Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

КЛАССИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТСКИЙ УЧЕБНИК

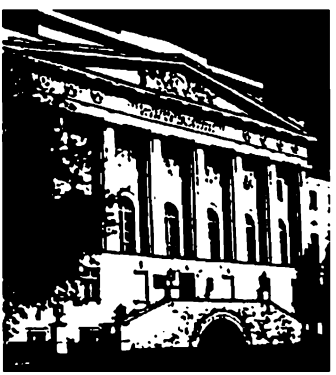
ГЕОИНФОРМАТИКА

Серия

КЛАССИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТСКИЙ УЧЕБНИК

основана в 2002 году по инициативе ректора
МГУ им. М.В. Ломоносова
академика РАН В.А. Садовничего
и посвящена

250-летию Московского университета



КЛАССИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТСКИЙ УЧЕБНИК

Редакционный совет серии

Председатель совета
ректор Московского университета
В.А. Садовничий

Члены совета:

Виханский О. С., Голиченков А. К., Гусев М. В.,
Добреньков В. И., Донцов А. И., Засурский Я. Н.,
Зинченко Ю. П. (ответственный секретарь),
Камзолов А. И. (ответственный секретарь),
Карпов С. П., Касимов Н. С., Колесов В. П.,
Лободанов А. П., Лунин В. В., Лупанов О. Б.,
Мейер М. С., Миронов В. В. (заместитель председателя),
Михалев А. В., Моисеев Е. И., Пушаровский Д. Ю.,
Раевская О. В., Ремнева М. Л., Розов Н. Х.,
Салецкий А. М. (заместитель председателя), Сурин А. В.,
Тер-Минасова С. Г., Ткачук В. А., Третьяков Ю. Д., Трухин В. И.,
Трофимов В. Т. (заместитель председателя), Шоба С. А.

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

ГЕОИНФОРМАТИКА

Под редакцией проф. В. С. Тикунова

Допущено
Министерством образования и науки Российской Федерации
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальностям
012500 «География», 013100 «Природопользование», 013600
«Геоэкология», 351400 «Прикладная информатика (по областям)»

Москва
«Академия»
2005

УДК 91(075.8)
ББК 26.8я73
Г35

Печатается по решению
Ученого совета Московского университета

Авторы:
Е. Г. Капралов, А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов, В. В. Глазырин, А. В. Заварзин, С. С. Замай, И. К. Лурье, В. А. Охонин, В. И. Пырьев, И. А. Рыльский, В. И. Семин, Б. Б. Серапинас, А. В. Симонов, А. М. Трофимов, М. Э. Флейс, О. Э. Якубайлик, В. Б. Яровых

Рецензенты:
д-р техн. наук, проф., акад. РАН *В. Г. Бондур*;
д-р техн. наук, проф. *Д. В. Лисицкий*;
д-р геогр. наук, проф. *В. З. Макаров*

Геоинформатика: Учеб. для студ. вузов / Е. Г. Капралов,
Г35 А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов и др.; Под ред. В. С. Тикунова. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 480 с., [8] с. цв. ил.: ил. (Классический университетский учебник)
ISBN 5-7695-1924-X

В учебнике освещены общие вопросы геоинформатики, функциональные возможности географических информационных систем (ГИС), принципы проектирования, интеграции данных и технологий, особенности интеллектуализации ГИС и систем поддержки принятия решений. Вместе с учебным пособием «Сборник задач и упражнений по геоинформатике», дополненным компакт-диском, составляет учебный комплект.

Для студентов экологических, географических, геологических и других специальностей, изучающих и использующих географические информационные системы.

УДК 91(075.8)
ББК 26.8я73

ISBN 5-7695-1924-X

© Коллектив авторов, 2005
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2005
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2005

Уважаемый читатель!

Вы открыли одну из замечательных книг, изданных в серии «Классический университетский учебник», посвященной 250-летию Московского университета. Серия включает свыше 150 учебников и учебных пособий, рекомендованных к изданию Учеными советами факультетов, редакционным советом серии и издаваемых к юбилею по решению Ученого совета МГУ.

Московский университет всегда славился своими профессорами и преподавателями, воспитавшими не одно поколение студентов, впоследствии внесших заметный вклад в развитие нашей страны, составивших гордость отечественной и мировой науки, культуры и образования.

Высокий уровень образования, которое дает Московский университет, в первую очередь обеспечивается высоким уровнем написанных выдающимися учеными и педагогами учебников и учебных пособий, в которых сочетаются как глубина, так и доступность излагаемого материала. В этих книгах аккумулируется бесценный опыт методики и методологии преподавания, который становится достоянием не только Московского университета, но и других университетов России и всего мира.

Издание серии «Классический университетский учебник» наглядно демонстрирует вклад, который вносит Московский университет в классическое университетское образование в нашей стране, и, несомненно, служит его развитию.

Решение этой благородной задачи было бы невозможно без активной помощи со стороны издательств, принявших участие в издании книг серии «Классический университетский учебник». Мы расцениваем это как поддержку ими позиции, которую занимает Московский университет в вопросах науки и образования. Это служит также свидетельством того, что 250-летний юбилей Московского университета — выдающееся событие в жизни всей нашей страны, мирового образовательного сообщества.

Ректор Московского университета
академик РАН, профессор *В.А. Садовничий*

Введение

В науках о Земле и обществе, имеющих дело с пространственными данными, сложилась интересная ситуация — информационный «взрыв» соседствует с информационным «голодом». Часть специалистов сетует на ограниченность сведений, что ведет к упрощению описаний, гипотетичности исследований, их некондиционности и т.д., другие, наоборот, не успевают переработать горы материала. Парадокс? Вряд ли, скорее объективная картина стихийно сложившейся реальности. Даже располагая определенными данными, рационально ли мы ими распоряжаемся и используем их? К сожалению, в большинстве случаев нет. Сложно получить сведения об уже накопленных материалах, затруднен обмен и доступ к ним — ведомственные и даже личные барьеры, режимные ограничения и неупорядоченность данных препятствуют рациональному и эффективному использованию информационных ресурсов.

В настоящее время во многих вузах страны открыты кафедры со специализациями по геоинформатике; экологам, географам, геологам, почвоведам и другим студентам, изучающим дисциплины не только о Земле, но и об обществе, читается курс «Геоинформатика». Более того, стали появляться не только специализированные средние учебные заведения, но даже общеобразовательные школы. В одной из таких школ (№ 8 г. Ханты-Мансийска) создан Межшкольный центр развития геоинформационных технологий. Опубликована серия учебников и учебных пособий (дополняемых рядом монографических изданий, материалов конференций), но, несмотря на это, издания, которое бы охватывало практически все современные аспекты геоинформатики, до настоящего времени в России нет.

Поставленные цели требовали от авторов достаточно систематического изложения материала, причем не только преподавателями, но и практиками, что побудило привлечь к написанию учебника большое количество ведущих специалистов из самых различных областей науки, производства. Для более детального ознакомления с материалом можно обратиться к учебному пособию «Основы геоинформатики» [**Е. Г. Капралов, А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов и др.**, 2004][1].

[1] Здесь и далее рекомендуемая литература выделена полужирным шрифтом.

Учебник состоит из пяти глав. Первая вводит читателя в сферу геоинформатики и начинается с понятия о географических информационных системах (геоинформационных системах, ГИС). Представление о ГИС как об информационных системах, оперирующих пространственно-координированными (пространственными, географическими) данными, уже давно и достаточно прочно вошло в научный обиход. Но логика изложения материала с использованием конкретных примеров позволяет понять технику проектирования ГИС, представить их функциональные возможности и внутреннее устройство, а главное — убедиться в практической целесообразности решения многих практических задач в среде ГИС. Далее изложение следует по установившейся традиции классификации ГИС по разным основаниям, включая пространственный (пространственно-временной) охват, предметную область информационного моделирования, проблемную ориентацию, их структурно-функциональные и прикладные особенности.

Этих первоначальных сведений о ГИС оказывается достаточно для того, чтобы в следующем подразделе обсудить существо геоинформатики как науки, технологии и индустрии, определить ее предмет и метод, место в системе наук, направления взаимодействия с другими науками и технологиями, подчеркнуть ее роль интегратора всех иных геотехнологий, подробно остановившись на отношениях геоинформатики и картографии как двух самодостаточных, альтернативных и взаимодополняющих средств пространственного моделирования реальности. Теория и методология геоинформатики, еще не вполне сформировавшиеся, в существенной мере покоятся на обобщении и осмыслении эмпирического опыта внедрения геоинформационных технологий в самые разнообразные сферы человеческой деятельности. В этом плане важна краткая характеристика истории становления геоинформатики с ее периодами роста, разочарований, смены приоритетов и формирования теоретической базы, методологии, сфер приложения и т.д.

Во второй главе изложены функциональные возможности важнейших технологических блоков ГИС. В первом подразделе главы приведены сведения о регистрации, вводе и хранении данных, характеристике средств формирования баз данных, создании систем управления ими. В деятельности, связанной с использованием пространственно-координированных данных, традиционно применяются литературные, статистические, картографические, аэро- и космические материалы. Их подборка, систематизация, накопление, хранение и обработка для последующего использования осуществляются, как правило, в машинной среде.

Модели пространственных данных — один из ключевых подразделов второй главы. Модель данных — это свод правил, по которым конструируются сложные пространственные объекты из более простых или элементарных, иначе — язык описания простран-

ственных данных. Среди множества моделей (представлений) можно выделить базовые, «канонические», проверенные временем и реализованные в подавляющем большинстве современных программных средств ГИС. Это векторные, растровые, регулярно-ячеистые и квадротомические. Современная практика предлагает множество вариантов канонических моделей, ведутся эксперименты с их многомерными расширениями. Большие перспективы сулит объектно-ориентированный подход к моделированию пространственных данных. Рассмотрены модели аналого-цифрового преобразования данных, состоящие из трех крупных блоков: цифрования, обеспечения качества оцифрованных материалов и интеграции разнородных цифровых материалов. Охарактеризованы базы и банки данных, а также системы управления ими.

Во втором подразделе представлены операции, связанные с анализом пространственно-временны́х явлений. Это прежде всего функции организации выбора объектов по тем или иным условиям, функции редактирования структуры и информации в базах данных, функции картографической визуализации, картометрические функции, функции построения буферных зон, анализа наложений, функции сетевого анализа и др. Здесь же кратко рассмотрены многообразные аспекты специализированного анализа, например, ориентированного на вопросы геологии или географии: метод размытых (нечетких) множеств, нейронных сетей, теория хаоса, катастроф, фрактальный анализ. Особое место, ввиду важности для многих наук о Земле, имеющих дело с пространственно-координированными данными, занимают методы классификаций, поэтому они выделены в специальный подраздел.

К особой группе геомоделирующих функций ГИС также принято относить цифровое моделирование рельефа (ЦМР). Опыт создания и использования ЦМР, наследующий традиции и методики ранних этапов развития геоинформатики и автоматизированной картографии, богат примерами решения разнообразных научных и научно-прикладных задач, в том числе на основе ЦМР национального масштаба. Многоцелевое использование ЦМР основано на функциях их обработки программными средствами ГИС и включает расчет производных морфометрических характеристик (углов наклона и экспозиций склонов), оценку формы склонов, экстракцию из ЦМР сети тальвегов и водоразделов и иных структурных элементов, оценку зон видимости/невидимости, построение трехмерных изображений. Завершает блок материал по математико-картографическому моделированию в рамках информационных технологий. Этот вид моделирования позволяет органически комплексировать математические и картографические модели в системе «создание-использование карт» для конструирования или анализа тематического содержания карт.

Охарактеризована методика создания элементарных и сложных (цепочкообразных, сетевых и древовидных) математико-картографических моделей.

Третий подраздел второй главы касается вывода и документирования результатов обработки данных. Здесь прежде всего рассматриваются методы картографической визуализации. Разумеется, программные средства ГИС — далеко не самый лучший (эффективный, дешевый и удобный) инструмент для производства карт, наследующих принципы и традиции «докомпьютерного» этапа картосоставления и картоиздания. Для этих целей разработаны и с большим успехом применяются автоматизированные картографические системы, системы настольного картографирования и графические редакторы. В данном блоке помещены также материалы о нетрадиционных формах визуализации, в первую очередь об анаморфозах. Рассмотрены методы создания линейных, площадных и объемных анаморфоз. Очень важны и наглядны виртуально-реальностные изображения, позволяющие имитировать облеты, объезды территории на виртуальном самолете, вертолете, автомобиле в реальном времени, совершать движения в какой-либо среде (например, погружение под воду с имитацией эффектов освещения и динамики движения) и т.д. Завершают главу анимации карт, анаморфоз и виртуально-реальностные изображения. Анимации развития явлений в пространстве и во времени позволяют отображать процессы их эволюции и др.

В третьей главе изложены способы интеграции методов дистанционного зондирования и спутникового позиционирования в геоинформационной среде. Охарактеризованы сетевые технологии и комплексные мультимедийные системы в трех ракурсах: как идея, т.е. способ хранения, организации и передачи информации различного типа; как оборудование, которое позволяет работать с информацией различной природы и доставлять ее потребителю и, наконец, как продукт, составленный из данных всевозможных типов, объединенных общей идеей и представляющий интерес для конечного пользователя.

Четвертая глава посвящена аспектам интеллектуализации геоинформатики. ГИС все чаще стали применяться в качестве инструментария, позволяющего более объективно принимать решения в самых разных областях человеческой деятельности, что привело к интеллектуализации геоинформатики. Геоинформатика стала также средством получения новых знаний в целом ряде наук. Здесь прежде всего рассмотрены экспертные системы и нейросети. Важнейшее практическое приложение методов искусственного интеллекта происходит через формирование систем поддержки принятия решений. Они позволяют обеспечить моделирование альтернативных решений на разных этапах, их анализ и выбор вариантов, удовлетворяющих поставленным условиям.

В пятой, завершающей, главе характеризуются требования и этапность проектирования ГИС. Разработка любой геоинформационной системы — сложный процесс, включающий определение целей ее создания, задач, решаемых с помощью системы, структуры системы, организацию данных, подбор программного обеспечения, создание организационных механизмов накопления и использования информации и т. п. Кратко проанализированы организационные аспекты, а также инфраструктуры пространственных данных (ИПД). Здесь читатель познакомится с одной из наиболее примечательных и многообещающих тенденций развития прикладной геоинформатики на рубеже веков, еще раз иллюстрируя большую интегрирующую и системообразующую роль геоинформационных технологий в пространственно-информационном обустройстве крупных территорий. Национальные инициативы ряда стран рассматриваются как часть более общего процесса глобализации геоинформационных ресурсов и индустрий, обозначенной в проекте Глобальной ИПД. Завершает учебник краткий обзор опыта реализации геоинформационных проектов от глобального до локального уровня.

Учебник дополняется «Сборником задач и упражнений по геоинформатике», который позволит закрепить пройденный материал и овладеть практическими навыками работы с геоинформационными системами. Он будет дополнен компакт-диском с иллюстрациями, воспроизведение которых возможно только в электронной среде, и с материалом, необходимым для выполнения практических упражнений.

Предисловие, подразд. 1.1 и 1.3 написаны А. В. Кошкаревым и В. С. Тикуновым; подразд. 1.2, 5.2, 2.1.2 и 2.3.1 — А. В. Кошкаревым; подразд. 2.2.3 — А. В. Кошкаревым и Е. Г. Капраловым; подразд. 5.1, 5.3 и 2.1.1 — Е. Г. Капраловым и В. С. Тикуновым; подразд. 2.1.3 — В. Б. Яровых, М. Э. Флейс и А. В. Кошкаревым; подразд. 3.1 и 2.1.4 — И. К. Лурье; подразд. 2.2.1 — Е. Г. Капраловым, В. С. Тикуновым и А. М. Трофимовым; подразд. 2.2.2 — А. В. Заварзиным и В. С. Тикуновым; подразд. 2.2.4 и 2.3.2 — В. С. Тикуновым; подразд. 2.3.3 — И. А. Рыльским; подразд. 2.3.4 — И. А. Рыльским и В. С. Тикуновым; подразд. 3.2 — Б. Б. Серапинасом; подразд. 3.3 — А. В. Симоновым; подразд. 3.4 — В. И. Семиным и В. С. Тикуновым; подразд. 4.1 — В. В. Глазыриным, В. С. Тикуновым и О. Э. Якубайликом; подразд. 4.2 — С. С. Замаем, В. А. Охониным и О. Э. Якубайликом; подразд. 4.3 — В. И. Пырьевым.

В подбор материала и организационную работу с авторами книги, а также в обсуждении учебника большой вклад внесла ГИС-Ассоциация (www.gisa.ru; www.gisa.gubkin.ru).

Замечания и пожелания по совершенствованию учебника можно сообщить редактору книги В. С. Тикунову по адресу: 119992, Москва, МГУ, Географический факультет.

Глава 1

ВВЕДЕНИЕ В ГЕОИНФОРМАТИКУ

1.1. Понятие географической информационной системы

Появление географических информационных систем относят к началу 60-х годов XX в. Именно тогда появились предпосылки и условия для информатизации и компьютеризации сфер деятельности, связанных с моделированием географического пространства и решением пространственных задач. Их разработка связана с исследованиями, проведенными университетами, академическими учреждениями, оборонными ведомствами и картографическими службами.

Впервые термин «географическая информационная система» появился в англоязычной литературе и использовался в двух вариантах, таких, как *geographic information system* и *geographical information system*, очень скоро он также получил сокращенное наименование (аббревиатуру) *GIS*. Чуть позже этот термин проник в российский научный лексикон, где существует в двух равнозначных формах: исходной полной в виде «географической информационной системы» и редуцированной в виде «геоинформационной системы». Первая из них очень скоро стала официально-парадной, а вполне разумное стремление к краткости в речи и текстах сократило последнюю из них до аббревиатуры «ГИС».

Очень кратко ГИС определялись как **информационные системы, обеспечивающие сбор, хранение, обработку, отображение и распространение данных, а также получение на их основе новой информации и знаний о пространственно-координированных явлениях**. Более полное определение ГИС будет приведено далее после введения основных понятий геоинформатики. Прежде всего обратимся к базовым категориям — данным, информации и знаниям, которые были использованы при определении ГИС.

Термины «*данные*», «*информация*» и «*знания*»[1] стали общеупотребительными, постоянно встречаясь в газетах, теле- и радиопе-

[1] Краткое толкование этих терминов, здесь и далее выделяемых курсивом, можно найти в списке терминов, приведенном в конце книги.

редачах, научных и научно-популярных публикациях. Смысл их кажется предельно ясным, и они легко заменяются не только в быту, но и науке такими словами, как «сообщения», «сведения», «сигнал», «материалы» и др. При этом не обращают внимания на то, что эти понятия, имея много общего, заметно разнятся по своей сути.

Под «***данными***» будем понимать совокупность фактов и сведений, представленных в каком-либо формализованном виде (в количественном или качественном выражении) для их использования в науке или других сферах человеческой деятельности. Иначе говоря: «Данные соответствуют дискретным зарегистрированным фактам относительно явлений, в результате чего мы получаем информацию о реальном мире... Слово «данные» происходит от латинского «datum», буквально означающего «факт». Тем не менее данные не всегда соответствуют конкретным или действительным фактам. Иногда они неточны или описывают нечто, не имеющее место в реальной действительности (идею). Будем называть «данными» описание любого явления (или идеи), которое представляется достаточно ценным для того, чтобы его сформулировать и точно зафиксировать» [Д. Цикритзис, Ф. Лоховски, 1985. — С. 16—17].

