возможности для некоторого персонала

Потенциальные выгоды могут быть поделены на три категории:

1. Выигрыш в ресурсах:

- Сокращение необходимого постоянного персонала
- Сокращение требуемого временного персонала
- Уменьшение случаев срыва сроков выполнения заказов
- Экономия на оплате консультантов
- Сокращение текущих расходов

2. Выигрыш в предоставляемых услугах и товарах:

- Возрастание количества задач, выполняемых за определенное время (увеличение производительности труда)
- Более быстрая обработка заказов
- Уменьшение ошибок производства
- Продажа новых продуктов

- Более эффективное определение стоимости товаров и услуг

3. Выигрыш в результатах деятельности

- Возрастание оборота
- Упрощение доступа к информации
- Упрощение восприятия результатов работы
- Уменьшение персонала, вовлекаемого в производство
- Улучшение внутренних и внешних взаимосвязей
- Уменьшение стоимости и меньше работы для контрагентов

Неявные выгоды могут включать:

- Более быстрый доступ к информации
- Повышение качества товаров и услуг
- Более обоснованные решения
- Более быстрые решения
- Расширение возможностей по использованию информации
- Повышение качества анализа деятельности организации
- Повышение качества стратегического планирования и менеджмента
- Улучшение понимания проблем
- Повышение компетентности и более квалифицированное обслуживание клиентов
- Повышение конкурентоспособности организации в целом
- Обновление и расширение возможностей организации
- Больше карьерных возможностей для персонала
- Переход к менее рутинной работе

➤ Усиление финансового менеджмента

В общем случае все реальные косвенные эффекты позитивные и негативные должны быть описаны и включены в процесс принятия решений.

Расходы и доходы часто появляются в разное время: расходы появляются раньше - перед доходами. Качественная картина кривых годовых расходов и доходов при реализации ГИС проекта, представленная на рис. 5.2, показывает, что доходы всегда появляются после периода инвестиций. Кривые расходов и доходов отражают результаты анализа успешных ГИС проектов, которые позволяют сделать вывод, что сбор создание базы данных обычно составляет от 60 до 80% суммарных расходов.

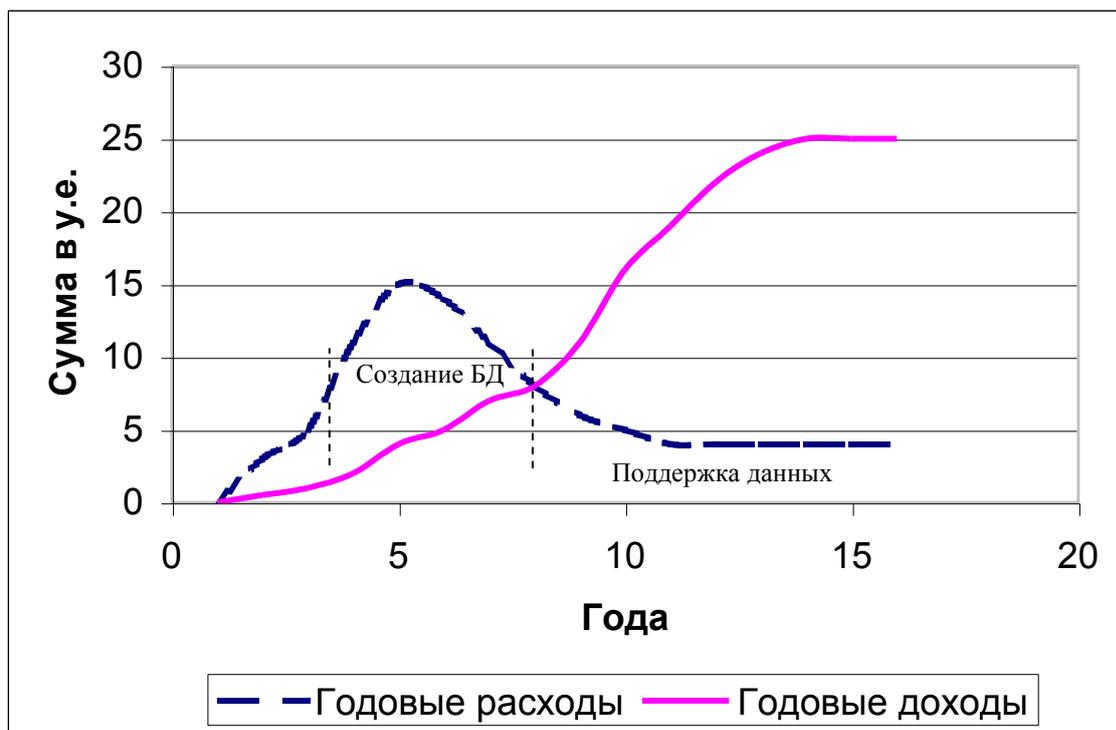


Рис.

5.2. Качественная картина кривых годовых расходов и доходов при реализации ГИС проекта.

Расходы и доходы могут быть разделены на неповторяющиеся (разовые) и ежегодные. При этом значения характеристик должны быть сформулированы в терминах текущих значений без коррекции на колебания

уровня цен и будущие значения должны быть дисконтированы для того, чтобы получить возможность оценки в терминах текущих значений. Соответствующая процедура включает вычисление приведенной стоимости потенциальных инвестиций, которая учитывает дисконтированные значения ожидаемой прибыли и ожидаемых расходов. Чистая приведенная стоимость (NPV) вычисляется согласно соотношению:

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t} \quad (5.1)$$

где B_t - прибыль или доход и C_t - затраты во время t в годах r - уровень инфляции и T - временной горизонт (точка во времени, определяемая как конец экономической жизни проекта или время для которого оценки больше не делаются).

Анализ расходов и доходов включает учет соответствующих предварительных условий, которые существенно влияют на оценку каждого варианта ГИС проекта. Эти условия будут иметь решающее значение при выработке рекомендаций, которые будут получены в результате анализа расходов и доходов. Предварительные условия обычно включают следующее:

- Какие решения должны быть приняты
- Какие мероприятия должны быть инициированы

Ответы на следующие вопросы будут основой для прояснения факторов определяющих формирование предварительных условий:

- Имеется ли необходимость для новых разработок?
- Нуждается ли организация в новых методах работы?
- Является ли реорганизация необходимой?
- Когда могут быть получены доходы?
- Предусмотрена ли адаптация для служащих?
- Какие существуют связи и отношения с другими проектами?
- Какие существуют связи и отношения с другими внутренними и внешними видами деятельности?
- Какой будет временной график выполнения проекта?

- Сколько бюджетных периодов понадобится для включения в них инвестиций в этот проект?
- Имеются какие-либо специфические расходные и ресурсные ограничения?
- Кто утвердит начало проекта?

Кроме того, следует учитывать, что роль различных факторов, не всегда является ясным в начале проекта. Поэтому рекомендуется выполнить анализ чувствительности для идентификации предположений, к которым особенно чувствительны результаты анализа расходов и доходов. Такой анализ чувствительности состоит в том, что даются небольшие изменения предположений (параметров) решаемой проблемы для выявления того, как эти изменения влияют на результат. Анализ чувствительности включает вычисления, которые основываются на следующих предположениях:

- Пессимистических или оптимистических предположениях о расходах и доходах
- Отсрочка различных действий или инвестиций
- Изменение порядка действий
- Изменение темпов инвестиций

Не существует точных критериев для оценки приемлемой величины отношения расходов и доходов. Однако опыт показывает следующее:

1. Проекты, для которых оценки дают отношение расходов и доходов 1:2 или больше, должны рассматриваться как подходящие по коммерческим и социально-экономическим критериям.

2. Проекты, для которых оценки дают отношения расходов и доходов между 1:0,8 и 1:2 должны рассматриваться как те, для которых должен быть продолжен анализ с целью сокращения расходов и возрастания доходов.

3. Проекты, для которых оценки дают отношения расходов и доходов меньше 1:0,8, должны быть отвергнуты.

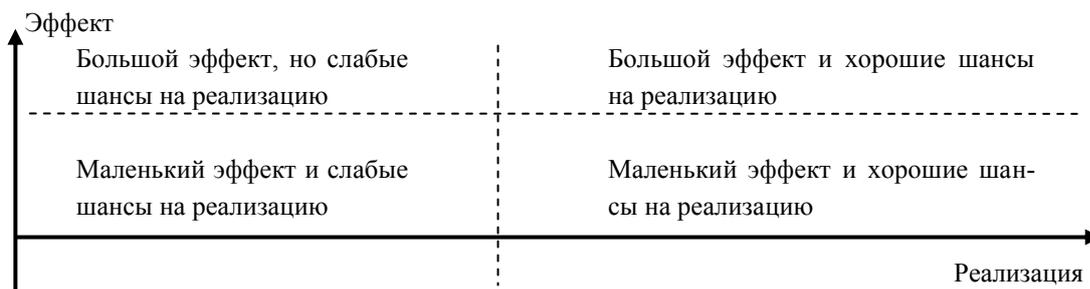


Рис.5.3. Схематичное изображение 4 типов проектов

Соотношение расходов и доходов, однако, является недостаточным базисом для окончательного решения менеджера относительно того, какой проект должен быть выбран для реализации. При окончательном решении должны также приниматься во внимание качественные факторы (неколичественные эффекты). Неколичественные эффекты должны учитываться в равной степени для всех сравниваемых проектов. При этом могут быть выделены следующие четыре категории проектов, которые схематично представлены на рис. 5.3.

Очевидно, что отнесение какой-либо альтернативы к одной из категорий будет иметь различное влияние на окончательное решение:

5.4. Разработка стратегического плана.

Ключевым моментом в реализации ГИС является формирование соответствующей стратегии. Она будет использоваться для описания методов разрешения различных конфликтных ситуаций, возникающих при реализации целей ГИС проекта. На основе анализа расходов и доходов в процессе планирования стратегии должны быть прояснены предварительные условия и основные положения относительно следующих моментов:

- какие решения должны быть приняты
- какие шаги должны быть предприняты по реализации этих решений
- как должны проводиться эти шаги
- какие ресурсы должны быть при этом использованы и кем

Технологии, включаемые в ГИС проект, непрерывно совершенствуются и разрабатываются очень быстро, так что пользователи ГИС имеют возможность постоянно создавать все новые и новые приложения. Следовательно, стратегический план должен быть достаточно гибким, чтобы допускать его изменение согласно меняющимся условиям. Стратегический план должен быть основан на результатах анализа расходов и доходов. В этом плане отражается как инвестиции в ГИС проект будут сбалансированы по отношению к другим будущим и текущим инвестициям, планируемым в организации. В итоге стратегический план должен идентифицировать и выявить:

- Что должно быть автоматизировано при реализации ГИС
- Наиболее подходящую дату начала реализации проекта
- Метод внедрения ГИС
- Уровень инвестиций
- Географическое покрытие, необходимое для реализации проекта
- Будущие потоки и взаимосвязи данных, возникающие после внедрения ГИС
- Позиционирование проекта в структуре организации
- Необходимые изменения организационной структуры вследствие внедрения ГИС
- Организационные вопросы реализации проекта
- Возможности по развитию человеческого ресурса и обучению персонала
- Вопросы бюджета и финансирования

Далее рассмотрим эти аспекты более подробно.