Применительно к характеризуемой нами сфере «данные» можно рассматривать и определять в трех контекстах: вне автоматизированной среды использования, внутри ее и в среде ГИС. В первых двух контекстах под «данными» понимаются либо факты, некие известные вещи (из которых могут быть выведены заключения), либо сведения, подготовленные для компьютерной обработки. Под «данными» в среде ГИС понимаются «объекты о явлениях реального мира; результаты наблюдений и измерений этих объектов. Элемент данных содержит три главные компоненты: атрибутивные сведения, которые описывают сущность (семантику), характеристики, переменные, значения и тому подобные его квалификации; географические сведения, характеризующие его положение в пространстве относительно других данных; временны́е сведения, описывающие момент или период времени, для которого предоставляются данные» [The 1990-GIS Sourcebook, 1990. — P. A10]. «Данные», по определению М. Конечного и К. Райса [M. Konecny, K. Rais, 1985], выступают как сырье, которое путем обработки можно превратить в информацию, т.е. данные — это как бы строительный элемент в процессе создания информации. Они рассматриваются как объект обработки и основа для получения информации.

В практическое понимание «***информации***» в настоящее время в основном включаются «процессы обмена разнообразными сведениями между людьми, человеком и автоматом — актуальная информация, процессы взаимодействия объектов неживой природы — потенциальная информация, степень сложности, организо-

ванности, упорядоченности той или иной системы» [Краткий словарь..., 1979. — С. 114—115]. Такое понимание основывается на существовании в современной науке нескольких парадигм, которые с разных сторон стараются объяснить факты и явления информационного порядка. Кратко рассмотрим основные из них.

К первой (по времени возникновения) надо отнести теорию К. Шеннона, согласно которой количество информации определяют по формуле

$$I = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log_2 p_i,$$

где I — количество информации; p_i — вероятность появления i-го сигнала; n — количество всех возможных сигналов. У этой теории есть значительный недостаток — она не учитывает содержательную сторону информации. Как отмечал Л. Бриллюен: «совокупность из 100 букв, выбранных случайным образом..., фраза в 100 букв из газеты, пьесы Шекспира или теоремы Эйнштейна имеют в точности одинаковое количество информации» [Л. Бриллюен, 1960. — С. 29].

Сторонники других (физических) концепций считают, что информация — фундаментальная категория (понятие) [Д. И. Блюменау, 1989. — С. 15], т.е. такая же основа мироздания, как вещество или энергия. Подобные воззрения характерны, например, для Н. Винера: «...информация есть информация, а не материя и не энергия» (цит. по [М. Мазур, 1974. — С. 18]).

Также по-разному представляют основные принципы понятия «информация» и философы. По мнению одних, информация существует лишь при коммуникативных процессах с участием человека [Д. И. Блюменау, 1989]. Другие полагают существование и потенциальной информации (при взаимодействии между собой объектов неживой природы) [Краткий словарь..., 1979. — С. 114—115].

Необходимо отметить, что количество концепций и парадигм довольно велико. Тем не менее складывается парадоксальная ситуация — разработаны количественные методы вычисления информации, имеется множество определений понятия «информация», но при этом существующие теории не дают адекватного, качественного понимания ее смысловой сущности, когда производят расчет количества информации. Иными словами, количественная сторона проблемы относительно развита, но не обеспечена качественным пониманием объекта вычисления.

В чем же все-таки заключается проблема определения и понимания информации? Исходя из принципа Винера, предположим, что информация действительно присуща всему в нашем мире. В подтверждение того, что информация может быть по значению сравнима с веществом и энергией, приведем следующие аналогии [К. В. Бердников, В. С. Тикунов, 1992].

1. Информацию, как и вещество, и энергию, можно передавать и принимать, накапливать, использовать.

2. Предположим также, что существование информации — объективно, не зависит от наших знаний, а восприятие — субъективно и определяется умением пользоваться той или иной знаковой системой (или хотя бы знаниями о ее существовании).

3. Физические объекты и явления (например, материальное тело) имеют множество характеристик: высота, длина, плотность, упругость, масса, вес и т.д., но нет одной, универсальной. Можно предположить, что и информация может описываться самыми разнообразными характеристиками и нельзя ограничиваться только вычислением ее количества.

4. Вполне вероятно (пока это не более чем гипотеза) наличие двух основных законов: а) закона сохранения информации, который должен формулироваться аналогично законам сохранения массы и энергии; б) закона взаимодействия двух объектов, обладающих информацией (возможно, он будет иметь такую же алгебраическую формулу, как и законы Ньютона и Кулона).

Анализируя и обобщая многие определения информации, сделаем следующий вывод-определение: *информация* — все, что может быть сообщено. При этом основное различие внутри этого понятия состоит не в информации живой (и неживой) природы и человека, а в существующей (наличествующей) и передаваемой информации. Существующая информация — сведения, которые можно сообщить о каком-то объекте (явлении), некоторое подобие потенциальной энергии. Передаваемая информация — сообщаемые по каналу информации сведения, это в определенной степени аналог кинетической энергии (рис. 1). Хотя потенциальная энергия E_p может перейти полностью в кинетическую $E_к$, а существующая информация по-иному связана с передаваемой, все же некоторая аналогия между энергией и информацией просматривается. Передаваемая информация зависит от более или менее удачно подобранных знаковых систем и отдельных знаков, существующая же информация объективна и определяется только тем объектом или явлением, в котором заключена.

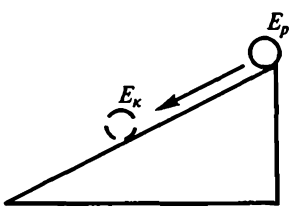


Рис. 1. Переход потенциальной энергии в кинетическую

Перейдем теперь к понятию «***знание***». Определений «знания» также много, как и определений «информации». Так, Л. Бриллюен считает, что информация отлична от знания, «для которого у нас нет количественной меры» [Л. Бриллюен, 1960. — С. 30]. Д. И. Блюменау приводит 10 (!) определений понятия «знание» различных авторов, и сам определяет информацию как знание, включенное непосредственно в коммуникативный процесс

[Д. И. Блюменау, 1989. — С. 28]. Последнее предложение необходимо дополнить: включенное субъективно в субъективный процесс, т.е. знания — это интерпретация информации. Однако интерпретация в известном смысле не ограничивается знанием и этот ряд полностью будет, вероятно, выглядеть следующим образом: информация — знание — мысль (гипотеза).

«Знания» в философском их понимании — отражение семантических аспектов окружающей действительности в мозгу человека или даже в технической системе (подробнее — см. 4.1). Отметим также историческую последовательность привлечения данных, информации и знаний в геоинформатике. Так, вначале появились банки данных, позднее оформились географические информационные системы и, наконец, появились системы, основанные на знаниях, — интеллектуальные системы.

Возвращаясь непосредственно к геоинформационным системам, важно подчеркнуть их способность хранить и обрабатывать пространственные, или географические, данные, что и отличает ГИС от иных информационных систем. Распространено мнение, утверждающее тождественность понятий «географические информационные системы» и «пространственные (пространственно-координированные, пространственно распределенные) информационные системы», т.е. слово «географические» в данном контексте имеет смысл не обозначения науки, а характеристики пространственности. При таком подходе нельзя поставить в один ряд с географическими системами геологические, геофизические и другие системы, что также встречается в литературе. Они все являются пространственными, а следовательно, и географическими. Естественно и то, что ГИС объединяет в единую систему пространственную информацию и информацию других типов для решения пространственных задач.

Прежде чем дать развернутое определение ГИС, используя изложенные выше положения, приведем два примера, раскрывающих некоторые возможности этих систем. Они связаны с решением двух типов задач, требующих от информационной системы наличия тех или иных функций. *Функциональные возможности ГИС*, их «функциональность» и составляют суть ГИС. По ходу изложения мы будем вынуждены ввести около трех десятков незнакомых или не очень знакомых пока терминов. Подробно они будут истолкованы в последующих главах учебника.

Пример 1. Российская семья решила купить дом. Агентство по торговле недвижимостью, в которую она обратилась, располагая всеми данными о домах, выставленных на продажу, должна выбрать один или несколько вариантов покупки, удовлетворяющих требованиям покупателя: стоимость не более 1,5 млн руб., этажность не выше двух, земельный участок при доме не менее 20 соток, не далее 3 км от центра города, ближайший торговый центр не далее 5 мин езды на автомобиле, не ближе 100 м от

крупных автомагистралей, не в Южном округе города с дурной славой криминальной окраины, желательно в западной его части с малоэтажной застройкой и хорошей экологией.

Запрос к *базе данных* Агентства позволит без труда выбрать все домовладения по трем первым критериям (к ним семья может добавить наличие бассейна, сауны и камина и т.д.), однако с остальными условиями стандартная *система управления базами данных* (СУБД) справиться не сможет. Некоторый особый механизм должен обеспечить обработку *пространственных запросов*, наличие или возможность порождения пространственных *атрибутов* дома как *пространственного объекта*. Это означает, что дома и иные объекты должны быть описаны их положением в пространстве (в терминах географических или иных *координат*, в крайнем случае — в форме их почтового адреса) и взаимными пространственными отношениями, а информационная система продавца должна уметь выполнять, среди всего прочего, *пространственный анализ*.

Достаточно просто подыскать дом в центре: функция пространственного запроса любой ГИС обеспечит выборку искомых объектов в круглом «окне» в пределах трехкилометровой зоны от официального центра города (почты, центральной площади, специального монумента) или центра тяжести занимаемой им территории (*центроида*), вычислив координаты геометрического центра фигуры и расстояния. Оценка близости дома к торговым центрам потребует данных о положении этих объектов, дорогах, прилегающих территориях и планировке города вообще, а также алгоритма расчета оптимального (наикратчайшего) пути, который должен быть среди группы функций *анализа сетей*. Предполагая, что все автомагистрали уже известны, необходимо выделить наиболее шумные и загазованные, построить вдоль них *буферные зоны* на удалении 100 м от края обочины и отбросить варианты покупки дома внутри этих зон. Наконец, нежелание жить в некотором административном округе означает исключение домов-претендентов внутри области, описанной его границами, что требует знания административного деления города, а предпочтение проживать в западном районе предполагает оконтуривание того, что считается «западом». Для этого покупателю должна быть дана возможность «нарисовать» свой «запад» на видеоэкранной, или, как ее еще называют, *электронной*, *карте* города. Впрочем, продавцы недвижимости могут сами продемонстрировать наиболее экологически безопасные и комфортные зоны, обратившись к схеме оценки состояния окружающей среды, заимствованной в местной экологической службе путем преобразования, т.е. *конвертирования форматов* данных: экспорта из формата ее системы и импорта в свою.

Таким образом, Агентству по торговле недвижимостью необходимо располагать базой данных о продаваемых объектах недвижимости со стандартными, непространственными атрибутами и *слоями* ГИС с цифровыми представлениями пространственных объектов и феноменов реальности (земельных участков, домов, дорог, супермаркетов, административных образований, зон экологической комфортности), называемых *информационным обеспечением* ГИС, функциями ГИС, поддерживаемыми соответствующим *программным обеспечением*: импорт данных из других систем, расчет расстояний (в проекции карты или на поверхности земного

эллипсоида), вычисления координат центроида, обработку пространственных запросов, расчет буферных зон относительно линейных, точечных и контурных объектов, оценку принадлежности объекта (точки) полигону (внутренней области), анализ сетей (поиск оптимального пути).

Хранение информации и ее обработка предполагают наличие высокопроизводительного компьютера (персонального, или рабочей станции), который вместе с другими техническими устройствами, необходимыми для реализации функций системы, образует *аппаратное обеспечение* ГИС.

Итогом работы будет адрес искомого строения или список адресов домов-претендентов на покупку (иначе говоря, множество, возможно пустое, пространственных объектов).

Пример 2. Глава администрации некоторого города *N*, озабоченный идеей развития альтернативной энергетики (нетрадиционных возобновляемых энергоисточников), решил установить на его территории и в ближайшем предместье *M* крыльчатые ветроэнергоустановки — «ветряки».

Задача выбора мест их установки является типично оптимизационной: максимальная выработка электроэнергии при фиксированных финансовых средствах в условиях архитектурно-строительных, конструктивных и природоохранных ограничений. Ее решение средствами ГИС возможно осуществить в два этапа: 1) исключить из числа потенциальных строительных площадок все, не удовлетворяющие перечисленным ограничениям; 2) внутри допустимой зоны выбрать заданное множество точек, обозначающих места возведения энергоустановок при фиксированной (установленной) их мощности, а также с учетом того, что в условиях холмистого, хорошо расчлененного предгорного ландшафта городской территории мощность, а следовательно, и выработка энергии будут существенно зависеть от мезоклиматических условий, в данном случае ветрового режима, в свою очередь определяемого рельефом.

Как и в первом примере, проектировщикам понадобятся разнообразные *пространственные данные* о городской территории. Работу разумно начать с создания *цифровой карты* города, вернее его крупномасштабного цифрового плана. Для этого необходимо выполнить *цифрование* набора листов «бумажных» топографических планов (топопланов), например с помощью *дигитайзера* (цифрователя). Еще разумнее такую *карту-основу* (топооснову) приобрести уже готовой у организации, которая не только уже однажды оцифровала исходный источник, но и ведет его текущее обновление — топографический мониторинг, что обеспечивает ее актуальность. Скорее всего, набор элементов содержания топографического источника будет избыточен, и в цифровом варианте он будет разгружен, а часть необходимых объектов придется дооцифровывать по другим материалам. Так или иначе, в итоге у разработчиков должен быть в наличии набор слоев ГИС, необходимых для решения задачи.

Первый его этап, как отмечалось выше, это исключение территорий, где сооружение ветроэнергоустановок по тем или иным причинам невозможно по архитектурным или строительным соображениям (на крышах домов, автомагистралях, водоемах, территориях парков, стадионов и т. п.). Процедура исключения может быть представлена как последовательное вычитание из слоя «внутренняя область в пределах границы города» слоев объектов, представляющих земельные участки с запретом на их строи-

тельство. В итоге будет получен новый слой с допустимыми и недопустимыми для строительства зонами (контурами, областями, *полигонами*).

Слой допустимых для установки зон значительно «сожмется», когда придется учесть необходимость сооружения массивных фундаментов опор, которые должны находиться вне трасс и зон отчуждения подземных инженерных коммуникаций: дождевых и канализационных стоков, водопровода, теплоснабжения, телефонных, оптоволоконных и силовых кабелей, трубопроводов, перенос которых мог бы привести к значительному повышению стоимости строительства. Для этого потребуется цифровой план подземных инженерных коммуникаций, построение буферных зон относительно каждой коммуникации (см. пример 1), логическое вычитание набора соответствующих слоев из общего слоя допустимых для строительства зон.

Исходный цифровой топографический план лишен большинства элементов, представляющих подземные и надземные инженерные коммуникации, за планами их размещения придется обратиться в соответствующие муниципальные службы.

Зона потенциально допустимых мест дислокации установок еще более уменьшится, когда на следующем этапе предпроектных разработок проектировщики будут вынуждены учесть экологические требования к их размещению, а именно к шумовому загрязнению среды, в особенности низкочастотному. Используя федеральные санитарные и строительные нормы и правила, необходимо выбрать все объекты, по отношению к которым они могут быть применены: жилые дома, здания школ, офисов и других сооружений, построить относительно выбранного множества объектов буферные зоны, соответствующие ширине санитарно-защитных зон, и еще раз исключить полученные таким образом территории из числа потенциально пригодных для строительства.

Последовательное вычитание потенциально непригодных для строительства площадок осуществляется с помощью операции, которая носит название *оверлея* (наложения) слоев.

Для выбора в пределах итогового слоя конкретных M площадок на втором этапе решения задачи необходимо создать и реализовать имитационную климатическую модель ветрового режима в пределах городской территории с хорошо расчленным, как было предположено ранее, рельефом. Скорее всего, такая модель уже существует и применяется в решении аналогичных задач, например, для оценки распространения загрязнений атмосферы от точечных источников выбросов. Программное обеспечение ГИС должно допускать возможность встраивания в нее таких моделей, используя языки программирования высокого уровня или собственные средства макропрограммирования. Для решения задачи понадобятся данные о рельефе территории, а именно *цифровая модель рельефа* (ЦМР). Она может быть получена из слоя *горизонталей* исходной цифровой топоосновы. Последовательный перебор всех точек в пределах слоя допустимых для строительства ветроэнергоустановок с оценкой их возможной производительности в рамках некоторой оптимизационной модели позволит получить искомый набор площадок. Привлеченные на последнем этапе решения задачи модели являются моделями с распределенными параметрами, а сама процедура их реализации в рамках ГИС носит название *геомоделирования*, или пространственного моделирования.

Итогом решения задачи, как и в первом примере, будет список, включающий координаты множества проектируемых ветроэнергоустановок, вполне достаточный для подрядной строительной организации, которая выиграет тендер на реализацию проекта. Карта их размещения, построенная с привлечением функций картографической *визуализации* данных в ГИС, тоже, возможно, пригодится, но уже для других целей — проиллюстрировать на телевидении заботу администрации о горожанах накануне очередных выборов, не преминув при этом отметить смекалистость горожан, ставивших несколько веков назад ветряные мельницы точно в тех местах, которые были определены с помощью ГИС.

Два приведенных примера иллюстрируют возможности ГИС как инструмента для решения пространственных задач. Множество задач, решаемых современными ГИС, — научных, прикладных, образовательных, наконец, бытовых, — не поддается исчислению, складываясь из необозримого числа достойных внимания и описания объектов реальности, помноженных на разнообразие мотивов и целей человеческой деятельности.

При всем многообразии типов ГИС возможна их классификация по нескольким основаниям: пространственному охвату, объекту́ и предметной области информационного моделирования, проблемной ориентации, функциональным возможностям, уровню управления и некоторым другим критериям.

По ***пространственному охвату*** различают глобальные, или планетарные, ГИС, субконтинентальные, национальные (зачастую имеющие статус государственных), межнациональные, региональные, субрегиональные и локальные (местные), в том числе муниципальные, и ультралокальные ГИС.

ГИС способна моделировать объекты и процессы, локализованные или протекающие не только на суше (территории), но и на акваториях морей, океанов и внутренних водоемов. Средства ГИС давно и успешно используются в морской навигации.

Гораздо менее известны системы, распространяющие область своего влияния на воздушное пространство (аэроторию); это авианавигационные системы, системы планирования и выполнения аэросъемок и решения других задач, связанных с воздухоплаванием и др.

Наконец, для обеспечения деятельности в космическом пространстве ГИС способна решать задачи баллистики и управления полетами и другими передвижениями и действиями космических аппаратов, изучения внеземных объектов.

Состав (объектовый состав) и структура данных ГИС определяются ***объектами*** информационного моделирования, какими являются как собственно феномены реальности (лес, земля, вода, население, хозяйство), так и процессы (наводнения, загрязнение окружающей среды, миграционные процессы), а также нематериальные объекты, или идеи.

ГИС различаются ***предметной областью*** информационного моделирования; среди предметно-ориентированных, как правило, ведомственных ГИС бывают природоохранные ГИС, земельные информационные системы (ЗИС), городские, или муниципальные, ГИС (МГИС), ГИС для целей предотвращения и локализации последствий чрезвычайных ситуаций (ГИС для целей ЧС) и др.

Проблемная ориентация ГИС определяется решаемыми в ней научными и прикладными задачами. Они могут быть выстроены в ряд по мере усложнения и наращивания возможностей управления моделируемыми объектами и процессами: инвентаризация (кадастр, паспортизация) объектов и ресурсов, анализ, оценка, мониторинг, управление и планирование, поддержка принятия решений.

Классификация ГИС по их ***функциональности*** связана с программным обеспечением ГИС и будет подробно рассмотрена далее. Пока же уместно выделить самые общие функции ГИС, вынесенные в ее определение выше: это получение данных, их ввод в компьютерную (точнее цифровую среду), хранение (в том числе обновление, или *актуализация*), обработка, вывод (например, в форме карт), распространение и использование данных, включая принятие решений на их основе. Классическая схема функций ГИС, предложенная «патриархом» канадской и мировой геоинформатики Р. Томлинсоном и неоднократно воспроизведенная в отечественных и зарубежных монографиях и учебниках, приведена на рис. 2. Соответственно этим обобщенным функциям выделяются структурные единицы ГИС: ее подсистемы (блоки, модули), включая подсистему ввода и т.д.

Известна также классификация ГИС по ***уровню управления***. Например, в зависимости от уровня органов государственного управления, использующих ресурсы геоинформационной системы, различают ГИС федерального, регионального и специального назначения, причем под последними понимаются системы, используемые для обслуживания информационных потребностей конкретных отраслей народного хозяйства.

ГИС как системы проектируются, создаются и эксплуатируются в комплексе составляющих их компонентов (блоков, подсис-

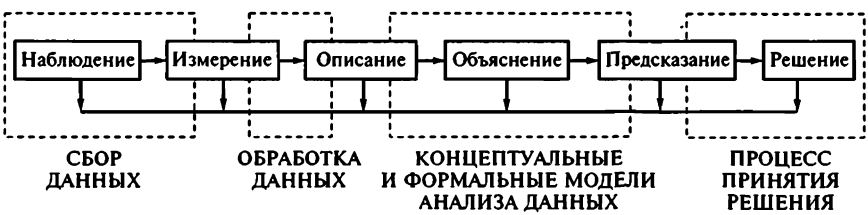


Рис. 2. Функции географической информационной системы

тем, функциональных модулей), обеспечивающих функциональную полноту, адекватную решаемым задачам, возможность расширения функций и модификации системы.

Реализация ГИС — многоэтапный процесс, включающий исследование предметной области и требований пользователя к системе, ее технико-экономическое обоснование (анализ соотношения «затраты — прибыль»), системное проектирование, детальное проектирование на уровне научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, тестирование и прототипирование, опытную и штатную эксплуатацию.

При рассмотрении объектов информационного (геоинформационного) моделирования в ГИС предполагалась достаточность их описания в терминах пространственных координат. Решение многих задач предусматривает необходимость координирования пространственных объектов во времени. Задание четвертой координаты объекта — времени — позволяет ввести понятие пространственно-временны́х данных. Ими оперируют пространственно-временны́е ГИС.

Резюмируя вышеизложенное, под **географической информационной системой будем понимать аппаратно-программный человеко-машинный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координированных данных, интеграцию данных, информации и знаний о территории для их эффективного использования при решении научных и прикладных задач, связанных с инвентаризацией, анализом, моделированием, прогнозированием и управлением окружающей средой и территориальной организацией общества**. Иногда этап сбора данных, осуществляемый методами дистанционного зондирования, глобального позиционирования и другими, сводят к технологии их ввода в ГИС. Наконец, необходимо отметить второе значение термина «ГИС» как синонима программных средств, программного продукта, программного обеспечения ГИС, реализующего функциональные возможности ГИС в первом (основном) его значении.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается основное отличие ГИС от иных информационных систем?

2. Является ли слово «географический» в наименовании ГИС признаком их принадлежности к предметной области профессиональной географии?

3. Не нарушает ли слово «географический» в составе термина «географические информационные системы» принцип системности терминологии геоинформатики, поскольку объекты и данные в ГИС носят наименование «пространственных», а «географические объекты» и «географические данные» чаще всего считаются допустимыми синонимами нормализованных терминов? Не следует ли ввести термин «пространственные информационные системы»?

4. Определите понятия «данные», «информация» и «знания». В чем их различие?

5. Дайте собственное определение ГИС.

6. Какие критерии используются при классификации ГИС?

7. Сформулируйте одну из задач, в решении которой целесообразно использование ГИС.

8. Пользуясь самыми общими представлениями о функциях ГИС, предложите пути решения следующих задач, основанных на использовании пространственных данных:

а) оценка возможной зоны затопления в случае наводнения и его прямых последствий (затопление строений жилого и хозяйственного назначения);

б) подтверждение или опровержение гипотезы о негативном влиянии на здоровье жителей жилого массива выбросов в атмосферу отходов крупного химического предприятия;

в) проектирование оптимальной (с точки зрения затрат на строительство) трассы подводного нефтепровода, соединяющего два заранее не заданных пункта на побережье крупного внутреннего водоема, с учетом рельефа и грунтов дна, природно-охранных (распределение нерестилищ, памятников природы и заказников) и других ограничений;

г) оценка числа жителей, обеспеченных устойчивым приемом телепрограмм, транслируемых вновь построенной телевышкой, в условиях горной залесенной местности;

д) создание электронного атласа в Интернет, отражающего оперативные результаты обработки данных Всероссийской переписи населения 2002 г.;

е) выбор места строительства нового супермаркета с учетом конкурентного торгового окружения.

1.2. Геоинформатика: наука, технология, индустрия

Русский термин «*геоинформатика*» производен от термина «информатика» — иностранного заимствования, обозначающего научное направление, которое изучает теорию, методы и способы накопления, обработки и передачи данных, информации и знаний с помощью ЭВМ и других технических средств, или группу дисциплин, занимающихся различными аспектами применения и разработки вычислительных машин, куда обычно относят прикладную математику, программирование, программное обеспечение, искусственный интеллект, архитектуры ЭВМ и вычислительные сети. Специфические аспекты информатизации различных областей научной и производственной деятельности породили ряд частных «информатик». К примеру, по тому же типу образован термин «экоинформатика» для обозначения дисциплины, связанной с обработкой данных, информации и знаний об окружающей среде; аналогично этому информационные аспекты геоэкологии изучаются «геоэкоинформатикой».

Некоторое время наряду с термином «геоинформатика» использовался термин «географическая информатика». Не исключено, что

этимологически термин «геоинформатика» образовался под влиянием двух параллельных процессов: редукции «географической информатики» до краткой формы «геоинформатика» и прямой деривации от родового понятия «информатика», что корреспондировало с краткой формой термина «географические информационные системы», а именно «геоинформационные системы», о чем упоминалось ранее.

В геоинформатике принято различать три разные «ипостаси». Это **наука, технология и производственная деятельность по научному обоснованию, проектированию, созданию, эксплуатации и использованию географических информационных систем, по разработке геоинформационных технологий, по приложению ГИС для практических или научных целей [Геоинформатика..., 1999].**

Предмет геоинформатики как науки обычно определяют как «природные, общественные и природно-общественные земные пространственные системы», ее метод — «компьютерное моделирование и тесно сопряженное с ним геоинформационное картографирование» **[А. М. Берлянт**, 1996]. Заменив в сочетании «компьютерное моделирование» слово «компьютерное» на «цифровое», получим более точное определение метода, основанное на *цифровых моделях* (представлениях, описаниях) пространственных объектов.

За недолгий период своего существования геоинформатика не успела приобрести необходимую любой науке атрибутику и структурную завершенность. Можно отметить недостроенность «вертикали» научного знания, включая теорию, методологию и методику: при несомненной разработанности методического аппарата, на котором строятся геоинформационные технологии, методологии, основу которой составляют модели пространственных данных и методики проектирования и создания ГИС, теория ГИС пока остается фрагментарной.

В основе теории геоинформатики как учения о ГИС лежит несколько базовых понятий. К ним относятся *пространственные объекты*, *пространственные данные*, *модели пространственных данных*, функции их обработки, включая базовые функции *пространственного анализа* и *геомоделирования* как ядра ГИС. Некоторое представление о них дано в подразд. 1.1, а более подробно речь пойдет ниже при обсуждении моделей пространственных данных и функциональных возможностей ГИС.

Структурно в геоинформатике предлагается выделять общую геоинформатику, разделяя ее на теоретическую геоинформатику и прикладную геоинформатику. «Горизонталь» в структуре геоинформатики соответствует ее делению по предметным областям информационного моделирования и специализации создаваемых ГИС; говорят об экогеоинформатике, методологии создания и использования геоинформационных систем экологической, природоох-

ранной, радиоэкологической, земельно-кадастровой и другой специализации.

Технологически, исторически и «генетически» геоинформатика формировалась и продолжает развиваться в окружении смежных наук и технологий, предметно и методически родственных ей. Среди ее ближайших партнеров выделяют дистанционное зондирование и картографию. Алгоритмы и методы геоинформатики близки *вычислительной геометрии* и *компьютерной* (машинной) *графике*, *системам автоматизированного проектирования* (САПР). Непозиционная (атрибутивная) часть пространственных данных традиционно хранилась и управлялась средствами систем управления базами данных (СУБД), методология создания баз данных ГИС продолжает оставаться в числе важных задач при их проектировании. Единая цифровая среда существования объединяет ГИС с *глобальными системами позиционирования* и автоматизированными (цифровыми) технологиями съемок местности (например, с использованием электронных тахеометров или лазерных сканирующих устройств) и системами их обработки (например, методами *цифровой фотограмметрии*). Наконец, аппаратная среда реализации геоинформационных технологий — так называемая вычислительная техника, а именно компьютеры с *периферийными устройствами* ввода, хранения и вывода данных — вовлекает в орбиту интересов и условий существования геоинформатики новейшие информационные, в том числе телекоммуникационные, технологии, изучаемые общей информатикой.

По тесноте связи, уровню взаимодействия, методической и технологической близости и возможностям интеграции ближайшее окружение геоинформатики образует картография и дистанционное (аэрокосмическое) зондирование. Характер связи трех наук и технологий [А. М. Берлянт, 2001] можно представить в виде четырех моделей, не только теоретически возможных, но и реально предлагавшихся в разные «эпохи» их совместного параллельного развития и осознания ими своей роли и места в условиях экспансии новых информационных технологий (рис. 3).

Последняя из моделей может рассматриваться как каноническая, и дискуссии прошлых лет об истинном характере взаимодействия триады равноправных, самодостаточных и открытых к интеграции наук и технологий следует считать закрытыми.

Добавим однако, что при анализе их взаимоотношений обычно опираются на несомненные черты их близости, сходства и, в некотором смысле, подобия как предпосылок к взаимодействию и интеграции. В особенности это касается отношений геоинформатики и картографии, карт и ГИС. Нельзя не заметить, что тесное взаимодействие и интеграция наук и технологий сопровождается углублением их основ, расширением и обновлением инструментария и прикладных возможностей, структурными перестроениями,

что способствует их самоидентификации и более точному позиционированию в системе наук на фоне сложного переплетения и взаимопроникновения новых информационных технологий.

С этой точки зрения следует иметь в виду, что появление геоинформационных систем ознаменовало собой пока еще недостаточно осмысленный и оцененный переворот в инструментарии моделирования географического пространства вообще, реализовав принципиально новый способ его описания и представления в форме цифровых моделей и нарушив дотоле существовавшую здесь монополию карт и других геоизображений как единственного средства моделирования пространства и, что еще более важно, решения пространственных задач, позволив заменить графические (образно-знаковые) модели объектов земной поверхности цифровыми, а в ряде приложений вытеснить традиционные картографические модели из тех областей, где их использование невозможно или нецелесообразно. Развитие цифровой картографии ничего не меняет по существу: оставаясь в сфере забот и интересов картографии, цифровые карты картами не являются: как и любые цифровые пространственные данные (в том числе данные ГИС) они не могут восприниматься человеком визуально, тактильно или с помощью иных чувств.

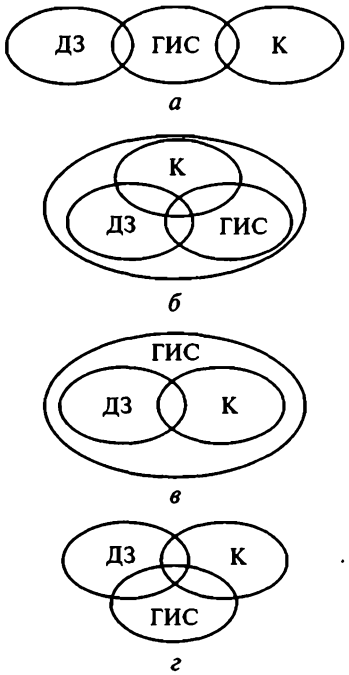


Рис. 3. Модели соотношения картографии (К), дистанционного зондирования (ДЗ) и геоинформационных систем (ГИС):

а — линейная модель; *б*— доминирование картографии; *в* — доминирование геоинформационных систем; *г*— модель тройного взаимодействия

Другое дело, что при всей своей самостоятельности и коренных различиях картография и геоинформатика «обречены» на прочное и долгое взаимодействие. В этом взаимодействии традиционно выделяют две стороны: карты и другие картографические изображения принадлежат к числу основных источников массовых исходных данных для ГИС и являются наиболее эффективной (или, по крайней мере, наиболее распространенной) формой представления результатов ее функционирования с использованием методов картографической визуализации данных в форме *компьютерных* и *электронных* (видеоэкранных) *карт*.

Тем не менее характер их взаимодействия, сложившийся к настоящему моменту, не вечен и сохранится до тех пор, пока:

1) исключительно все массовые источники данных для ГИС не станут цифровыми (имея в виду наиболее массовый из них — карты);

2) не будет найден прямой интерфейс человеческого мозга и памяти компьютера (до той поры карте придется выполнять роль незаменимого интерфейса между человеком и машиной);

3) не будут найдены и реализованы алгоритмы решения всех пространственных задач исключительно в цифровой среде, минуя необходимость привлечения для этого карт;

4) единая, единственная и достаточная цифровая среда не обеспечит весь процесс принятия решений от получения исходных данных до исполнения пространственных решений и контроля за ними.

Важнейшая черта взаимодействия геоинформатики с ее окружением — интеграция. Одно из ее следствий — возникновение и развитие пограничных дисциплин. Интеграционные процессы затрагивают не только отношения классической триады «дистанционное зондирование — геоинформатика — картография» или их попарных отношений. Современная практика дает немало примеров интегрированных решений, основанных на существовании единой технологической цифровой среды.

Ранее вполне независимая отрасль управления сетями инженерных коммуникаций (так примерно можно передать на русском языке труднопереводимый английский термин AM/FM — Automated Mapping / Facility Management) в 90-х годах XX в. ассоциировалась с ГИС-технологиями, и аббревиатура AM/FM/GIS не сходит со страниц изданий, посвященных их тотальному внедрению в управление национальными и региональными сетями водо-, энерго-, газоснабжения, телефонной связи.

Интерактивная картографическая графика в Интернет, появление и развитие «Интернет-ГИС» могут служить примерами интеграции информационных и телекоммуникационных средств.

Интеграция ГИС и иных информационных геотехнологий — характерная черта и условие дальнейшего развития геоинформатики. Функциональность геоинформационных технологий, о которой будет сказано чуть ниже, приобрела полноту и логическую завершенность (инвариантность), и внутренние возможности их функционального развития в части базовых функций, во всяком случае на сегодняшний день, представляются почти исчерпанными.

Геоинформатика в настоящее время рассматривается как интегратор многих наук и технологий, оперирующих пространственно-координированными данными. На эту роль претендует еще одна дисциплина — *геоматика* (англ. geomatics от GEO+InforMATICS,

франко-канадский оригинал — geomatique). Под геоматикой обычно понимают **область деятельности, связанную с использованием системного подхода к выбору средств сбора, интеграции, обработки и распространения пространственных данных в континууме потоков цифровой информации**. Иногда геоматика рассматривается как синоним геоинформатики; по другой, более распространенной точке зрения, геоинформатика входит составной частью в геоматику.

При разграничении двух понятий следует иметь в виду три особенности геоматики в приведенном выше толковании:

- геоматика оперирует пространственными данными в самом широком смысле этого слова;
- в предмет ее забот входит сбор данных, который, по одной из точек зрения, лежит за пределами геоинформационных технологий;
- геоматика является средой технологической интеграции всех дисциплин, связанных с пространственными данными, которые недавно начали обозначать термином «геотехнологии».

На наш взгляд, за геоматикой разумно закрепить смысл технологии, ***интегрирующей*** частные (гео)технологии получения и обработки пространственных данных, включая геоинформатику как инструмент такой интеграции.

Особенности практического взаимодействия геоинформатики, геоинформационных технологий и ГИС со «смежниками» будут рассмотрены в гл. 3.

Одновременно геоинформатика — технология, отличная от иных информационных технологий, технологическая основа создания и эксплуатации ГИС. В самом общем виде суть *геоинформационных технологий* составляют ввод, обработка и вывод пространственных данных. В более развернутом виде они определены выше, при рассмотрении основных функций ГИС (см. рис. 2). В технологическую схему ГИС не всегда включается сбор первичных (измерительных) данных, поскольку получение, или сбор данных, — дело смежных индустрий и технологий (например, дистанционного зондирования), однако в определения ГИС до настоящего времени он чаще всего входит (см. 1.1).

Общая технологическая схема ввода, обработки и вывода данных в ГИС, поддерживаемая соответствующими программными средствами, может быть представлена в виде набора обобщенных функций (функциональных групп), среди которых принято выделять следующие:

1. ***Ввод и редактирование данных.*** Сюда входит аналого-цифровое преобразование данных, в том числе методы и технологии *цифрования* картографических источников с помощью цифрователей (*дигитайзеров*) с ручным обводом или путем *сканирования* аналоговых оригиналов с последующей *векторизацией*, а также импорт готовых цифровых данных, контроль ошибок цифрования, топо-

логической и геометрической корректности и общая оценка качества получаемой цифровой модели.

2. ***Поддержка моделей пространственных данных.*** Полученная цифровая модель может существовать, храниться и обрабатываться в рамках определенных моделей (представлений); к ним относят *растровую*, *векторную*, *квадротомическую* и иные двух- и трехмерные *модели данных*, которым соответствуют некоторые *форматы* данных.

3. ***Хранение данных.*** Проектирование и ведение *баз данных* (БД) атрибутивной информации ГИС, поддержка функций *систем управления базами данных* (СУБД), включая ввод, хранение, манипулирование, обработку запросов (в том числе пространственных), поиск, выборку, сортировку, обновление, сохранение целостности, защиту данных и создание базы *метаданных* в рамках основных моделей организации данных БД: иерархической, сетевой и реляционной, реализация геореляционного и объектно-ориентированного подходов к БД ГИС.