Текущие потоки данных, технология производства, а также анализ расходов и доходов образуют основу для понимания того, что должно быть автоматизировано. При выяснении предмета автоматизации должны быть даны ответы, в частности, на следующие вопросы:

- Какие текущие производственные процессы будут замещены с помощью ГИС?

- Какие данные на бумажных носителях будут заменены файлами в БД ГИС?
- Какие виды документооборота заменятся на электронные коммуникации через сети передачи данных?

Одно из первых решений, которые должны быть сделаны при изменении технологии, относится к дате начала проекта. Опыт внедрения ГИС показывает, что нет пользователей ГИС, использующих средства ГИС и считающих, что они должны были бы отложить на более поздний срок свой переход к использованию ГИС. Наоборот, большинство считают, что они должны были начинать раньше. Таким образом, можно сделать вывод, что организация, собирающаяся внедрять ГИС, должна начинать соответствующую деятельность как можно раньше. При этом, чем больше запаздывание со стартом, тем дольше ожидание доходов. Рисунок 5.3 дает представление о качественной картине последствий задержек с началом реализации ГИС проекта. Более ранний старт (рис.5.4 А) обычно дает более высокое отношение доходов и расходов, чем более поздний (рис.5.4 Б).

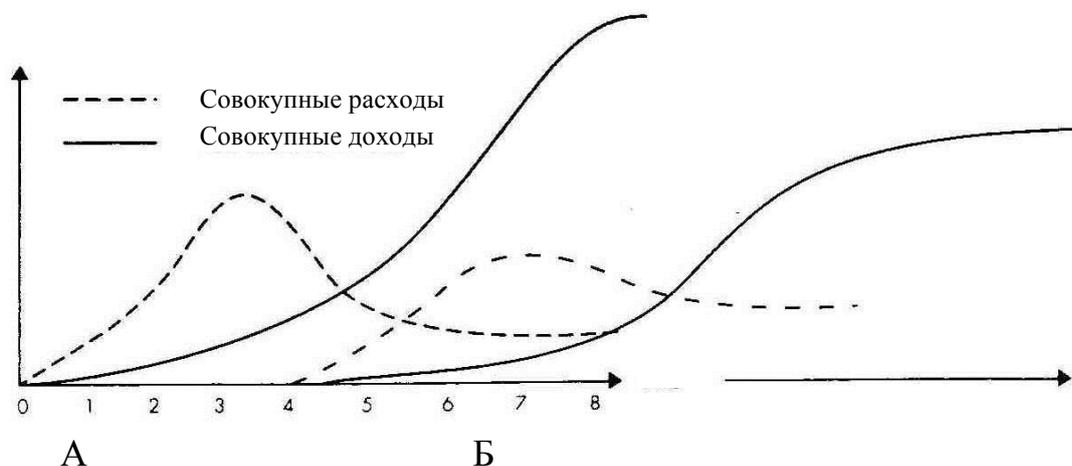


Рис. 5.4. Сравнение раннего и более позднего начала внедрения ГИС.

Как показывают многочисленные примеры, поздний старт может стоить не меньше, чем ранний. Однако обычно при затягивании сроков начала совокупные выгоды от проекта меньше, также как и отношение доходов к расходам. Самым распространенным аргументом для обоснования

отсрочки инвестиций в новые технологии является утверждение о том, что скоро будут доступны более новые и лучшие технологии. Однако достаточно длительный опыт пользователей ГИС показывает, что такие отсрочки редко показывают прибыльность. Подводя итог, следует выделить факторы, которые должны определять сроки открытия финансирования ГИС проекта:

- Существуют подходящие и достаточно современные технологии
- При откладывании начала на более поздний срок, получение дохода также откладывается и поэтому уменьшается прибыльность проекта
- Все технологии развиваются непрерывно, так что не существует единственно хорошего времени для начала

При выборе стратегии внедрения следует учитывать, что особенностью ГИС проектов является то, что перед тем как все преимущества ГИС технологий можно будет полностью использовать, всегда будет присутствовать относительно длительный период для создания баз данных (см. рис.5.2). Длительным также будет период внедрения вместе с обучением работе с ГИС системой и приспособлением персонала к новым методам работы. Поэтому при внедрении ГИС следует избегать резких изменений в производственных технологиях. Растянутый период внедрения ГИС будет, конечно, вести к тому, что новые и старые методы работы будут использоваться параллельно, в одно и то же время. Это ведет к возникновению определенных проблем, но дает дополнительную страховку для менеджеров на случай каких-либо сбоев в процессе внедрения новых технологий. Поддержание параллельных методов может быть очень нежелательным для персонала. Одним из способов смягчения ситуации может служить создание условий, чтобы вознаграждение сотрудников не уменьшалось во время относительно длительного периода внедрения, когда производительность труда падает. Это даст возможность для персонала основательно обучиться новым методам работы.

Обучение работе с ГИС технологиями, изменение методов работы и другие организационные изменения, которые часто сопутствуют ГИС, мо-

гут проводиться несколькими различными методами. При этом целесообразно проведение пилот-проекта, который имеет следующие цели:

- Оценить организационные проблемы
- Оценить требования персонала и время, необходимое для перевода данных из обычной формы в цифровую.
- Повысить положительное отношение в организации к концепции ГИС проекта
- Решить промежуточные организационные проблемы
- Обеспечить проверку анализа доходов и расходов
- Улучшить оценку времени накопления данных
- Улучшить оценку времени появления доходов

Принятие решения о начале инвестиций определяется ограничением на инвестиции в новые технологии внутри обычного бюджета организации. Кроме того, следует учитывать, что инвестиции впоследствии надо будет проводить в течение длительного периода. При внедрении ГИС начальные инвестиции являются относительно большими, а произвести их надо за короткий срок. Подобная картина является характерной в случае перехода от традиционных технологий к компьютерным. Эта тенденция должна учитываться при принятии решения о сроках наполнения БД ГИС. Затягивание с созданием БД ГИС увеличивает расходы без соответствующего увеличения доходов, а осторожные инвестиции часто дают меньший эффект, чем агрессивные.

На рис. 5.5 представлена иллюстрация того, что агрессивные инвестиции часто более эффективны, чем осторожные. Линейно растущие инвестиции (рис. 5.5 А) внутри ограничений обычного бюджета дают линейно возрастающие доходы, которые могут оказаться меньше расходов, что делает весь проект нерентабельным. Значительные инвестиции на ранних стадиях (рис. 5.5 Б), например, в создание цифровых БД, могут дать доход, который быстро превысит расход, демонстрируя высокую рентабельность проекта.

крытию. Эти различия определяются либо функциональными, либо административными особенностями. При этом пользователь сможет реализовать свои выгоды от ГИС только после того, как будет полностью создано цифровое географическое покрытие, отвечающее его потребностям. Поэтому методы решения проблемы географического покрытия имеют значительное влияние на анализ отношения расходов и доходов. Это связано с тем, что создание такого покрытия требует больших начальных инвестиций в формирование данных, а также некоторых текущих затрат на использование и поддержку.

Как только подготовлен проект ГИС, возникает вопрос относительно того, в какой последовательности должно проходить внедрение. С инвестиционной точки зрения, первой должна внедряться та часть ГИС проекта, которая обеспечивает наибольший безусловный доход. Но для большинства пользователей более ощутимые выгоды приносит та часть, которая охватывает несколько пространственно привязанных тем (тематических атрибутивно-графических БД), относящихся к одной области или региону. Это связано с синергетическим взаимодействием различной тематической информации из БД ГИС.

Например, оцифровка границ земельных участков дает возможность обеспечить пользователей ГИС информацией о собственниках участков, а оцифрованные данные о дорогах дают возможность обеспечить информацией о дорогах. Однако если обе эти тематические БД доступны одновременно, ГИС может обеспечить добавочную информацию. В этом случае появляется возможность получить ответы на такие вопросы как "Какие собственники находятся рядом с какими дорогами?" или "Какие собственники могут повлиять на возможное расширение дорожной сети?"

Общие рекомендации по выбору размера географического покрытия могут быть сформулированы следующим образом:

- Для получения выгод должно быть создано, по крайней мере, одно тематическое покрытие на весь рассматриваемый регион или область

- Следует сокращать тот период времени при переходе к ГИС, в течение которого обычные и цифровые данные используются одновременно
- Несколько тематических БД, относящихся к региону или области, могут синергетически увеличивать выгоды для пользователей

Величина потенциальной выгоды от использования ГИС технологий в организации определяется географическим покрытием, количеством тематических слоев и качеством данных. Для лучшего понимания взаимодействия этих трех параметров полезно рассмотреть так называемый "куб полезности", показанный на рисунке 5.6.

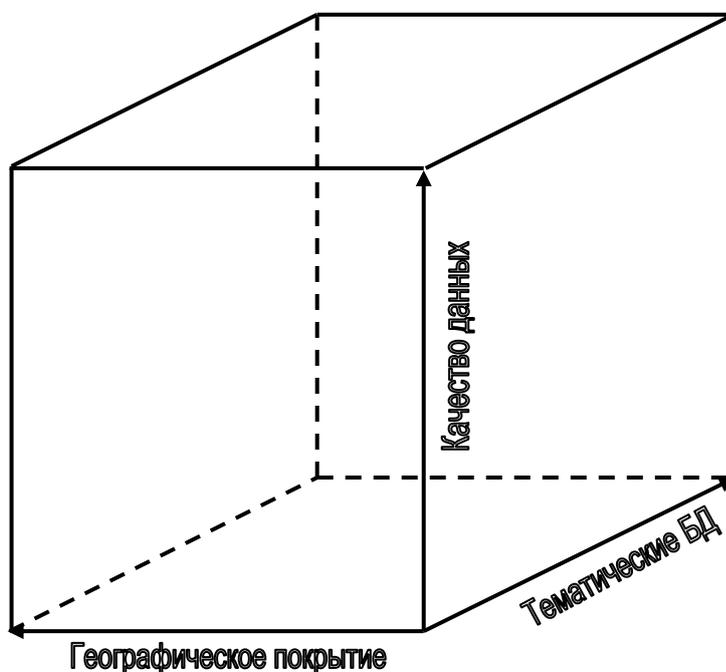


Рис. 5.6. Полезность ГИС определяется тремя параметрами

Описание будущих потоков данных должно отражать те функции, которые будут выполняться с помощью ГИС. Сравнение будущих и текущих потоков данных помогает для этих рабочих функций идентифицировать следующее:

- Какие станут лишними?
- Какие должны быть добавлены?

➤ Какие должны быть модифицированы?

Практически в любой организации изменение общих потоков данных, вызываемых переходом от обычных средств к ГИС, может быть рассмотрено как переход при решении текущих задач от последовательной к параллельной обработке. Эта ситуация схематично показана на рисунке 5.7.