4. ***Преобразование систем координат и трансформация картографических проекций.*** Наиболее распространенные задачи — переход от условных декартовых прямоугольных координат источника к географическим координатам, пересчет *координат* пространственных объектов из одной *картографической проекции* в другую, эластичные преобразования растровых изображений по сети опорных точек. Сюда же разумно включить все иные операции с пространственными объектами, выполняемые на *эллипсоиде* или шаре.

5. ***Растрово-векторные операции.*** Обслуживают возможности совместного использования двух наиболее употребительных моделей пространственных данных — растровой и векторной, экспорт и импорт в среду других программных продуктов, ввод или вывод данных. Автоматическое или полуавтоматическое преобразование (конвертирование) растрового представления пространственных объектов в векторное (*векторизация*), векторного — в растровое (*растеризация*) и графическое совмещение растровых и векторных слоев данных.

6. ***Измерительные операции и операции аналитической*** (*координатной*) ***геометрии.*** Вычисление длин отрезков прямых и кривых линий, площадей, периметров, объемов, характеристик форм объектов и т. п., автоматизация обработки данных геодезических измерений.

7. ***Полигональные операции.*** Включают определение принадлежности точки полигону, линии полигону, наложение полигонов (топологический оверлей), уничтожение границ и слияние полигонов, индикацию и удаление паразитных полигонов, генерацию *полигонов Тиссена* (диаграмм Вороного).

8. ***Пространственно-аналитические операции*** (операции пространственного анализа). Одна из базовых функциональных групп ГИС, включающая *анализ близости* (окрестности), расчет и *анализ*

зон *видимости/невидимости*, *анализ сетей* (сетевой анализ), расчет и построение *буферных зон* (буферизация).

9. ***Пространственное моделирование*** (геомоделирование). Построение и использование моделей пространственных объектов, их взаимосвязей и динамики процессов (математико-статистический анализ пространственных размещений и временны́х рядов, межслойный корреляционный анализ взаимосвязей разнотипных объектов и т. п.) средствами встроенных функций пространственного моделирования или путем создания *интерфейса* с моделями вне среды ГИС.

10. ***Цифровое моделирование рельефа и анализ поверхностей.*** Создание и обработка *цифровых моделей рельефа*, расчет производных морфометрических характеристик (*углов наклона*, *экспозиции* и формы склонов), построение трехмерных изображений местности, профилей поперечного сечения, вычисление объемов, генерация линий сети тальвегов и водоразделов и иных особых точек и линий рельефа, *интерполяция* высот, построение изолиний по множеству значений высот, автоматизация аналитической отмывки рельефа, цифровое *ортотрансформирование* изображений. Сюда же можно отнести моделирование трехмерных объектов (*тел*) в рамках моделей данных «истинных» трехмерных ГИС.

11. ***Вывод данных.*** Генерация отчетов, документирование результатов в текстовой, графической (в том числе картографической), табличной формах с использованием различных графических периферийных устройств (принтеров, графопостроителей и т. п.), экспорт данных.

Существо операций приведенной технологической схемы, алгоритмы, лежащие в их основе, способы и особенности их программной реализации будут подробно рассмотрены в гл. 2 «Функциональные возможности ГИС».

Выделенные базовые функциональные группы не исчерпывают всего разнообразия операций, образующих технологическую основу ГИС. Конкретные универсальные и тем более специализированные программные средства ГИС могут содержать и поддерживать многие другие операции, в том числе выходящие далеко за пределы чисто геоинформационного функционалитета. К примеру, известны растровые ГИС, позволяющие выполнять операции «*алгебры карт*» (map algebra), сходные с матричными операциями, и даже достаточно развитые функции цифровой обработки данных дистанционного зондирования. С учетом активных интеграционных процессов базовый набор функций может быть значительно расширен; к таким функциональным расширениям можно отнести аппарат *экспертных систем* и *баз знаний*, *нейросети*, *интеллектуальный* (содержательный) *анализ данных* (data mining), методы *искусственного интеллекта* в целом, методы *виртуальной реальности*.

Для обозначения геоинформатики как производственной деятельности используют термин *геоинформационная индустрия* (ГИС-индустрия). Ядро отрасли составляют разработка, продажа и сопровождение программных средств ГИС и выполнение *геоинформационных проектов* (ГИС-проектов) на их основе. Сюда же относят разнообразный сервис, или геоинформационные услуги по внедрению (приложениям) геоинформационных технологий в целом или отдельных ее операций и этапов. Они включают цифрование и векторизацию бумажных картографических источников, конвертирование данных из одного формата в другой, системную интеграцию с иными информационными системами и технологиями (дистанционного зондирования, глобального позиционирования и т.п.).

К отдельной подотрасли условно можно отнести *геоинформационное образование* (ГИС-образование), профессиональную подготовку специалистов в области геоинформатики и ГИС. В проблематику ГИС-образования входят образовательные стандарты, программы геоинформационных курсов для средних специальных учебных заведений и вузов, внедрение начал геоинформатики в школьное обучение, создание учебных (обучающих) ГИС.

С развитием и диверсификацией ГИС-индустрии как отрасли намечается четкая специализация в профессиональной сфере и в обучении ГИС-специальностям; формируются профессии «ГИС-аналитик», «ГИС-менеджер», «ГИС-специалист», «ГИС-техник», «ГИС-программист».

Геоинформационная индустрия порождает рынок, связанный с производством и потреблением (использованием) геоинформационных продуктов и услуг. К *геоинформационному рынку* (ГИС-рынку) относят геоинформационные технологии, программные продукты ГИС, пространственные данные, персонал, занятый выполнением геоинформационных проектов, компьютерную технику и специализированное оборудование, включая периферийные устройства, геодезические приборы, съемочную и иную аппаратуру. Глобальный геоинформационный рынок естественным образом распадается на национальные сегменты, или на национальные рынки, которые в свою очередь образованы региональными и местными сегментами, следуя территориальному принципу его организации. Более или менее сформировавшийся геоинформационный рынок разделяется на сегменты, соответствующие крупным группам потребителей продуктов и услуг (например, отраслям хозяйства или науки), предметным областям и технологиям.

Контрольные вопросы

1. Что составляет предмет и метод геоинформатики?
2. Какие научные дисциплины и технологии образуют окружение геоинформатики?

3. В чем заключается отличие геоинформатики от геоматики?

4. Какие основные функциональные группы выделяются в технологической схеме обработки данных в ГИС?

5. Какие функции составляют ядро геоинформационных технологий и почему?

6. Почему геоинформационные технологии могут служить средой интеграции всех иных технологий, связанных с обработкой пространственно-координированных данных?

7. Какие интеграционные процессы сопровождают современное развитие геоинформатики?

8. Что входит в понятие геоинформационной индустрии?

9. Какие сегменты образуют геоинформационный рынок?

10. Какие тенденции характерны для современного мирового геоинформационного рынка?

1.3. Периодизация развития геоинформатики

Что же привело к рождению геоинформатики? Круг причин и предпосылок огромен, но главными были следующие:

- широкое распространение компьютеров и совершенствование средств периферии;
- накопление обширных аэрокосмических, статистических и других материалов;
- потребность упорядочения сведений в базах данных для разнообразных целей;
- обеспечение сохранности и доступности этих материалов для широкого круга пользователей;
- необходимость оперативных принятий решений и др.

Произошло не просто суммирование знаний, технических возможностей и опыта из сфер вычислительной техники, информатики, географии и картографии, а их умножение, что и привело к «взрывообразному» развитию данного направления. Следует заметить, что в течение всей истории геоинформатики, укладывающейся в ничтожно малый отрезок времени в 40—45 лет, были и периоды ускорения, и относительного замедления, и даже некоторого застоя. Сам взгляд на историю существенно зависим от точки зрения (места в клубке идей и технологий, из которого тянется сегодняшняя нить геоинформатики в ее современном и вполне устоявшемся понимании).

Геоинформатика как наука относительно молода, но и она имеет свою историю, которая может быть разделена на четыре нечетко выраженных периода.

I период. В ***60-е годы*** XX в. совершенствовались техника и опыт под единой, пока не оформившейся «крышей». Наиболее ярким примером этого периода было создание в 1963—1971 гг. Канадской ГИС (CGIS) под руководством Р. Томлинсона. Ее методиче-

ские основания обобщены в его докторской диссертации [P. Tomlinson, 1974], а технологические и прикладные аспекты освещены в десятках, если не сотнях статей, в том числе серии избранных публикаций и другой периодике. Ставшая одним из примеров крупной универсальной региональной ГИС национального уровня, CGIS может считаться классикой, и «ни одна из систем не может сравниться с Канадской ГИС по числу статей, ссылающихся на нее» [G. Nagy, Sh. Wagle, 1979]. Данная система создавалась для анализа данных инвентаризации земель Канады в области рационализации землепользования. Одним из важнейших результатов ее использования было создание карт масштаба 1 : 50 000, причем применялось самое современное оборудование — специальный экспериментальный *сканер*. Выполнялось наложение и измерение площадей, ранее не использовавшиеся в геоинформатике. Применялась абсолютная система координат. Позднее была создана база данных на основе тематических слоев, налажен дистанционный доступ к ней, а еще позднее была предпринята попытка приспособить Канадскую ГИС к сетевым технологиям, однако появились более современные системы, с которыми ей было сложно конкурировать. К тому же, как и всякая пионерная разработка, проект оказался весьма дорогостоящим.

Работы шведской школы геоинформатики концентрировались вокруг ГИС земельно-учетной специализации, в частности Шведского земельного банка данных, предназначенного для автоматизации учета земельных участков (землевладений) и недвижимости. Методические основы этих работ хорошо известны отечественному читателю из фундаментальных статей О. Саломонссона [1976] и Т. Германсена [1976] во втором выпуске сборника «Новые идеи в географии» (отв. ред. В. М. Гохман и Ю. В. Медведков) — одной из немногочисленных публикаций по проблематике ГИС, приуроченной к XXIII конгрессу Международного географического союза (МГС) в Москве и оказавшей значительное влияние на адаптацию идей геоинформатики в нашей стране. Основная цель конгресса — упорядочить собранный материал и облегчить доступ к нему, в частности для *автоматизированного картографирования*. Карты в основном строились в виде грубых алфавитно-цифровых распечаток — изображений, состоящих из букв и цифр, которые благодаря разной плотности создавали примитивный эффект полутоновых изображений (рис. 4).

Вторая половина 60-х годов XX в. знаменательна также работами Гарвардской лаборатории машинной графики и пространственного анализа. Созданное здесь программное обеспечение стало классическим в сфере автоматизированного картографирования. Так, первый и наиболее известный пакет SYMAP позволял создавать общегеографические карты на алфавитно-цифровых печатающих устройствах (изображения, подобные приведенному на рис. 4). По-

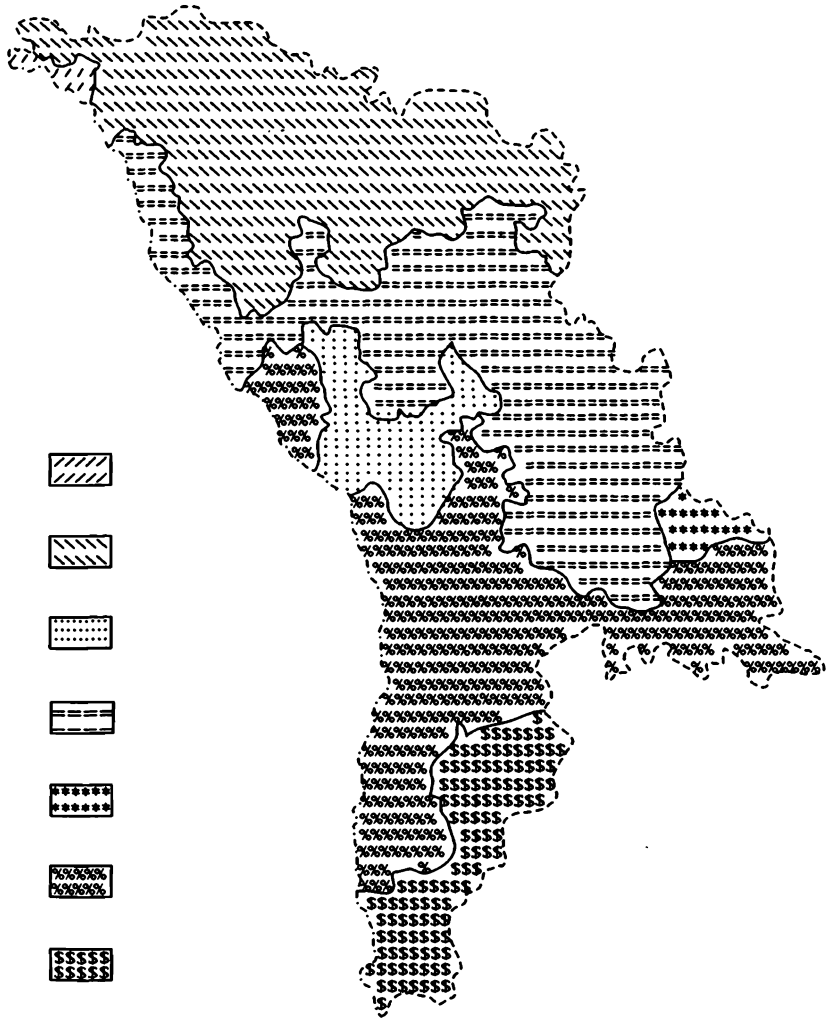


Рис. 4. Карта оценки природных условий для виноградарства Молдавии, созданная на алфавитно-цифровом печатающем устройстве ЭВМ

зднее, к концу 60-х годов с переходом к работам на графопостроителях, SYMAP трансформировалась в CALFORM. К этому же времени были разработаны программы SYMVU (для трехмерных изображений) и GRID (для работ с растровыми ячейками). Этот набор программ в 70-е годы преобразовался в POLYVRT и далее — в ODYSSEY, как комплексного пакета, базирующегося на векторных данных. Нельзя сказать, что в 60-е годы состоялось становление геоинформатики в России, но положительный результат, несмотря на существенные материальные затраты, был получен.

II период. В начале *70-х годов* XX в. ситуация начала меняться. Стало очевидно, что у геоинформатики большое будущее, появились примеры эффективного применения ГИС, но стоимость техники, программного обеспечения и обслуживания были столь высоки, что для многих они просто недоступны. Поэтому первая половина 70-х годов — это период шлифовки и доводки методики в крупных организациях и энтузиазм отчаянных одиночек. Зазвучали также голоса пессимистов: геоинформатика, мол, это «овчинка, которая не стоит выделки», так как ее продукция получается просто «золотой». Это был период некоторого застоя. Однако, справедливости ради, отметим появление в это время нескольких крупных теоретических обобщений и прежде всего — по методике структурирования пространственных данных.

Состояние и история разработок ГИС в Швеции, отражающая срез на середину 70-х годов, представлена специальным монографическим изданием журнала «Картографика» [Comput. cartogr. in Sweden, 1977]. По данным, сообщаемым во вводной статье этого издания О. Вастессоном, к середине 70-х годов в стране шла разработка и эксплуатация 12 информационных систем (ГИС или информационных систем, расширяемых до их уровня). В предисловии к книге Д. Тейлор анализирует также процесс их развития в Канаде, разделенный на пять стадий (рис. 5), иллюстрирующих «в неакадемических терминах и мерах» степень энтузиазма и надежд разработчиков ГИС: сверх-энтузиазм первых экспериментов, не подкрепленный реальными возможностями; разочарование от первых неудач; возросшая активность и новые надежды; второй кризис, связанный с трудностями решения некоторых проблем; движение к завершению после их решения.

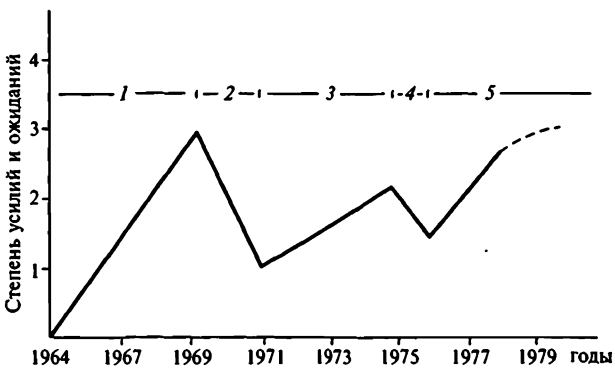


Рис. 5. Стадии развития ГИС в Канаде [Comput..., 1981. — P. 4]:

1 — «Gee Whiz!» («Вперед и с песней!»); *2* — «My Good!» («Боже мой!»); *3* — «Let's Try Again!» («Снова да ладом!»); *4* — Oh,oh! (Ой-ой!); *5* — We've made it! (И все-таки мы ее сделали!)

Нужно отметить существенное взаимовлияние двух геоинформационных школ. Анализ ранней канадской и шведской литературы по ГИС показывает, что ГИС «первого поколения» (60-е — начало 70-х годов) значительно отличались от того, что понимается под ними в настоящее время. Они зачастую были ориентированы на чисто утилитарные задачи инвентаризации земельных ресурсов, земельного кадастра и учета в интересах совершенствования системы налогообложения, решаемые путем автоматизации земельно-учетного документооборота в виде банков данных соответствующей специализации. Основная функция ГИС состояла во вводе в машинную среду первичных учетных документов для хранения и регулярного обновления данных, достаточно незамысловатой (на сегодняшний взгляд) обработки, включающей агрегацию данных и генерацию итоговых отчетных статистических табличных документов, вполне аналогичных «Земельным балансам».

Инвентаризационные задачи, но на иной исходной основе — путем массового цифрования карт — решались первоначально и в Канадской ГИС. Однако участие в их разработках научно-исследовательских коллективов, в том числе профессиональных географов (в Швеции — это коллектив Университета Лунда), позволило заложить в их основу некоторые фундаментальные принципы, которые обеспечили их выход в сферы не только узко прагматических, но и более универсальных интересов и областей применения. Первый и главный шаг, который вывел ГИС из круга баз данных общего назначения, заключался во введении в число атрибутов операционных объектов (земельных участков, строений, физических и юридических лиц, ареалов использования земель, бонитировки почв или лесотаксации) признака пространства, в какой бы форме местоуказания (в координатах, в иерархии административной принадлежности, в терминах принадлежности к ячейкам регулярных сетей членения территории) он ни выражался. Достаточно революционным являлось уже указание координат *центроидов* объектов — прием, активно использовавшийся в Швеции. Напомним, что в начале 60-х годов массовое *цифрование* карт и их представление в векторном формате было уделом отдельных экспериментов картографических служб оборонных ведомств.

В этот период сформировалось понятие пространственных объектов, описываемых их позиционными и непозиционными *атрибутами*. Оформились две альтернативные линии представления — растровые и векторные структуры, включая топологические линейно-узловые представления. Чуть позже была создана технология массового цифрования карт — основного источника данных в Канадской ГИС. Поставлены и решены задачи, образующие ядро геоинформационных технологий: наложение (оверлей) разноименных слоев, генерация буферных зон, полигонов Тиссена и иные операции манипулирования пространственными данными, вклю-

чая определение принадлежности точки полигону, операции вычислительной геометрии вообще. Найдены эффективные решения других геометрических проблем, алгоритмы аналитических операций и графоаналитических построений.