Эффективная эксплуатация новых технологий в организации часто приводит к перестройке методов работы и связей между подразделениями, что влияет на организацию в целом (рис. 5.8). Трудности в преобразовании организации связаны с формальными и неформальными отношениями, которые всегда присутствуют в подразделениях. Организационные изменения меняют и отношения между членами коллектива. При этом во всех изменениях, связанных с персоналом, всегда следует учитывать человеческий фактор, влияние которого трудно предсказывать и контролировать.

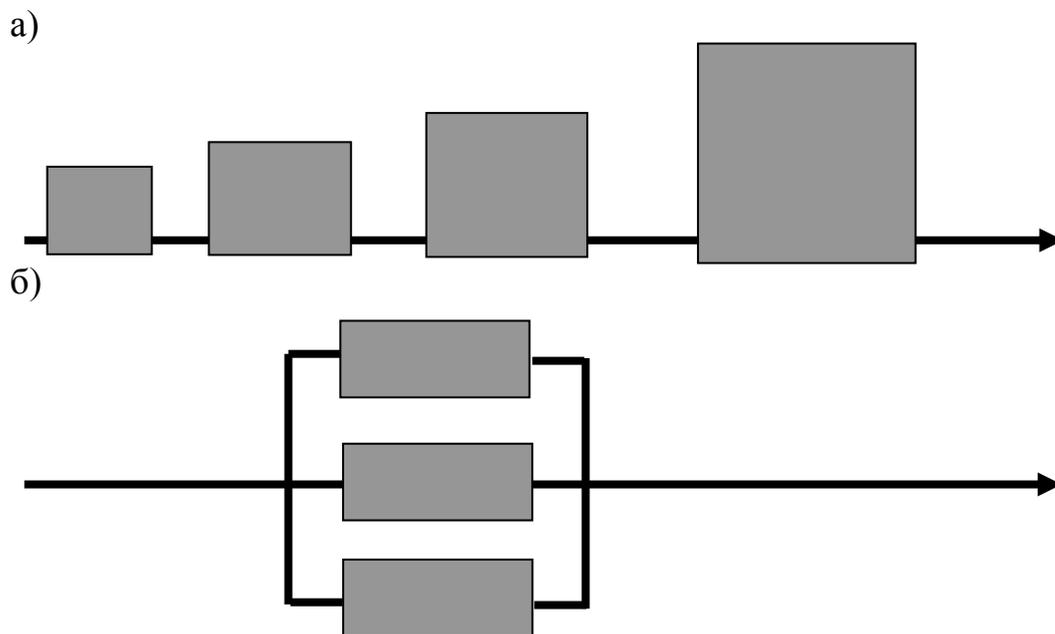


Рис. 5.7. В организации ГИС может изменить последовательную обработку (а) на параллельную (б).

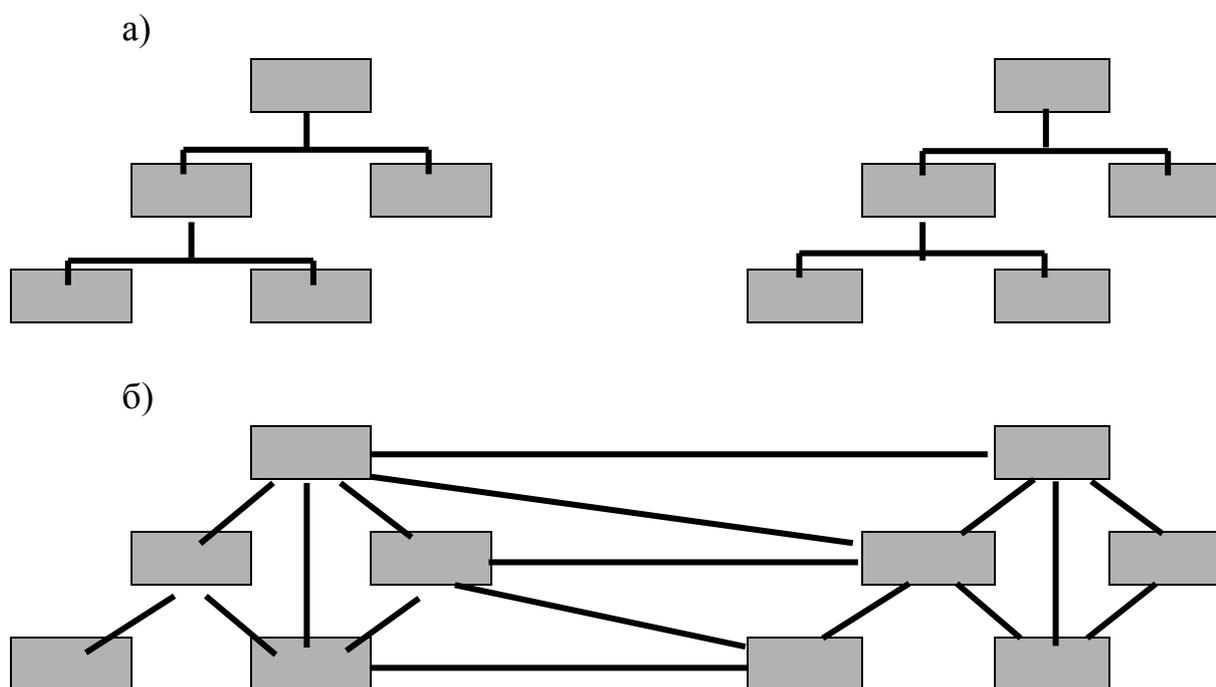


Рис. 5.8. Внедрение ГИС технологий может потребовать перехода от иерархической структуры (а) организации к сетевой (б).

Итак, удачное решение организационных вопросов на начальном этапе внедрения ГИС технологий играет существенную роль в успехе ГИС проекта. Возникающие при этом проблемы являются более сложными, чем технические. Правильное решение организационных проблем имеет критическое значение. Как правило, технические проблемы могут быть решены достаточно стандартными методами. Например, путем приобретения и установки нового оборудования, новых модулей программного обеспечения и т.д. Такие покупки, конечно, увеличивают расходы, но они могут

быть предусмотрены в хорошо спланированном ГИС проекте. Напротив, изменение должностных обязанностей и состава персонала, является не таким простым делом и может привести к непредсказуемым проблемам. Следовательно, организационные проблемы требуют более тщательного и даже повседневного внимания менеджеров, чем технические проблемы.

Таким образом, в начале любого ГИС проекта одной из задач должна быть обрисовка альтернатив для будущей модели организации и описание рекомендуемых путей тестирования состоятельности этой модели. Новое штатное расписание должно быть описано в деталях. В принципе, новые задачи и новые потоки данных могут быть описаны независимо от ответственности конкретных персон, групп или отделов. При определении новой штатной структуры должна быть соответственно изменена и структура управления.

Некоторые субъективные факторы могут в дальнейшем усложнить внедрение ГИС технологий. В основном человеческий фактор определяется то, что в среднем около четверти персонала в любой организации всегда предпочитают работать по-старому. Они будут противодействовать любым изменениям в технологиях. Рассмотрим как представители разных уровней управления относятся к внедрению ГИС технологий.

За исключением высокотехнологичных фирм, руководители относятся идифферентно к внедрению новейших информационным технологиям. Частично, это связано с недостаточной компетенцией высших менеджеров в области ИТ, а частично с тем, что они больше озабочены сокращением расходов, чем возрастанием доходов. Однако поддержка первого лица в организации (руководителя) является критической для успеха ГИС проекта. Начальное представление о ГИС проекте может быть более легко воспринята руководством, если оно изложено ясно и кратко. Это изложение должно содержать лаконичные примеры применения ГИС в области, которая представляет интерес для руководителей.

Опыт показывает, что все удачные ГИС проекты претворялись в жизнь силами энтузиастов среднего звена управления. При этом эти лица ищут выгоды от новых технологий, но сопротивляются кардинальным организационным изменениям.

Специалисты из числа основного производственного персонала организации с одной стороны являются весьма важной частью в реализации ГИС проекта. Но с другой стороны эти люди редко имеют возможность охватить то огромное множество деталей, которые влияют на реализацию проекта. Например, специалисты по информационным технологиям обычно настолько увлечены своей дисциплиной, что они у них может отсутствовать более широкий взгляд, необходимый для решения организационных проблем. Операторы, занимающиеся оцифровкой карт, и другие непосредственные пользователи ГИС подобным же образом ограничены областью своей работы.

Как показано на рисунке 5.9 внедрение ГИС технологий в организации часто изменяет пирамиду власти. Рисунок 5.9 представляет, как внедрение ГИС технологий в организации изменяет ее пирамиду власти от традиционной треугольной формы к "бутылочной". В такой новой структуре меньше служащих занято рутинными задачами, а среднее звено управления играет более значительную роль.

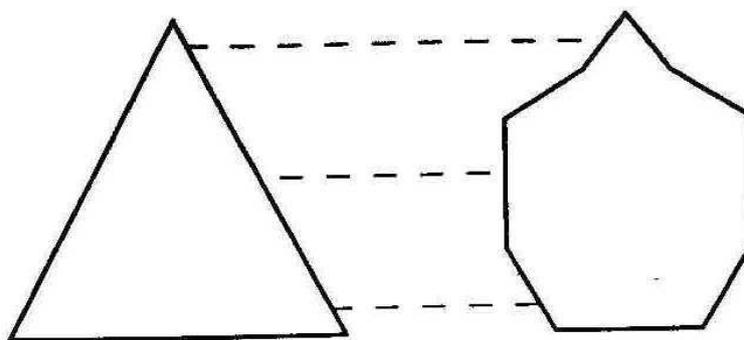


Рис.5.9. Изменение пирамиду власти в организации после внедрения ГИС технологий

5.5. Организация работ по реализации ГИС проекта.

Строгая и независимая организация работ по управлению реализацией ГИС проекта является существенным фактором для успеха любого серьезного применения ГИС технологий (рис. 5.10). Организационная структура, которая управляет ГИС проектом, не должна быть постоянной. Она может быть расформирована после того, как средства ГИС сдаются в эксплуатацию. ПО ГИС, компьютеры и эксперты для ГИС проекта появляются

ся в организации быстрее, чем приходит привычка к новому стилю работы. Поэтому для всех ГИС проектов необходим полномочный комитет и люди, способные решать проблемы, возникающие в процессе внедрения. Эти лица не обязательно должны быть специалистами по ГИС технологиям. Они могут быть успешно набраны из будущих пользователей информационных продуктов, включенных в ГИС проект.



Рис. 5.10. Организация управления ГИС проектом

Организационная структура проекта и соответствующее управление персоналом будет зависеть от сложности и размеров ГИС проекта. Эта структура должна быть укомплектована менеджерами из различных отделов, которые участвуют в ГИС проекте. В больших ГИС проектах, должны существовать отдельно управляющий и технический комитет.