Функциональная ограниченность ГИС «первого поколения» (например, отсутствие или примитивность средств графической и картографической документации) имела и чисто технические причины: неразвитость периферийных устройств, давно забытый пакетный режим обработки данных (*дисплей*, применение которого позволило реализовать интерактивное взаимодействие оператора и машины, становится обычным устройством отображения лишь в середине 70-х годов) на крупных и мощных, но безумно (по сегодняшним меркам) дорогих ЭВМ, непереносимость программного обеспечения, критичность вычислительных ресурсов по отношению к объемам данных и времени исполнения задач. Так или иначе, ядро геоинформационных технологий было сформировано до начала 70-х годов, определив облик ГИС первого поколения.

Для 70-х годов характерно достаточно тесное взаимодействие методов и средств геоинформатики с параллельной и ранее независимой линией развития цифровых методов картографирования и автоматизированной картографией. Начало было положено работами Ж. Бертена по печати компьютерных статистических карт на примитивных печатающих устройствах, ранее упоминавшимися экспериментами Лаборатории машинной графики и пространственного анализа Гарвардского университета, успехами в области автоматизированного картографирования государственных топографо-геодезических служб. Считается, что первая автоматизированная картографическая система была создана в Великобритании в Экспериментальной картографической части Королевского колледжа искусств Д. Бикмором в 1964 г. В России сформировалось новое направление — *математико-картографическое моделирование* [В.Т. Жуков, С.Н. Сербенюк, В.С. Тикунов, 1973, 1980].

Общность технической базы, структурно-функциональное единство или подобие автоматизированных картографических систем и ГИС создали в 70-х годах предпосылки к их будущей интеграции, породив, однако, «картоцентрический» взгляд на геоинформатику, ее сущность и историю [P.A. Burrough, 1986]. Хотя действительно исторически ГИС в современном их понимании развивались в значительной степени на базе информационно-поисковых систем, позднее они включили функции картографических банков данных с параллельным расширением возможностей математико-картографического моделирования и анализа данных. Рассматривая карту как инструмент для географического анализа и выделяя подсистему пользователя [M. Konecny, K. Rais, 1985], ГИС стали охватывать и область использования карт. Большинство ГИС этого периода включают в свои задачи создание

карт или используют картографические материалы как источник исходных данных.

К этому периоду относится быстрый прогресс геоинформационных и автоматизированных картографических технологий в США. Здесь следует сказать о Геологической службе США и Бюро переписей, в частности, в связи с созданием системы, ориентированной на детальную характеристику уличной сети городов и организацию транспортного движения. Создано также несколько компьютерных атласов по материалам переписей.

Большая организационная роль в становлении геоинформатики принадлежит Международному географическому союзу, в том числе ее комиссии по сбору и обработке географических данных под руководством Р. Томлинсона. Среди ее основных инициатив следует назвать инвентаризацию ГИС и программных средств, относящихся к манипулированию пространственными данными, машинной и картографической графике. Эта работа была выполнена в конце 70-х годов, и по ее итогам в 1981 г. опубликован трехтомник «Программное обеспечение обработки пространственных данных» под редакцией Д. Марбла [Computer software, 1981], не имеющий аналогов в мировой литературе по сей день, исключая, может быть, «Справочники по ГИС» [The 1990 GIS Sourcebook, 1990; 1991—1992 International GIS..., 1991; 1993 International GIS..., 1992].

Первый том инвентория содержал стандартизованные описания 85 полномасштабных ГИС; несколько сотен описаний иных программ обработки географических данных помещены во втором и третьем томах. Проблематика ГИС постоянно входила в программы конгрессов МГС, включая XXIII Московский (1976), оказавший значительное влияние на развитие советской географии, обратив внимание на важность развертывания исследований в области геоинформатики. В программах Международных картографических конференций Международной картографической ассоциации (МКА) тематика ГИС стала выноситься в отдельные рубрики значительно позже, уже после XI конференции МКА в Варшаве в 1982 г.

Новый взлет наметился в конце 70-х — начале 80-х годов XX в., когда широко распространились дешевые персональные компьютеры. Открылись принципиально новые возможности для массового потребителя. Эйфория проявляется во всем, вплоть до попыток обосновать целесообразность замены и поглощения традиционных наук, имеющих дело с пространственно распределенными данными, одним всеобъемлющим направлением. Картографическая продукция этого времени уже почти не отличается от карт, издаваемых по традиционным технологиям.

III период. «Эпоха зрелости», эпоха первых комплексных решений, наступает в ***80-е годы***, когда отдельные компьютерные про-

граммные пакеты по обработке данных, по подготовке текстов или карт трансформируются в единую увязанную систему, способную помочь человеку в принятии ответственных решений. В это же время создаются компьютерные локальные и глобальные сети, революционно изменившие доступ к базам данных. Персональные компьютеры в ряде организаций уже начинают вытесняться рабочими станциями. Отмечается чрезвычайный динамизм развития ГИС — к середине 80-х годов их число приближается к 500 [K. C. Clarce, 1985], а по другим данным — к 2000. Расширяется «география» ГИС, устанавливается баланс между уровнем развития геоинформатики Старого и Нового света, заметно нарушенный в 70-х годах заатлантическими соседями. Разработка коммерческих программных средств ГИС, связанная в немалой степени с возможностями мини- и микроконфигураций вычислительных средств, а позже и персональных ЭВМ, существенно меняет всю *геоинформационную индустрию*, появление которой связывается именно с этим периодом. Создание ГИС стало основываться не на уникальных программных и аппаратных средствах собственной разработки, а на адаптации функциональных возможностей достаточно операционно универсальных программных продуктов применительно к анализируемым проблемам. Именно это время было периодом массового создания ГИС на платформе персональных компьютеров (причем практически исключительно на IBM PC).

Одним из ярких примеров этого периода может стать появление наиболее популярного в мире программного обеспечения ARC/INFO (ArcInfo в настоящее время) в Институте изучения систем окружающей среды (ESRI, Inc., США), к созданию которого привело соединение стандартной реляционной системы управления базами данных (INFO) с программой (ARC). Важнейшей особенностью его стала независимость от платформ и операционных систем.

В 80-е годы существенно расширяется круг решаемых задач, геоинформационные технологии проникают во все новые сферы науки, производственной деятельности и образование. Осваиваются принципиально новые источники массовых данных для ГИС: данные дистанционного зондирования, включая материалы спутников серии Ландсат, а позднее СПОТ, данные глобальных систем позиционирования [в это время их также называли системами навигации, местоуказания и др.]. Цифровые методы обработки изображений интегрируются с системами автоматизированной картографии (в том числе с ее новой ветвью — электронной картографией) и ГИС, создавая предпосылки единой программной среды 90-х годов.

IV период. В *90-е годы* появились интеллектуальные системы и технологии мультимедиа — комплексного воздействия на различные органы чувств человека — зрение, слух, а в перспективе — обоняние и даже осязание. Можно обратиться и к более частным

вопросам, например картографической визуализации в ГИС. Так, даже традиционные бумажные карты, естественно имеющие самое широкое распространение и применение, стали претерпевать определенные изменения — становиться «рельефными», пригодными для визуального и компьютерного считывания, переноситься на другие основы: материю, пластик, что позволяет, например, работать на пластиковых контурных картах в школе, используя их многократно и для разных целей и т.д. Подавляющее большинство карт преобразуется в цифровые модели, а их тематические наборы или слои начинают комплексироваться в электронные атласы, изготовляемые по индивидуальному заказу. Обычными становятся голографические изображения и карты в области «виртуальной реальности».

В это время интенсивно велись работы в области моделирования — активно внедрялась теория фракталов, катастроф, хаоса в географии, начали применять нейронные сети для многомерных классификаций и прогнозирования — задач, традиционно важных для всех географических наук. Более подробно эти вопросы будут рассмотрены в 2.2. За рубежом оформилось направление, называемое geoprocessing. Бурно и стремительно стали вестись работы по *инфраструктурам пространственных данных* (см. 5.2). Очень многочисленными стали примеры интеграции ГИС и Интернет (см. 3.3), вплоть до того, что некоторые ученые стали называть этот период эпохой Интернет-ГИС.

Не обошли Россию и тенденции, прослеживаемые в области геоинформатики в наиболее развитых в этом отношении странах. В области теории — совершенствование фундаментальных понятий, «интеллектуализация» ГИС, обращение к объектно-ориентированным моделям в ГИС, развитие теории «нечетких знаний», совершенствование систем управления базами пространственных данных и знаний, разветвленных пользовательских систем и сетевых структур, а также интегрированных ГИС. Все большее внимание стало уделяться интеллектуальному анализу данных (data mining). Применение ГИС из стадии экспериментов начинает переходить в сферу практического использования, причем не в отдельных пунктах, а по всему фронту научных, практических и управленческих областей. Идет процесс существенного пересмотра учебных программ по геоинформатике, а также совершенствование подготовки кадров пользователей ГИС. Все больше проектов стало выполняться не на персональных компьютерах, а на рабочих станциях, с широким использованием компьютерных сетей. Очень важным нам представляется обращение к полномасштабным системам поддержки принятия решений (см. 4.3).

Естественно, что говорить о конце прошлого и начале наступившего века в историческом контексте пока еще рано. Однако уже сейчас обозначился новый технологический виток в спирали

развития геоинформатики, который готовит ее к новым достижениям в начавшемся столетии. Это, прежде всего, создание мобильных ГИС, интеллектуализация систем, включение новых модулей, например имитационных моделей, разработки сценариев развития в ГИС, а также интеграция самих информационных систем с новыми технологиями, использующими пространственные данные. Усиливается интерес к адаптации достижений психологии в геоинформатике.

Контрольные вопросы

1. Когда появились первые геоинформационные системы?
2. Укажите основные причины и предпосылки, способствовавшие появлению геоинформатики.
3. На какие периоды можно разделить историю становления геоинформатики?
4. В какие годы применение ГИС-технологий стало рентабельным?
5. В какой период появились элементы интеллектуализации ГИС?
6. Сформулируйте, что нового появилось в геоинформатике с момента выхода в свет данного учебника.

Глава 2

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ГИС

2.1. Ввод, предобработка и хранение данных

2.1.1. Источники данных

Источники пространственных данных для ГИС — основа их *информационного обеспечения*. Затраты на информационное обеспечение геоинформационных проектов достигают 90 % от их общей стоимости. В литературе постоянно упоминается еще одна достойная внимания цифра — до 70 % всех данных, составляющих информационные ресурсы наций, регионов и ведомств, имеют пространственную привязку или могут быть более или менее легко координированы, получив статус пространственных. Тем не менее информационное обеспечение ГИС остается крайне трудоемким делом. Это связано с тем, что цифровая среда существования ГИС предполагает цифровую форму обрабатываемых ею данных, а основную массу источников составляют аналоговые данные («бумажные» карты, статистические табличные отчеты, тексты). При анализе и оценке различных типов источников как основы информационного обеспечения ГИС следует иметь в виду их общие свойства, а именно пространственный охват, масштабы, разрешение, качество, форму существования (аналоговая — цифровая), периодичность поступления, актуальность и обновляемость, условия и стоимость получения, приобретения и перевода в цифровую форму (цифрования), доступность, форматы представления, соответствие стандартам и иные характеристики, которые объединяются обобщающим термином «*метаданные*» («данные о данных»).

ГИС, как правило, оперируют различными упорядоченными наборами данных. Среди них традиционно различают картографические, статистические, аэрокосмические материалы, которые преобразуются и вводятся в среду ГИС и/или заимствуются из других геоинформационных систем — поэтому именно они будут предметом рассмотрения в данном подразделе. Помимо указанных материалов реже используются данные специально проводимых полевых исследований и съемок, а также литературные (текстовые) источники, что дает нам право охарактеризовать их лишь в самом общем виде. «Тип источника» объединяет генетически однородное

множество исходных материалов, каждое из которых сильно различается по комплексу характеристик, что и будет проанализировано ниже. К ним принадлежит, например, такой важный признак — в какой: цифровой (векторной, растровой) или нецифровой (аналоговой) форме получается, хранится и используется тот или иной набор данных, от чего зависят легкость, стоимость и точность ввода этих данных в цифровую среду ГИС.

Использование географических карт как источников исходных данных для формирования баз данных удобно и эффективно по ряду причин. Во-первых, атрибутивные характеристики, полученные с картографических источников, имеют территориальную привязку, во-вторых, в них нет пропусков, «белых пятен» в пределах изображаемого пространства (территории, акватории и др.) и, в-третьих, уже имеется множество технологий перевода этих материалов в цифровую форму. Картографические источники отличаются большим разнообразием — кроме общегеографических и топографических карт насчитываются десятки и даже сотни типов различных тематических карт, один только перечень которых занял бы не одну страницу текста. Детальная характеристика обеспеченности картографическими материалами достаточно стабильна и содержится, например, в учебниках по картографии, а обновление фондов тематических карт до 1990 г. регулярно характеризовалось в выпусках ВИНИТИ РАН «Итоги науки и техники. Картография». В настоящее время эта информация содержится в многочисленных каталогах хранилищ карт, в том числе доступных через Интернет.

Кратко охарактеризуем основные блоки ***картографических источников***. Организация таких блоков может основываться на имеющейся системе классификации карт.

Общегеографические карты. Топографические (масштаб 1 : 200 000 и крупнее), обзорно-топографические (от 1 : 200 000 до 1 : 1 000 000 включительно) и обзорные (мельче 1 : 1 000 000) карты содержат разнообразные сведения о рельефе, гидрографии, почвенно-растительном покрове, населенных пунктах, хозяйственных объектах, путях сообщения, линиях коммуникаций, границах. В геоинформатике эти карты служат для двух целей — получения информации о перечисленных объектах местности и пространственной привязки тематических сведений. К этой же группе источников можно отнести фотокарты и космофотокарты, полученные с использованием фотопланов, составленных по результатам аэро- или космической съемки, с нанесенными на них горизонталями и другой картографической нагрузкой, обычной для общегеографических карт. Среди **тематических карт** выделяют карты природы, населения, экономики и др.

Карты природы. Это наиболее разнообразная по тематике группа карт, включающая карты геологического строения и ресурсов недр, геофизические, рельефа земной поверхности и дна океанов, ме-

теорологические и климатические, гидрологические и океанографические, почвенные, геоботанические, зоогеографические, медико-географические, ландшафтные и общие физико-географические, охраны природы.

Карты народонасе́ления. Среди карт народонаселения выделяют следующие основные сюжеты: размещение населения по территории и расселение; этнографическая и антропологическая характеристика народонаселения; демографическая характеристика; социально-экономическая характеристика.

Карты экономики. Данный класс карт наиболее обширен и разнообразен среди карт социально-экономической тематики. Здесь, прежде всего, выделяют карты промышленности с подразделением на добывающую и обрабатывающую или более детально по каждой отрасли промышленности. Еще более многочисленны карты сельского хозяйства. Широко используется характеристика природных ресурсов, зачастую с их хозяйственной оценкой и прежде всего земельных фондов, трудовых ресурсов, материально-технической базы сельского хозяйства и др. Отраслевые карты сельскохозяйственного производства подразделяют на карты земледелия и животноводства. Карты лесного хозяйства характеризуют распространение и использование лесных ресурсов. Карты транспорта отображают разнообразные проявления деятельности всех видов транспорта, а также дают их общую комплексную характеристику. На картах изображаются средства связи. Среди карт строительства принято выделять карты капитального строительства, строительных и монтажных организаций, материально-технической базы и территориальных комплексов строительства. Реже встречаются специальные карты торговли и финансов. Логическим завершением блока экономики являются общеэкономические карты.

Карты науки, подготовки кадров, обслуживания населения связаны как с картами народонаселения, так и экономики. Поэтому некоторые виды карт иногда характеризуются в двух предыдущих разделах (карты торговли, связи и т.д.), а иногда их выделяют в качестве самостоятельных групп в пределах карт науки, подготовки кадров и обслуживания населения. Однозначной классификации карт в данном случае нет.

Отдельно выделяются ***политические***, ***административные*** и ***исторические карты***. Что касается классификации экологических карт, то можно согласиться с тем, что они «...не имеют четких различий по содержанию ни с картами природы, ни с социально-экономическими картами. В каждом из этих классов могут быть выделены сюжеты, имеющие "экологический уклон", полезные для экологии» [Комплексное..., 1997. — С. 11]. Действительно легко отметить некоторую условность разграничения карт, когда, например, на комплексных и синтетических экологических картах происходит совмещение или слияние разнородных тематических слоев, отно-

сящихся к разным типам. Тем не менее, исходя из классификаций [А. Г. Исаченко, 1992; Л. М. Смирнов, 1994; В. И. Стурман, 1995 и др.], выделяют крупные блоки экологических карт — биоэкологические, геолого-экологические, географо-экологические, антропоэкологические, социально-экологические, экономико-экологические, общие экологические [Комплексное...., 1997].

В 90-е годы XX в. в России была проделана значительная работа по преобразованию аналоговой информации общегеографических, топографических и геологических карт в цифровой (векторный) вид. Для выполнения этих работ в Роскартографии были созданы центры геоинформатики (Росгеоинформ, ГосГИСЦентр, СевЗапгеоинформ, Сибгеоинформ, Уралгеоинформ и Дальгеолинформ), которые, используя технологии, разработанные в НИИ ПМК (Нижний Новгород), выполнили работы по цифрованию карт масштаба 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000. В последующем Росгеоинформ был слит с ГосГИСЦентром, а Дальгеоинформ вошел в состав Хабаровского АГП. Результаты работы центров хранятся и поддерживаются в актуальном состоянии в Фонде цифровой пространственной информации в ГосГИСЦентре.

Созданием цифровых карт практически всех перечисленных выше типов занимаются также соответствующие профильные организации и ведомства. Так, например, геологические карты в цифровом виде создают региональные информационно-компьютерные центры Министерства природных ресурсов РФ. Вся работа по созданию цифровых геологических карт выполняется с использованием нескольких ГИС — ArcInfo, ArcView (ESRI, Inc.), ГИС «ПАРК» (Ланэко), GeoGraph/GeoDraw (ЦГИ ИГ РАН). Созданные на настоящий момент карты хранятся в ГлавНИВЦе МПР РФ. Информация о состоянии работ по созданию цифровых геологических карт доступна в Интернете на сайте государственного банка цифровой геологической информации Министерства природных ресурсов РФ.

Значительные объемы работ по созданию цифровых карт проводятся во многих городах России. Среди лидеров этого процесса такие города, как Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Ростов-на-Дону, Краснодар, Казань, Уфа, Нижний Новгород, Сургут, Таганрог, Находка и многие другие. В ряде случаев для этих целей используется гибридная растрово-векторная технология. Спектр применяемых для этих целей программных продуктов очень широк: ArcInfo, ArcView (ESRI, Inc.), MapInfo Professional (MapInfo Corp.), MicroStation (Bentley Systems, Inc.) и др.

Следует отметить особую роль ***серий карт*** и ***комплексных атласов***, где сведения приводятся в единообразной, систематизированной, взаимно согласованной форме: по проекции, масштабу, степени генерализации, современности, достоверности и другим параметрам. Такие наборы карт особенно удобны для создания те-

матических баз данных. В последние годы более часто стали создаваться не серии карт, а атласы самой различной тематики. Причем заметим, что упорядочение тематических слоев в них может быть самым разнообразным и определяется целевой установкой атласа. Так, например, следуя логике упорядочения материала для обоснования моделей устойчивого развития территорий предлагается следующая последовательность: духовно-нравственные и исторические основы, социально-демографическая, политическая и экономическая компоненты, природно-ресурсный потенциал и сохранение природы [В.С.Тикунов, 2002].

Важным источником цифровой пространственной информации становится Интернет. Следует выделить два направления обеспечения цифровой информацией через Интернет — продажа данных (в основном для навигационных систем) и предоставление данных как ресурса для размещения собственной (обычно рекламной) информации. В первом сегменте в качестве примера можно назвать сайты фирм Ингит, С-Мар, а во втором — e-atlas.ru и nakarte.ru.

Одним из основных источников данных для ГИС являются материалы ***дистанционного зондирования***. Они объединяют все типы данных, получаемых с носителей космического (пилотируемые орбитальные станции, корабли многоразового использования типа «Шаттл», автономные спутниковые съемочные системы и т.п.) и авиационного (самолеты, вертолеты и микроавиационные радиоуправляемые аппараты) базирования и составляют значительную часть дистанционных данных (remotely sensed data) как антонима контактных (прежде всего наземных) видов съемок, способов получения данных измерительными системами в условиях физического контакта с объектом съемки. К неконтактным (дистанционным) методам съемки помимо аэрокосмических относятся разнообразные методы морского (наводного) и наземного базирования, включая, например, фототеодолитную съемку, сейсмо-, электро-, магниторазведку и иные методы геофизического зондирования недр, гидроакустические съемки рельефа морского дна с помощью гидролокаторов бокового обзора, иные способы, основанные на регистрации собственного или отраженного сигнала волновой природы.

Аэрофотосъемку в нашей стране начали осуществлять с 30-х годов XX в. и к настоящему времени накоплен фонд снимков, полностью покрывающих страну, а для многих районов с многократным перекрытием, что особенно важно при изучении динамики объектов. Материалы аэрофотосъемки используются в основном для топографического картографирования страны, также широко применяются в геологии, в лесном и сельском хозяйстве.

Космические снимки начали поступать с 60-х годов XX в. и к настоящему времени их фонд исчисляется десятками миллионов.

Виды космических материалов очень разнообразны. Существуют две технологии космических съемок: съемки с использованием фотографических и сканерных систем. Их обзор можно найти во многих учебниках, книгах, статьях [Б. В. Виноградов, 1976; Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцова, 1991; **С. В. Гарбук**, **В. Е. Гершензон**, 1997 и др.]. Остановимся лишь на самых общих характеристиках.

Дистанционное зондирование осуществляется специальными приборами — датчиками. Датчики могут быть пассивными и активными, причем пассивные датчики улавливают отраженное или испускаемое естественное излучение, а активные способны сами излучать необходимый сигнал и фиксировать его отражение от объекта. К пассивным датчикам относятся оптические и сканирующие устройства, действующие в диапазоне отраженного солнечного излучения, включая ультрафиолетовый, видимый и ближний инфракрасный диапазоны. К активным датчикам относятся радарные устройства, сканирующие лазеры, микроволновые радиометры и др. В настоящее время в области разработки оперативных космических электронных систем дистанционного зондирования наметилась тенденция к комбинированному использованию различных многоканальных, многоцелевых датчиков с высоким разрешением, включая всепогодное оборудование. Наряду с этим по-прежнему используются неоперативные космические системы с панхроматическим фотооборудованием и многоспектральными фотокамерами, обеспечивающими высокое разрешение и геометрическую точность.

Результаты дистанционных измерений, осуществляемых с помощью бортовой информационно-измерительной аппаратуры аэрокосмической системы, представляют собой регистрацию в аналоговой или цифровой форме характеристик электромагнитного излучения, отраженного от участков земной (водной) поверхности или собственного излучения этих участков.

Для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) используются ультрафиолетовый, видимый или световой диапазон, ближний или фотографический, инфракрасный, тепловой инфракрасный и микроволновый диапазоны волн электромагнитного излучения.

В условиях облачности, покрывающей 70—80 % поверхности Земли, зондирование в микроволновом диапазоне позволяет регистрировать излучение сквозь облака, при этом в миллиметровом и сантиметровом диапазонах еще необходимо учитывать влияние атмосферы, а в дециметровом диапазоне в этом нет необходимости.

При высоком качестве изображения фотографические съемки выполняются не систематически; лишь в отдельных случаях возможно получение повторных снимков на одну и ту же территорию. Из-за эпизодичности съемок и трудностей, связанных с облачностью, регулярное покрытие территории таким видом съемки пока не обеспечивается. Поэтому приходится обращаться к снимкам других типов — телевизионным и сканерным снимкам со спутни-

ков двойного назначения и ресурсных спутников. Эти снимки бывают сверхвысокого разрешения от 0,5 до 5 м (QuickBird-2, США; TES, Индия; Ikonos, США и др.), высокого разрешения: от 5 (SPOT) до 30—40 м (Landsat TM, Ресурс-0 и др.); среднего разрешения: 150—200 м (Ресурс-0, Метеор-Природа) и малого разрешения: 1 км (NOAA, США) и более.

На сканерных снимках хорошего качества, особенно на цветных синтезированных, в целом выделяются те же объекты, что и на фотографических снимках, но при этом обеспечивается регулярная повторяемость съемки и удобство автоматизированного ввода в базы данных, поскольку они поступают в цифровом виде.

К обзорным телевизионным и сканерным снимкам с метеорологических и ресурсных спутников относятся снимки, получаемые сканерами среднего и малого разрешения, например с Российских метеорологических спутников «Метеор» и американских спутников NOAA, Тайрос-N и др. Они характеризуются разрешением на местности, как уже было указано выше, порядка 1 км.

Снимки в невидимом диапазоне спектра электромагнитных волн распространены менее широко, среди них тепловые инфракрасные и снимки в радиодиапазоне (микроволновом и ультракоротковолновом). В последние годы все большее значение придается гиперспектральной съемке.

Характеризуя различные стороны дистанционного зондирования, следовало бы сказать и о масштабах, проекциях, периодичности, орбитах, покрытии и других параметрах космических систем, что излишне для учебника по геоинформатике.

В последние годы стали широко использоваться уже упоминавшиеся глобальные системы позиционирования, дающие возможность получать координаты с точностью от нескольких метров до нескольких миллиметров, что в сочетании с портативными персональными ЭВМ и карманными персональными компьютерами со специализированным программным обеспечением обработки данных позволяет использовать их для полевых съемок в условиях необходимости их сверхоперативного выполнения (например, при ликвидации последствий стихийных бедствий и техногенных катастроф). Интеграции ГИС и глобальных систем позиционирования посвящен подраздел 4.2.

Теперь обратимся к ***статистическим материалам***, имеющим цифровую форму и удобным для непосредственного использования в ГИС, среди которых особо выделим государственную статистику. Основное ее предназначение — дать представление об изменениях в хозяйстве, составе населения, уровне его жизни, развитии культуры, наличии материальных резервов и их использовании, соотношении в развитии различных отраслей хозяйства и др.

Для получения государственной статистики на территории страны обычно используется единая методика ее сбора. В России кроме

Госкомстата страны эту работу проводят также некоторые отраслевые министерства, например Министерство путей сообщения РФ — о железнодорожном транспорте и т. д. Статистическая отчетность различается по периодичности, она может быть суточной, недельной, полумесячной, квартальной, полугодовой и годовой. Кроме того, отчетность может быть и единовременной.

Для упорядочения всей совокупности данных государственной службой определены группы показателей по отраслям статистики. В качестве таких групп в нашей стране использовались отрасли статистики: промышленности; природных ресурсов и окружающей среды; технического прогресса; сельского хозяйства и заготовок; капитального строительства; транспорта и связи; торговли; труда и заработной платы; населения, здравоохранения и социального обеспечения; народного образования, науки и культуры; бюджетов населения; жилищно-коммунального хозяйства и бытового обслуживания населения; материально-технического снабжения и переписей; финансов.

Каждая из отраслей характеризуется набором показателей. В качестве примера обратимся к статистике сельского хозяйства и заготовок. Так, статистика земледелия включает показатели, связанные с рациональным использованием и охраной земельных угодий, их мелиорацией и химизацией, подготовкой и проведением сельскохозяйственных работ, производством и распределением продукции земледелия, выявлением неиспользованных ресурсов производства, эффективностью и качеством работ в этой области сельского хозяйства. Широко используются показатели валового сбора сельскохозяйственных культур и их урожайности. Обширна статистика животноводства, кормов и заготовок сельскохозяйственных продуктов. Важна группа показателей основных фондов и производственных мощностей в сельском хозяйстве, а также в механизации и электрификации сельскохозяйственного производства.

Статистика труда в сельском хозяйстве включает данные о численности, составе и движении рабочей силы; об использовании фонда рабочего времени, организации труда; об определении уровня и изучении динамики производительности труда, выявлении резервов повышения производительности труда; об анализе уровня и динамике заработной платы работников сельского хозяйства. Статистика себестоимости производства сельскохозяйственной продукции характеризует деятельность предприятий. Элементы производственных затрат составляют: оплата труда с начислениями, амортизация основных средств производства, затраты на текущий ремонт машин и зданий, расход семян, кормов, удобрений, ядохимикатов и др. В пределах других сфер (вне государственной статистики) сбор статистических данных в широком масштабе и регулярно не осуществляется.

Значительный объем статистических материалов может быть получен в Госкомстате России или взят из официальных статистических изданий, выпускаемых в настоящее время в традиционном и электронном видах.

Очень важны материалы переписей, последняя из которых проведена в России в октябре 2002 г.

Широки возможности использования стационарных измерительно-наблюдательных сетей для получения, прежде всего, ***гидрологических и метеорологических данных***, регулярный сбор и обработка которых имеет определенную историю. Так, метеорологические наблюдения включают синоптические характеристики у поверхности земли, показатели термобарического поля в свободной атмосфере (средние месячные значения давления, геопотенциала и температуры воздуха для уровня моря и основных изобарических поверхностей); данные актинометрических наблюдений (суммарная и отраженная радиация, радиационный баланс и т.д.); характеристики ветра в свободной атмосфере; нормы и аномалии средней месячной температуры воздуха; нормы месячных сумм осадков; месячные суммы осадков в процентах от нормы и еще многие другие показатели, исчисляемые несколькими десятками.

Гидрологические материалы содержат сведения о прошлом, настоящем и для некоторых элементов будущем состоянии рек, озер и водохранилищ. Данные собираются сетью из около 2000 опорных гидрометеорологических станций. Распространены и телеметрические станции, способные вести наблюдения и передавать данные в специальные центры без участия человека. Налажен автоматический сбор и хранение всего спектра данных — от срочных наблюдений до сводок за многолетние периоды — во Всесоюзном научно-исследовательском институте гидрометеорологической информации — Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД) в Обнинске (Калужская обл.), в Государственном гидрологическом институте (ГГИ) в Санкт-Петербурге. Для этих целей собираются сведения по всем водомерным и гидрометеорологическим постам, которые до 90-х годов публиковались в виде отдельных изданий.

В массив гидрологических наблюдений входят данные: о средних, высших и низших уровнях воды; о средних месячных расходах воды; о максимальных расходах воды и слоях стока за половодье и паводки; о ледовых явлениях на реках с устойчивым и неустойчивым ледоставом; о гранулометрическом составе взвешенных, влекомых и донных наносов; о средних месячных и декадных температурах воды по бассейнам; о дождевом паводковом стоке; о расходах взвешенных наносов и мутности воды, а также ряд других данных.

Многообразны работы, проводимые для нужд океанологии. Сбор осуществляется в глобальном масштабе с использованием судов

погоды, научно-исследовательских судов, плавмаяков, океанографических буйковых станций и др. Состав наблюдаемых данных включает следующие гидрометеорологические характеристики: температуру и соленость воды в приземном слое океана (моря) и на стандартных горизонтах (до глубины 500 м); направление, высоту и период ветровых волн и зыби; скорость и направление течений в поверхностном слое и на некоторых горизонтах; скорость и направление ветра на установленной высоте; температуру воздуха; температуру точки росы; атмосферное давление; общую солнечную радиацию и др. В настоящее время собираемые данные группируются в Центре океанографических данных ВНИИГМИ-МЦД, где они обрабатываются, контролируются и накапливаются на носителях информации, в частности на микрофильмах и магнитных лентах.

Обширные материалы могут быть получены из государственных кадастров, которые ведут Росземкадастр и Министерство природных ресурсов РФ. Например, ведение кадастра земельных участков производится Федеральной службой земельного кадастра России (Росземкадастром), лесов, вод, особо охраняемых природных территорий и месторождений и проявлений полезных ископаемых — различными службами Министерства природных ресурсов РФ. Это обеспечивает полноценную основу (наряду с принятием основополагающих законодательных актов) для рационализации управления нашими основными национальными богатствами. Значительный объем информации содержится в Федеральных информационных ресурсах Министерства природных ресурсов РФ.

При проведении тех или иных исследований, например на стационарах, собираются сведения о характеристиках ландшафтов или при учете населения птиц, где применяются интересные методики сбора данных, но, как правило, они не координируются в государственном и тем более в глобальном масштабах. Зачастую обследования проводятся отдельными экспедициями и используются для частных научно-исследовательских работ.

Велико информационное значение справочных изданий по отдельным типам географических объектов. Кроме вышеупомянутых справочников Гидрометслужбы, Госкомстата и др., хорошим примером может быть 40-томный Каталог ледников СССР, аккумулировавший в себе разнообразные гляциологические данные, в последующем обобщенные в Атласе снежно-ледовых ресурсов мира.

Отличительная особенность ***текстовых материалов*** — отчетов экспедиций, статей, книг — состоит в том, что, имея большой фактический материал, они не всегда представлены в специально классифицированном виде и не обеспечивают точную пространственную локализацию данных. Это позволяет разделить их по пригодности для информационного обеспечения географических ис-

следований. Во-первых, это книги и статьи обычного типа, содержащие разнообразные сведения, рассредоточенные как в региональном, так и в тематическом плане. Упорядоченному использованию подобного типа данных помогает их библиографическая каталогизация, в частности региональные каталоги географических библиотек. Определенной тематической и региональной систематизации лавины вновь поступающих текстовых материалов способствует их прохождение через Реферативный журнал, издаваемый ВИНИТИ РАН, рубрики которого нацелены именно на системное информационное обеспечение исследований.

Вторую группу составляют обобщающие тематические монографии по отдельным компонентам природы и хозяйства для крупных регионов (например, «Рельеф Земли», «Почвы мира» и др.) или комплексные географические работы (например, «Физико-географическое районирование СССР»). Близки к ним имеющие предметную и региональную направленность обобщающие глобальные и региональные географические работы, начиная от материков, океанов, крупных регионов мира (такие, как многотомное издание «География океанов», «Сохранение биоразнообразия» (2002) и др.) и заканчивая отдельными физико-географическими или экономико-географическими и политико-административными единицами «Малые реки Волжского бассейна» (под ред. Н. И. Алексеевского), «Геоэкология Прикаспия» (под ред. Н. С. Касимова) и др.

В заключение необходимо отметить, что в ГИС редко используется только один вид данных. Чаще всего это сочетание разнообразных данных на какую-либо территорию.

Контрольные вопросы

1. Определите, что входит в понятие «картографические источники».
2. В чем особенности использования материалов дистанционного зондирования Земли в ГИС?
3. Какие органы государственной власти отвечают за ведение фондов пространственной информации в цифровом виде?
4. Какие из источников информации дают наиболее оперативную пространственную информацию?
5. Какова периодичность сбора материалов государственной статистики?
6. В чем недостатки использования текстовых материалов в геоинформационных системах?
7. Дайте пример комплексного представления данных в ГИС.

2.1.2. Модели пространственных данных

Информационную основу ГИС образуют цифровые представления (модели) реальности. С появлением компьютера все множество данных разделилось на два типа: цифровые и аналоговые дан-

ные. Последними стали именовать данные на традиционных «бумажных» носителях, используя этот термин как антоним цифровым данным. В отличие от аналоговой, цифровая форма представления, хранения и передачи данных реализуется в виде цифровых кодов или цифровых сигналов.

Рассматривая данные по отношению к описываемым ими объектам, говорят о цифровых моделях объектов, а применительно к пространственным объектам в ГИС — о цифровых моделях пространственных объектов. Термин «цифровая модель» нельзя признать удачным — он отражает внешнюю форму их представления, а не его суть как набор логических правил построения системы из слагающих ее элементов — в данном случае элементарных (атомарных) пространственных объектов, имеющих аналогии в компьютерной графике и называемых там графическими примитивами.

Цифровые по форме, по своей сути модели пространственных данных относятся к типу информационных моделей, отличных от реальных (например, физических), математических, мысленных или моделей особого типа, например картографических.

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

Некоторое множество цифровых данных о пространственных объектах образует *пространственные данные*. Они состоят из двух взаимосвязанных частей: позиционной (тополого-геометрической) и непозиционной (атрибутивной) составляющих, которые образуют описание пространственного положения и тематического содержания данных соответственно.

Пространственные объекты как абстрактные представления реальных объектов и предмет информационного моделирования (цифрового описания) в ГИС разнообразны и традиционно классифицируются сообразно характеру пространственной локализации отображаемых ими объектов реальности, мерности пространства, которое они образуют, модели данных, используемой для их описания, и по другим основаниям. В рамках объектно-ориентированных моделей данные могут конструироваться в новые классы объектов, отличные от базовых или созданных ранее. Базовыми (элементарными) типами пространственных объектов, которыми оперируют современные ГИС, обычно считаются (в скобках приведены их синонимы) следующие:

- *точка* (точечный объект) — 0-мерный объект, характеризуемый плановыми координатами;
- *линия* (линейный объект, полилиния) — 1-мерный объект, образованный последовательностью не менее двух точек с извест-

ными плановыми координатами (линейными *сегментами* или *дугами*);

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

• *пиксел* (пиксель, пэл) — 2-мерный объект, элемент цифрового изображения, наименьшая из его составляющих, получаемая в результате дискретизации изображения (разбиения на далее неделимые элементы *растра*); элемент дискретизации координатной плоскости в *растровой модели* (*данных*) ГИС;

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

• *поверхность* (рельеф) — 2-мерный объект, определяемый не только плановыми координатами, но и аппликатой *Z*, которая входит в число *атрибутов* образующих ее объектов; оболочка *тела*;

• *тело* — 3-мерный (объемный) объект, описываемый тройкой (триплетом) координат, включающей аппликату *Z*, и ограниченный *поверхностями*.

Общее цифровое описание пространственного объекта включает:

— наименование;

— указание местоположения (местонахождения, локализации);

— набор свойств;

— отношения с иными объектами;

— пространственное «поведение».

Два последних элемента описания пространственного объекта факультативны.

Наименованием объекта служит его географическое наименование (имя собственное, если оно есть), его условный код и/или *идентификатор*, присваиваемый пользователем или назначаемый системой.