Управляющий комитет должен решать политические вопросы и выпускать соответствующие инструкции и другие управляющие документы. Например, по решению противоречий, которые не могут быть решены в других частях организации, внедряющей ГИС технологии.

Технический комитет должен принимать важнейшие технические решения и быть управляющей силой для проектирования и разработки. Эта группа может быть укомплектована менеджерами среднего звена, которые

могут быть теми же самыми людьми, которые являются лидерами для различных групп, проводящих практическую работу.

Лица, управляющие процессом реализации ГИС проекта, должны быть уверены, что цели работы установлены однозначно и не будут меняться. Они должны также быть ответственными за планирование (техническое и финансовое), исполнение и следование поставленным ранее целям. Практическое исполнение проекта, включающее разработку структуры данных, преобразование данных и т.д. может быть организовано в существующих отделах. Когда ГИС проект достигнет эксплуатационной фазы, должны быть созданы специальные группы для конечных пользователей для обмена опытом и определения новых потребностей.

Любой проект по внедрению ГИС должен иметь бюджет, который определяет распределение финансирования в течение всей продолжительности проекта и допускает соответствующий мониторинг. Проекты, основанные на мелочном анализе расходов и доходов, обычно являются более живучими. Во многих случаях бывает так, что один ГИС проект, который внедряется в нескольких отделах организации, используется в них не одинаково успешно. В таком случае стоимость обычно распределяется пропорционально получаемому в этих отделах доходу. Однако, стоимость используемых средств ГИС во многих организациях может распределяться другими способами, например, записывание в долг ежегодных затрат, или начальные издержки плюс годовые затраты, или оплату согласно возможностям и т.д.

Правительственные организации часто должны решить, как финансировать новые средства ГИС - то ли через нормальное бюджетное ассигнование, то ли через изменение вознаграждения пользователей по рыночной ставке.

В больших ГИС проектах имеется необходимость в ряде специальных функций. Эти функции включают управление проектом, поддержку системы, базы данных и сетей передачи данных, поддержку пользователей и производства. При этом на практике внедрение ГИС проектов зачастую не укомплектовано штатами. Поэтому требования к персоналу должны быть ясно оценены в начале реализации, а подбор персонала должно быть частью проекта. Удовлетворение этих требований может быть обеспечено

либо за счет того, что персонал освобождается от своих старых обязанностей и переводится на данный проект, либо за счет того, что персонал будет наниматься специально под конкретный проект.

Программа управления персоналом при переходе к новым технологиям должна включать:

- Выделение факторов, влияющих на персонал
- План обучения, переобучения и перемещения
- Четкое краткое описание всех новых должностных обязанностей, включая сферу ответственности
- Определение числа работников, вовлеченных в изменения, связанные с проектом.
- Документальное определение новых должностей и их зарплаты
- Формирование плана по ротации среди работников
- Определение будущей организационной структуры, включающей:

Управленческие полномочия

Делегирование полномочий

Разделение труда

- Формирование ясных связей между руководителями внутри организации и внешних связей
- Сохранение преимуществ организации и усиление их путем:
 - Согласованной работы
 - Ориентацией на цели и адаптивности
 - Идентификации в соответствии с проектом
- Адаптация опыта персонала
- Создание среды для обеспечения сотрудникам хороших условий работы и карьерного роста.

Менеджменту персонала при переходе к новым технологиям следует уделять высший приоритет. При этом многие ГИС проекты, в частности в государственном секторе, страдают от недостаточного внимания к обуче-

нию. Тип и уровень квалификации для сотрудников, который при этом должен быть достигнут, зависит от уровня ГИС проекта и от того, как он укомплектован персоналом, а также от того предполагается ли вовлечение внешних консультантов на стадии функционирования проекта в производственном режиме.

В идеальном случае, все члены коллектива, которые будут работать с ГИС технологиями напрямую или косвенно, нуждаются в соответствующем обучении. Это же относится и к руководителям, которые должны иметь общее понимание как о потенциале, так и об ограничениях использования ГИС как средства по информационной поддержке принятия решений. Руководители среднего звена должны иметь адекватную техническую поддержку для того, чтобы они имели возможность координировать применение ГИС технологий в своих подразделениях. Линейный персонал и другие сотрудники нижнего уровня управленческой пирамиды должны быть обучены перед переходом на работу с использованием ГИС технологий.

Большинство организаций при смене технологий предпочитают основательно проводить обучение своего персонала, а услугами внешних консультантов пренебрегают. Однако следует учитывать, что доходы от системы могут быть полностью реализованы, только если пользователи будут адекватно подготовлены. Обучение должно включать как практические, так и теоретические навыки. Внешних консультантов выгоднее использовать в стратегическом секторе проекта, так как они не включены в организационную пирамиду и потому могут быстрее и проще разрешать возникающие трудности и разногласия. Потребности в знаниях и опыте часто недооцениваются. Без необходимого опыта, прогресс может быть неприемлемо медленным, следовательно, поддержание и развитие компетентности персонала должно быть первоочередной задачей.

Резюме

1. Вовлечение руководителей имеет решающее значение для успеха ГИС проекта.
2. Организационные проблемы внедрения ГИС проекта всегда являются более сложными, чем технические.

3. Монополизация информации может мешать реорганизации организации при переходе на работу с использованием ГИС технологий.
4. Внедрение ГИС влияет на изменение существующих методов работы при обменах информацией как между, так и внутри структурных подразделений организации.
5. Изменение методов работы, безусловно, ведет к организационным изменениям.
6. Следует ожидать, что, по крайней мере, одна четверть персонала будет сопротивляться изменениям.
7. Должен существовать работник, который одновременно мог бы оперативно решать технические проблемы и был бы энтузиастом, который вел бы пропаганду ГИС проекта в организации.
8. Следует заручиться поддержкой взаимодействующих структур в организации.
9. Организационные изменения должны быть протестированы, перед тем как окончательно будут внедрены.
10. После начальной организационной стадии внедрения новых средств ГИС могут потребоваться долговременные организационные изменения.
11. Удачные ГИС проекты всегда имеют хороший план!