В зависимости от типа объекта его местоположение определяется парой (триплетом) координат (для точечного объекта) или набором координат, организованным определенным образом в рамках некоторой модели данных, о которых речь пойдет ниже. Это геометрическая часть описания данных, *геометрия* (метрика) рассматриваемых пространственных объектов, отличная от их семантики (непозиционных свойств).

Перечень свойств соответствует *атрибутам* объекта, качественным и количественным его характеристикам, которые приписываются ему в цифровом виде пользователем, могут быть получены в ходе обработки данных или генерируются системой автоматически (к последнему типу атрибутов принадлежат, например, значения площадей и периметров полигональных объектов). Существует расширенное толкование понятия атрибута объекта; после-

днему могут быть поставлены в соответствие любые типы данных: текст, цифровое изображение, видео- или аудиозапись, графика (включая карту), что, по существу, реализуется на практике в мультимедийных *электронных атласах*. Под атрибутами понимаются именно содержательные, тематические (непозиционные, непространственные) свойства объектов.

Под отношениями понимают прежде всего топологические свойства (*топологию*). К топологическим свойствам пространственного объекта принято относить его размерность (мерность, пространственную размерность), сообразно которой выше были выделены 0, 1, 2 и 3-мерные объекты; замкнутость, если речь идет о линейных объектах в широком смысле слова; связность; простота (отсутствие самопересечения линейных объектов и «островов» в полигоне); нахождение на границе, внутри или вне полигона; признак точечного объекта, указывающий, является ли он конечным для некоторой линии. Примерами топологических отношений объектов являются их свойства «пересекаться» (или «не пересекаться»), «касаться», «быть внутри», «содержать», «совпадать» [С.Ф.Трофимова, 2000].

Топология вместе с геометрией образует тополого-геометрическую часть описания данных, его позиционную часть.

Таким образом, в самом общем виде в пространственных данных следует различать и выделять три составные части: топологическую, геометрическую и атрибутивную — «геометрию», «топологию» и «атрибутику» цифровой модели пространственного объекта.

Четкое разделение позиционных и непозиционных данных — историческая традиция, имеющая определенные технологические корни. Управление атрибутивной частью данных обычно возлагается на средства *систем управления базами данных* (СУБД), встроенных в программные средства ГИС или внешних по отношению к ним (см. 2.1.4). В наиболее яркой форме оно реализовано в рассмотренной ниже *векторной модели данных*, атрибуты которой представлены таблицей, хранятся и управляются СУБД, поддерживающей реляционную модель данных, а их позиционная часть, связанная с атрибутивной через идентификаторы пространственных объектов, управляется другими средствами. Модели пространственных данных такого типа получили широкое распространение и наименование геореляционных. Будучи еще недавно практически единственной и став классической, геореляционная модель не выглядит достаточно изящной. Современной альтернативой этой модели является интегрированный подход, когда и атрибутивная, и тополого-геометрическая части данных хранятся и управляются в единой среде СУБД, а также объектный и объектно-реляционный подходы (и одноименные им типы моделей данных) [**Ю.К.Королев**, 1998].

Объектно-ориентированный подход к моделированию пространственных объектов вводит также понятие их «пространственного поведения».

Способы организации цифровых описаний пространственных данных принято называть моделями данных по традиции, унаследованной из теоретических обобщений проектирования систем управления *базами данных*. Они называются также цифровыми представлениями или просто представлениями пространственных данных.

На концептуальном уровне все множество моделей пространственных данных можно разделить на три типа: модели дискретных объектов, модели непрерывных полей и модели сетей.

Типами (классами) моделей именуют также модели, различающиеся по своему внутреннему устройству. В литературе существует множество классификаций моделей и наименований конкретных моделей. Построить исчерпывающую классификацию моделей пространственных данных вряд ли возможно: чуть ниже будет показано, что особенности моделируемой предметной области и специфические требования к функциональности ГИС могут потребовать разработки и использования весьма специальных моделей данных. Кроме того, как справедливо заметил Ю. К. Королев, «их нельзя расклассифицировать по одной оси, они различаются как бы «в разные стороны» [**Ю. К. Королев**, 1998. — С. 110]. Тем не менее в практике геоинформатики уже достаточно давно определился набор базовых моделей (представлений) пространственных данных, используемых для описания объектов размерности не более двух (планиметрических объектов):

- растровая модель;
- регулярно-ячеистая (матричная) модель;
- квадротомическая модель (квадродерево, дерево квадратов, квадрантное дерево, Q-дерево, 4-дерево);
- векторная модель:

векторная топологическая (линейно-узловая) модель;

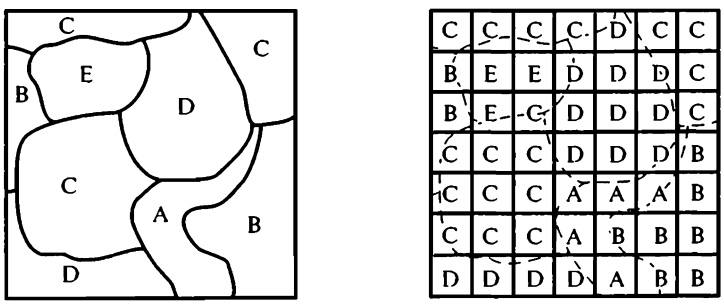
векторная нетопологическая модель (модель «спагетти»).

Это список рекомендуемых терминов для обозначения базовых моделей данных. Он не включает модели, используемые для представления поверхностей (рельефов) и рассмотренные ниже в разделе о цифровом моделировании рельефа, а также трехмерных расширений базовых моделей и специальных типов моделей для особых объектов (например, геометрических сетей). Рассмотрим перечисленные модели более подробно.

Растровая модель данных. Модель данных, именуемая растровой взамен устаревшего наименования матричной модели данных, имеет аналогии в компьютерной графике, где *растр* — прямоугольная решетка — разбивает изображение на составные однородные (гомогенные) далее неделимые части, называемые *пикселами*

(от английского pixel, сокращение от «picture element» — элемент изображения), каждому из которых поставлен в соответствие некоторый код, обычно идентифицирующий цвет в той или иной системе цветов (цветовой модели). Из множества значений логических пикселов складывается цифровое изображение. Растровая модель данных в ГИС предполагает разбиение пространства (координатной плоскости) с вмещающими ее пространственными объектами на аналогичные пикселам дискретные элементы, упорядоченные в виде прямоугольной матрицы. Для цифрового описания (позиционирования) точечного объекта при этом будет достаточно указать его принадлежность к тому или иному элементу дискретизации, учитывая, что его положение однозначно определено номерами столбца и строки матрицы (при необходимости координаты пиксела, либо его центроида или любого угла могут быть вычислены). Пикселу присваивается цифровое значение, определяющее имя или семантику (атрибут) объекта. Аналогичным образом описываются линейные и полигональные объекты: каждый элемент матрицы получает значение, соответствующее принадлежности или непринадлежности к нему того или иного объекта (рис. 6).

Представление исходных полигональных объектов на рис. 6 в виде растра может показаться весьма грубым приближением их истинной формы. Однако, выбрав подходящий размер пиксела растровой модели, можно добиться пространственного разрешения (точности представления объектов), удовлетворяющего целям их цифрового описания и последующей обработки, если этому не препятствуют соображения экономии машинной памяти: двукрат-



а

Исходная карта контуров

б

Формат с использованием ячеек сетки

Рис. 6. Растровая модель данных Исходные полигональные объекты (*а*) с атрибутами (классами) A, B, C, D и E и матрица размером 7 × 7 растровой модели (*б*), каждому элементу которой присвоено значение атрибута объекта [**Картография...**, 1994. — С. 198]

ное увеличение разрешения ведет к четырехкратному росту объемов хранимых данных и т.д. Полученная матрица образует растровый *слой* с однотипными объектами; множество разнотипных объектов образует набор слоев, составляющих полное цифровое описание моделируемой предметной области. С каждым семантическим значением или кодом пиксела, кроме того, может быть связан неограниченный по длине набор (таблица) атрибутов, каждый из которых можно развернуть в производный слой, соответствующий размеру исходной матрицы. Таким образом, становится не столь обязательным разделение данных на позиционную и семантическую составляющие, отпадает необходимость в особых средствах хранения и манипулирования метрикой и семантикой пространственных данных, как это принято в векторных системах, существенно упрощаются аналитические операции, многие из которых (включая обработку запросов с логическими условиями) сводятся к попиксельным операциям с набором растровых слоев, которые могут быть легко «распараллелены».

В ГИС растрового типа (с возможностями поддержки растровой модели данных) достаточно просто могут быть реализованы функции их обработки, включая пространственный анализ. Зачастую они содержат также аппарат, получивший название «*картографической алгебры*» (неудачный дословный перевод с английского «map algebra»), аналогичный по языковым средствам матричным операциям в некоторых языках программирования. Поддержка растровой модели данных — хорошая предпосылка (и условие) интеграции программных продуктов ГИС со средствами цифровой обработки данных дистанционного зондирования и обработки изображений в целом.

Простота машинной реализации операций с растровыми данными находится в противоречии с другой главной их особенностью — значительными затратами машинной памяти, требуемой для их хранения (в сравнении с объемами данных в описываемых ниже векторных моделях). Существуют способы сжатия (компрессии, упаковки) растровых данных. Простейший и достаточно популярный из них — *групповое кодирование*. Групповой код преобразует исходный растровый слой в ряд пар целых (обычно двухбайтовых) чисел, нечетные позиции которого отводятся для указания числа повторяющихся пикселов (групп) со значениями, занимающими четные позиции ряда, образуя счетчик и значение группы соответственно. Порядок просмотра исходной матрицы конвенциализируется, и в случае движения компрессора слева направо и сверху вниз (в лексикографическом порядке) матрица на рис. 6 будет свернута в одномерный массив вида:

4C 1D 2C 1B 2E 3D 1C 1B 1E 1C 3D 4C 3D 1B 3C 3A 1B 3C 1A 3B 4D 1A 2B.

Новая пара чисел (пакет) генерируется тогда, когда изменяется группа или когда количество ее элементов превысит допустимое двухбайтовое значение счетчика.

Степень сжатия данных, в нашем примере составляющая всего около 2 %, в общем случае будет зависеть от пространственной структуры исходного растрового слоя, составляя многие порядки, а при определенных условиях приближаясь по компактности к векторным представлениям и форматам (которые сами по себе обычно настолько компактны, что не нуждаются в сжатии). Существуют различные модификации группового кода, широко используемого также для сжатия цифровых изображений.

Регулярно-ячеистая модель данных. Описанная выше растровая модель данных пригодна для цифрового представления не только пространственных объектов в ГИС, но и изображений. Примерами могут служить цифровые фотоизображения, снятые непосредственно цифровой фотокамерой или полученные путем цифрования аналоговых негативов или фотоотпечатков на *сканере* хорошего разрешения и далее превращенные (возвращенные) в графику на страницах иллюстрированных журналов или в семейном фотоальбоме. Данные дистанционного зондирования Земли — аэроснимки и космические снимки, получаемые с борта космических платформ и других летательных аппаратов и представляющие собой, как отмечалось ранее, один из основных источников данных для ГИС, в настоящее время в существенной своей части по форме тоже цифровые, образуют класс растровых цифровых изображений, обрабатываемых программными средствами цифровой обработки изображений. Растровой цифровой копией можно назвать оцифрованную на том же сканере бумажную карту, используемую в качестве графической подложки (растровой *цифровой карты-основы*) в малозатратных геоинформационных проектах.

Во всех перечисленных выше случаях речь идет о цифровых растровых ***изображениях***, образованных множеством его элементов — пикселов, каждому из которых ставится в соответствие значение (код) цвета или спектрального коэффициента яркости объекта съемки. На эти далее неделимые элементы растра «разбивается» и координатная плоскость с пространственными объектами в их растровом представлении. Если атомарной единицей данных при их описании служит элемент «разбиения» ***территории*** — регулярная пространственная *ячейка* (территориальная ячейка) правильной геометрической формы — речь идет о другой, отличной от растровой, хотя и формально с нею схожей, *регулярно-ячеистой модели данных*. Формальное сходство абсолютно в случае квадратной (прямоугольной) формы ячеек, хотя известны примеры *регулярных* (или квазирегулярных) *сетей* (решеток) с ячейками правильной треугольной, гексагональной или трапециевидной формы, равновеликих или квазиравновеликих. При этом сеть может строиться (разу-

меется мысленно) на плоскости в условных прямоугольных координатах некоторой картографической проекции или на поверхности шара или эллипсоида; в последнем случае регулярными ячейками обычно являются сферические трапеции фиксированного или переменного углового размера. Пример построения сети равновеликих трапеций на сфере (что эквивалентно равновеликой цилиндрической (квадратной) проекции Ламберта) приведен на рис. 7.

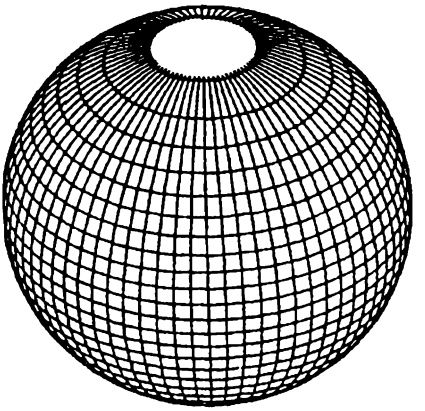
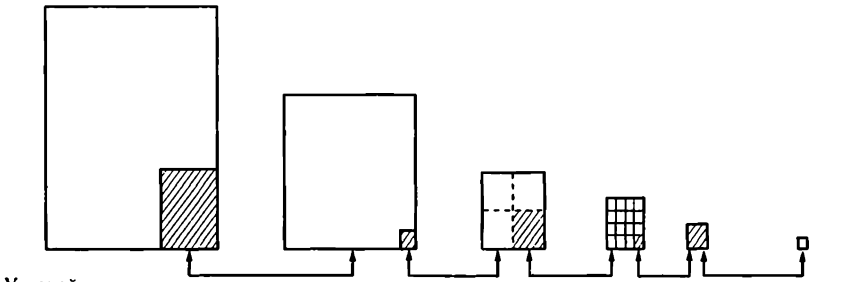


Рис. 7. Разбиение сферы на равновеликие трапеции [**Картография...**, 1994.—С. 95]

По ряду технологических и технических причин ГИС первых поколений (60—70-е годы XX в.) использовали регулярно-ячеистую модель данных. На рис. 8 дан пример одной из ранних австралийских геоинформационных систем континентального масштаба ARIS, создаваемой с начала

Рис. 8. Регулярная сеть картографической БД GRID 0.5 австралийской национальной геоинформационной системы ARIS [**Картография...**, 1994. — С. 169]



Угловой размер ячейки	$7\frac{1'}{2}$	$2\frac{1'}{2}$	30′	15″	3,75″	10 м
Площадь ячейки, га	15600,6	1733,4	69,33	17,33	1,08	0,01
Число ячеек	140	1260	28800	115200	1843000	200000000

Рис. 9. Иерархическая организация регулярной сети представления данных в информационной системе для регионального планирования Ок-Риджа ORMIS (США) [Computer software, 1981]

70-х годов, основу которой составляла картографическая БД GRID с представлением данных в ячейках 0,5 × 0,5 мин и 0,25 × 0,25 мин и БД EIGHT с 50 тыс. ячеек 1/8 × 1/8 мин.

Размеры ячеек могут быть различны, определяясь необходимым пространственным *разрешением*, образуя иерархически организованные системы из трех, как в вышеприведенном примере ГИС ARIS, или более вложенных друг в друга территориальных ячеек, соответствующих разным уровням разрешения (рис. 9).

Представление данных на основе регулярных пространственных сетей образует основу глобальных *цифровых моделей рельефа* (ЦМР) Земли ETOPO5 и GTOPO30. Первая из них содержит более 8 млн высотных отметок в узлах регулярной сети сферических трапеций с размерами 5 × 5 угл. мин, вторая, более детальная, представляет высоты в узлах трапеций 30 × 30 с. Аналогичный регулярно-ячеистый принцип организации данных, как будет показано в разделе о цифровом моделировании рельефа, положен в основу американского национального стандарта на цифровую модель рельефа *DEM* геологической съемки США с хранением высотных отметок по профилям в узлах ячеек 30 × 30 м в системе координат километровой сетки американских топографических карт (в проекции *UTM*), а также в узлах трапеций разных размеров.

Заметим в заключение, что зачастую в понятие растровой модели данных объединяются как собственно растровые, так и регулярно-ячеистые модели данных, а разница между пикселом (элементом изображения) и регулярной ячейкой (территориальным элементом), четко различаемых, как упоминалось выше, стандар-

том SDTS, игнорируется. Причина в том, что и те и другие данные могут храниться в идентичных форматах и обрабатываться одними и теми же средствами, не принимая во внимание (за немногими исключениями) семантического различия между ними.

Ранние реализации ГИС (конца 60-х — начала 70-х годов XX в.) ориентировались преимущественно на растровые и регулярно-ячеистые модели данных, что объясняется техническими и технологическими причинами: неразработанностью и непопулярностью векторных моделей в условиях отсутствия или недоступности средств векторного цифрования картографических источников и средств компьютерной графики, используемых в то время в основном в экспериментах по автоматизированному картографированию.

Квадротомическая модель данных. Обычно описание этой своеобразной модели начинают с того, что главный мотив ее использования и поддержки программными средствами ГИС — компактность по сравнению с растровой моделью, расточительной по объемам машинной памяти, требуемой для хранения растровых данных. Рассматривая растровые данные, мы упоминали о возможностях их значительного сжатия. Не меньшей эффективностью при сохранении быстрого доступа к элементам описания пространственных объектов обладает *квадротомическая модель данных*, основанная на подходе, известном как квадротомическое дерево (квадродерево). В его основе лежит разбиение территории или изображения на вложенные друг в друга пикселы или регулярные ячейки с образованием иерархической древовидной структуры — декомпозиции пространства на квадратные участки (квадраты, квадратные блоки, квадранты), каждый из которых делится рекурсивно на четыре вложенных до достижения некоторого уровня пространственного разрешения. Механизм построения квадродерева исходного участка территории с пятью областями (полигонами), которому в растровом представлении соответствовал бы рис. 10, в результате его последовательной (рекурсивной) декомпозиции на квадранты показан на рис. 11.