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Каковы причины, по которым менеджеры стремятся инициировать реализацию ГИС проекта?
2. В чем состоят основные проблемы реализации ГИС проектов?
3. Как проводится разработка бизнес концепции для ГИС проекта?
4. Какие существуют методы идентификации текущих задач и требований пользователей?
6. Какие основные принципы проведения анализа отношения расходов к доходам для ГИС проекта?
7. Как выбирать размер географического покрытия для ГИС проекта?
8. Расскажите о разработке стратегического плана для ГИС проекта.
9. Как следует организовывать работы по реализации ГИС проекта?
10. Что такое пилот-проект?

Библиографический список

1. **Арефьев Н.В., Баденко В.Л.** Геоинформационные системы в природообустройстве: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007., 110 с.
2. **Баденко В. Л.** Теория нечетких множеств и информационная поддержка принятия решений в среде ГИС. Сер. Регион. экономика, вып. 5: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. 78 с.
3. **Баденко В.Л., Гарманов В.В., Осипов Г.К.** Государственный земельный кадастр.-СПб.: Питер, 2003. 320 с.
4. **Баранов Ю.Б.** Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов. М.: ГИС-Ассоциация, 2000.
5. **Берлянт А.М.** Геоиконика. М.: Астрей, 1996. 208 с.
6. **Гарбук С.В., Гершензон В.Е.** Космические системы дистанционного зондирования Земли. М.: "ООО Дата+", 1997. 295 с.
7. Геоинформатика: Учеб. для студ. вузов / Е.Г. Капралов, А.В.Кошкарёв, В.С.Тикунов и др.; Под ред. В.С.Тикунова. - М.: Издательский центр "Академия", 2005. 480 с.
8. **Гитис В.Г., Ермаков Б.В.** Основы пространственно-временного прогнозирования в геоинформатике. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 256 с.
9. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207–99. Информационная технология. Процессы жизненного цикла программных средств.
10. ГОСТ Р 50828–95. Геоинформационное картографирование. Пространственные данные, цифровые и электронные карты. Общие требования.
11. ГОСТ Р 52438–2005 Географические информационные системы. Термины и определения.
12. ГОСТ Р 52439–2005 Модели местности цифровые. Каталог объектов местности. Требования к составу.
13. ГОСТ Р 52572–2006 Географические информационные системы. Координатная основа. Общие требования.
14. ГОСТ Р 52571-2006 Географические информационные системы. Совместимость пространственных данных. Общие требования.
15. **Королев Ю.К.** Общая геоинформатика. М.: Изд-во ООО СП "Дата+", 1998. 118 с.
16. **Лурье И.К.** Основы геоинформатики и создание ГИС. М.: Изд-во МГУ, 2002.

17. **Лурье И.К., Косиков А.Г.** Теория и практика цифровой обработки изображений/Дистанционное зондирование и географические информационные системы./ Под ред. А.М. Берлянта. М.: Научный мир, 2003. 168 с.
18. Нормативно-правовая база, программно-аппаратное обеспечение, пространственные данные и услуги на рынке геоинформатики России. Ежегодный обзор. М.: ГИС-Ассоциация.
19. Основы геоинформатики: Учеб. пособие для студ. вузов в 2 кн./Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др.; Под ред. В.С. Тикунова. М.: Издательский центр "Академия", 2004. 480 с.
20. **Сурнин А.Ф.** Муниципальные информационные системы. Опыт разработки и эксплуатации. Обнинск: ОГИЦ, 1998.
21. **Тикунов В.С.** Моделирование в картографии. М.: Изд-во МГУ, 1997. 405 с.
22. **Тикунов В.С., Цапук Д.А.** Устойчивое развитие территорий: картографо-географическое обеспечение. Москва-Смоленск: Изд-во СГУ, 1999. 176 с.
23. Управление природно-техногенными комплексами: Введение в экоинформатику: Учеб. пособие / Н.В. Арефьев, В.Л. Баденко, К.В. Зотов и др. СПб: Изд-во СПбГТУ, 2000. 252 с.
24. **Хаксхольд В.** Введение в городские географические информационные системы. М.: Русское издательство АГИТ, 1996. 325 с.
25. **Шекхар Ш., Чаула С.** Основы пространственных баз данных. М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2004. 336 с.
26. **Bernhardsen T.** Geographic information systems: an introduction. New York: John Wiley&Sons, 1999.
27. **Bonham-Carter G.F.** Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS. New York: Elsevier Science, 1994. 398 p.
28. **Burrough P.A., McDonnell R.A.** Principles of geographical information systems. Oxford: Oxford University Press, 1998.
29. **Lo C.P., Yeung K.W.** Concepts and techniques of geographic information systems. New York: Pearson Prentice Hall, 2006. 532 p.
30. **Malczewski J.** GIS and multicriteria decision analysis. New York: John Wiley&Sons, 1999.
31. Planning support systems: integrating geographic information systems, models, and visualization tools / R.K. Brail and R.E. Klosterman, ed. Redlands, CA: ESRI Press, 2001. 444 p.
32. www.czgi.ru – Центр СевЗапГеоинформ.
33. www.gisa.ru – ГИС-Ассоциация России