На первом этапе деления исходного участка на четыре квадратных блока (см. рис. 11) и одновременном «ветвлении» квадродерева (рис. 12) образуется один неделимый далее элемент № 1 (ему соответствует «лист» дерева на рис. 12) и три «узла» делимых далее квадратов первого уровня иерархии (принимая «корневой» уровень квадратного участка в целом за нулевой). За исключением девяти гомогенных квадратов на втором иерархическом уровне все остальные элементы делятся далее, пока необходимость дальнейшего деления не будет исчерпана на последнем четвертом этапе. Экономия в сравнении с растровой моделью данных очевидна — область E оказалась представленной одним квадратом под номером 33 (а не 16 элементами растра или ячеек регулярной сети), и ее цифровое описание подразумевает лишь формализованное пред-

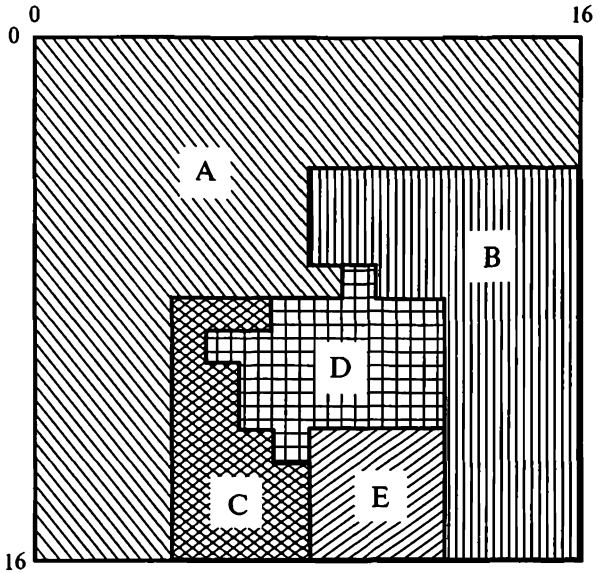


Рис. 10. Исходный участок территории с пятью областями A, B, C, D и E

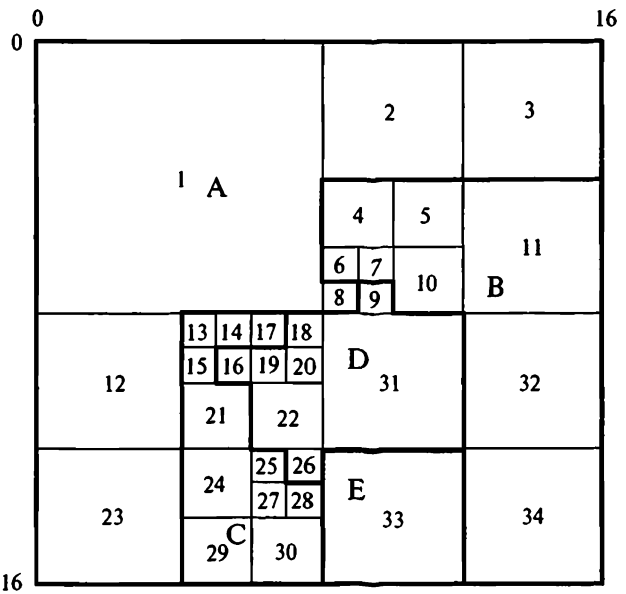


Рис. 11. Разбиение (декомпозиция) исходного участка (см. рис. 10) на квадранты (1—34)

ставление структуры квадродерева. Обычно оно строится на основе так называемой матрицы Мортона, определяющей оптималь-

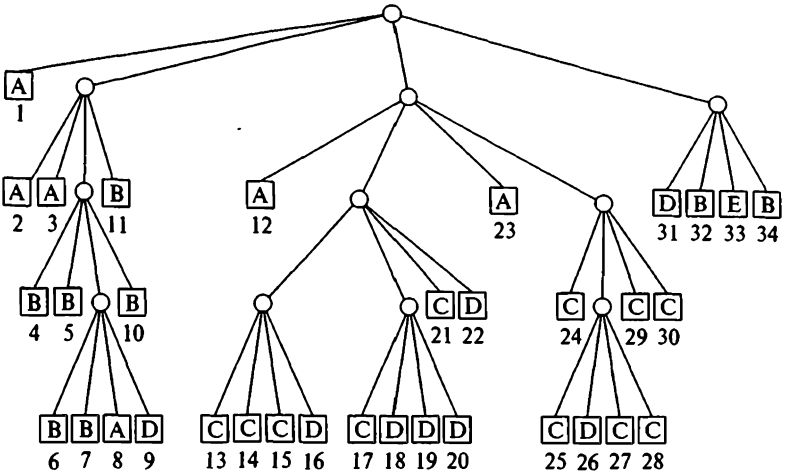


Рис. 12. Итоговое квадродерево как графическая иллюстрация результатов декомпозиции участка на рис. 11

ный в некотором смысле порядок ее кодирования и физической записи, обеспечивая минимальный последовательный поиск.

Принимая за нулевой уровень иерархии земную сферу в целом, может быть построено глобальное квадротомическое дерево. Известные формулы между пространственным разрешением и уровнем дерева показывают, что уже на 23-м уровне иерархии достигается метровое его разрешение [**Картография...**, 1994. — С. 98—99].

Линейная квадротомическая модель данных практически реализована в немногих из известных программных средств ГИС. Ее не следует путать с так называемыми пирамидальными моделями, также рекурсивно организуемыми и используемыми при обработке цифровых изображений, включая данные дистанционного зондирования. В отличие от квадродерева, они представляют собой набор растровых слоев изображений с механически двукратно уменьшаемым разрешением, а потому более компактных, искусственно «загрубленных» в целях их быстрого воспроизведения.

Известны трехмерные расширения линейной квадротомической модели — это так называемая октотомическая модель (модель октарного дерева) как результат рекурсивного деления трехмерного пространства на восемь октантов, используемая для цифрового описания тел.

Предлагалась также модель трихотомического дерева с аналогичным квадратомическому делению треугольных элементов.

Векторные модели данных. Обобщенный класс векторных моделей включает два их типа: векторные топологические и векторные нетопологические модели. Они используются для цифрового представления точечных, линейных и площадных (полигональных)

объектов, имея аналогии в картографии, где различаются объекты с точечным, линейным и площадным характером пространственной локализации, что определяет выбор графических средств их картографического отображения, и исторически связаны с технологиями цифрования карт, планов и другой графической документации с помощью устройств ввода векторного типа — *дигитайзеров* (цифрователей) с ручным обводом, генерирующих поток пар плановых координат (*векторов*) вслед за движением курсора (обводной головки) по планшету дигитайзера при отслеживании и записи графических объектов помещенного на него оригинала.

Множество точечных объектов, образующее слой однородных данных (например множество объектов, соответствующих населенным пунктам), может быть представлено в векторном формате в виде неупорядоченной (необязательно упорядоченной) последовательности записей (строк таблицы), каждая из которых содержит три числа: уникальный идентификационный номер объекта (*идентификатор*), значение координаты X и значение координаты Y в системе условных плановых прямоугольных декартовых координат, например, плоскости стола дигитайзера:

1	X_1	Y_1
2	X_2	Y_2
3	X_3	Y_3
4	X_4	Y_4
...	...	...
N	X_N	Y_N

Линейный объект (в общем случае кривая) или граница полигонального объекта могут быть представлены в виде последовательности образующих их точек (промежуточных точек), т.е набором линейных отрезков прямых (*сегментов*), образующих полилинию.

Расположение образующих полилинию точек будет зависеть от структуры исходной кривой. Их привязка к характерным точкам кривой при достаточно мелком шаге цифрования позволяет дать достаточно точное ее приближение. Два из возможных варианта ее цифровой записи (*формата*) иллюстрируются ниже:

A		B	
1	5	1	
X_1	Y_1	X_1	Y_1
X_2	Y_2	X_2	Y_2
X_3	Y_3	X_3	Y_3
X_4	Y_4	X_4	Y_4
X_5	Y_5	X_5	Y_5
	END		

Запись линейного объекта образована последовательностью координатных пар (в нашем случае пяти точек) и содержит элемент, позволяющий выделить его в общей совокупности записей линейных объектов слоя, которому соответствует обычно файл данных. В случае А это делается путем помещения вслед за идентификатором целого числа, указывающего число координатных пар, в варианте В линейные объекты отделяются друг от друга меткой END. Разумеется, запись должна быть снабжена идентификатором объекта.

Таким же образом может быть представлена граница полигонального объекта. При этом каждый именованный полигон (со своим идентификатором) представляется записью пар координат, образующих его границу в избранной последовательности (например, по часовой стрелке).

При описании множества полигонов каждый отрезок границы, заключенный между двумя узловыми точками (за исключением внешней границы полигонов), будет описан в этом случае дважды (по и против часовой стрелки). Такая модель данных для описания точечных, линейных и полигональных объектов носит наименование *модели «спагетти»*. Она не является эффективной с точки зрения неизбыточности хранимых данных и возможностей использования аналитических операций ГИС и поддерживается недорогими программными средствами настольного картографирования и ГИС. Другое ее наименование — ***векторная нетопологическая модель***.

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

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

Описание полигона в векторной топологической модели — это множество трех элементов: *узлов*, *дуг* и собственно *полигонов*. Между этими объектами устанавливаются некоторые топологические отношения, необходимым элементом которых должна быть связь дуг и узлов, полигонов и дуг. Последним приписываются указатели разграничиваемых ею правого и левого полигонов, конвенциализируя направление обхода контуров (рис. 13).

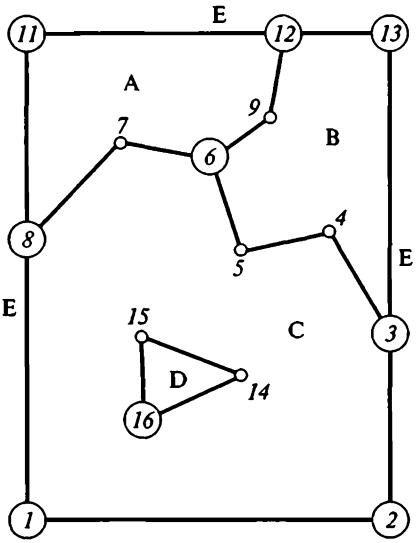


Рис. 13. Линейно-узловое (векторно-топологическое представление) данных:

1, 2, 3, 6, 8, 11, 12, 13, 16 — узлы; *4, 5, 7, 9, 14, 15* — промежуточные точки линейных сегментов (дуг); (*1—2*), (*2—3*), (*3—6*), (*6—8*), (*8—1*), (*11—8*), (*3—13*), (*12—13*), (*11—12*) — дуги; A, B, C, D («остров», анклав, для описания которого вводится фиктивный узел (*псевдоузел*) 13) и E (внешний по отношению ко всем полигонам в пределах прямоугольного участка координатной плоскости) — полигоны

Соотношение между элементами векторного представления пространственных объектов точечного, линейного и полигонального типов иллюстрируется рис. 14.

Последнее, что стоит отметить о векторной топологической модели данных — связь между позиционной частью и атрибутикой.

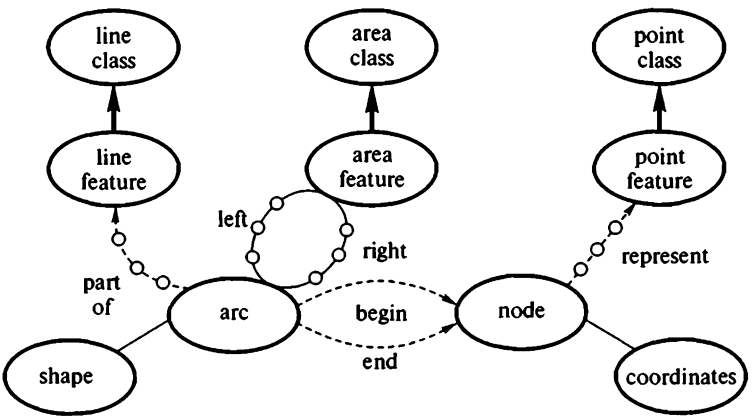


Рис. 14. Одна из возможных векторных моделей данных [M. Molenaar, 1989]. Объекты точечного, линейного и полигонального типов (point, line, area features), дуги (arc), узлы (node), последовательности координат (coordinates), формы (shape), связанные отношениями типа «часть чего-либо» (part of), «левый» и «правый» по отношению к чему-либо (left, right), «начало» и «конец» чего-либо (begin, end)

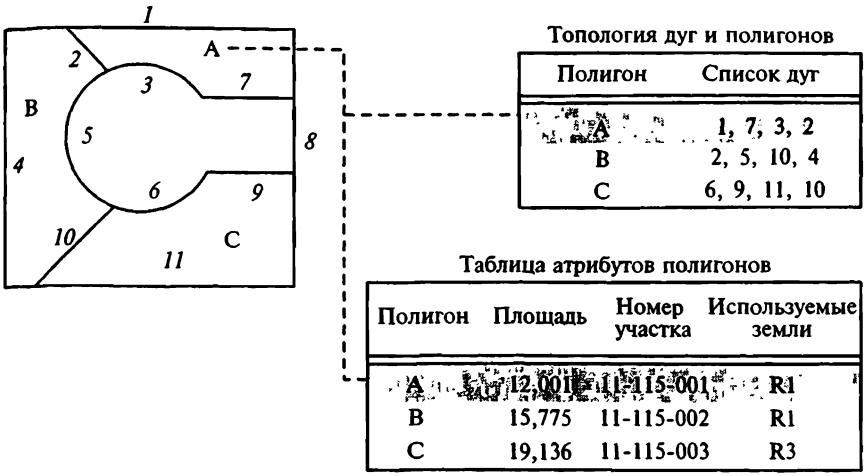


Рис. 15. Связь пространственной и атрибутивной части данных в векторном представлении полигонального слоя [**Ю. К. Королев**, 1998]

В классическом варианте их взаимодействия, когда атрибутивные данные управляются средствами реляционной СУБД и организованы в таблицы, а модель взаимодействия носит название гореляционной, как упоминалось выше, связь устанавливается и поддерживается через идентификатор объекта (рис. 15).

Различные варианты реализации векторных моделей допускают введение других типов элементарных объектов. Так, граница полигона может быть описана не только ломаной линией (полилинией), но и математической кривой, например, кривой Безье, опирающейся на множество контрольных точек. Могут быть введены особые объекты, например, прямоугольники, заданные двумя контрольными точками (для представления строений и других рукотворных, прямоугольных в натуре объектов на городском цифровом плане), дуги окружности (которые явно понадобятся при необходимости цифрового описания спортивного стадиона на том же плане города). Известны примеры введения класса мультиобъектов: в программных средствах клона ArcInfo (ESRI, Inc.) существуют объекты типа мультиточки, составной полилинии и составного полигона, хранимые в так называемых «шейп-файлах».

Проводятся эксперименты по конструированию нечетких векторных моделей. Введение неопределенности в положение ее позиционных элементов с использованием формализмов теории нечетких множеств позволяет учесть погрешности модели по отношению к ее оригиналу, связанные, к примеру, с реальной «размытостью» границ природных объектов.

Область применимости моделей класса векторных ограничена двухмерным пространством, не допуская расширения в область

трехмерного пространства и накладывая ограничения на тип описываемых ими пространственных объектов.

Будем считать, что этим исчерпываются наиболее употребимые модели пространственных данных.

В практике проектирования ГИС нередки случаи, когда ни одна из перечисленных выше «классических» моделей или их версий не отвечает особым требованиям пользователей к системе, и все они оказываются неизящными, малоэффективными или непригодными для решения специфических классов задач.

Хороший пример тому — сетевой анализ для решения задач оптимизации перевозок, планирования маршрутов или диспетчеризации мобильных транспортных средств. Можно показать, что при моделировании сети транспортных коммуникаций в рамках классической векторной модели, описывающей ее как слой линейных объектов, вероятны большие трудности: пространственная организация дороги, в том числе автомобильной дороги, с мостами, путепроводами, тоннелями и многоуровневыми развязками не может быть представлена планарным графом, и все подобные случаи нарушения планарности будут квалифицироваться системой как топологическая ошибка в цифровой записи линейных объектов. Требование единственности атрибута дуги, представляющей автомобильную дорогу, в обычной векторной модели может также создать серьезные неудобства, если дугой (последовательностью сегментов от начального до конечного узла) считать участок дороги от перекрестка до перекрестка, поскольку в пределах участка ее характер (тип дорожного покрытия, число полос движения) может меняться. Хорошей альтернативой снятию запрета на *псевдоузлы* (в данном случае *узлы*, образованные только двумя дугами), искусственно внедренные в линейный объект узловые точки, является возможность так называемого динамического сегментирования линейного объекта — разбиения дуги на участки с индивидуализированными значениями атрибутов. Вообще же для вполне адекватного реалиям моделирования транспортных сетей и сетей коммуникаций в целом предложены особые типы моделей, например модель геометрических сетей.

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

Особые модели данных используются в практике проектирования ГИС для решения задач управления сетями инженерных коммуникаций — сетями водо-, газо-, электроснабжения. К примеру, модель сети воздушных линий электропередач с опорами, на которых закреплены провода разных сечений и фаз, а также грозозащитный трос, должна строиться как многолучевой граф. Моделирование средствами ГИС теплосетей, предполагающее не только

их тополого-геометрическое описание, но и встраивание моделей гидравлических расчетов, также требует модели данных как ориентированного и взвешенного графа.

Для ряда приложений ГИС большим неудобством может оказаться невозможность представления составных (композитных) объектов, что позволило бы оперировать ими как единым целым (например, земельный участок с объектом недвижимости на нем при общем владельце и строения, и участка).

За пределами набора рассмотренных выше моделей данных остались также модели для представления пространственно-временны́х данных. Существуют веские основания для того, чтобы расширить понятие пространственного объекта и, снабдив общее его описание координатой времени, ввести понятие пространственно-временно́го объекта. Описание пространственно-динамичной ситуации в виде механического набора временны́х срезов, например, в виде последовательности растровых слоев, отражающих сезонную смену вегетационного индекса, не всегда возможно. Такое решение может оказаться и неэффективным. Известный пример — задача моделирования средствами ГИС динамики сети административно-территориального деления в условиях частой перестройки иерархии, границ и наименований административно-территориальных образований. Ее вполне разумное и изящное решение предполагает представление исходного базисного векторного слоя (обычно начального или конечного состояния сети) и всех ее изменений за рассматриваемый промежуток времени с возможностью восстановления любого из ее состояний на заданный временной срез, что требует введения особой векторной модели данных.

Программные средства ГИС обычно поддерживают одну, редко две модели пространственных данных. Поддержка тех или иных моделей данных — один из главных критериев выбора программного средства ГИС, адекватного моделируемой ею предметной области, требованиям пользователя и существу решаемых задач.

Многомодельность программного средства, необходимость обмена данными между системами, другие мотивы побуждают к разработке алгоритмов и средств преобразования данных из одной модели в другую. Некоторые из этих преобразований просты и могут быть выполнены автоматически, например *векторно-растровое преобразование* (растеризация). Обратный процесс — векторизация растровых данных (*растрово-векторное преобразование*), широко используемая при цифровании графических материалов, намного сложнее (см. 2.1.3). Он обслуживается или входит в состав специализированных программных средств типа *векторизаторов*. *Топологизация* модели «спагетти» — обычная функция векторных редакторов, поддерживающих преобразование нетопологической векторной модели в топологическую.

Межмодельные преобразования — часть более общей проблемы преобразования (конвертирования, конвертации) *форматов* пространственных данных — конкретных реализаций их моделей в программных средствах ГИС. На практике проблема еще шире: часть форматов, поддерживаемых конвертерами программных средств ГИС, не является собственно «геоинформационными», обслуживая связь с внешними графическими средами типа векторных систем автоматизированного проектирования (формат DXF программного средства типа САПР AutoCAD) или растровых графических редакторов (PCX, GIF, JPEG, TIFF и др.) и систем представления и обработки цифровых изображений, в том числе записи, обмена и передачи данных дистанционного зондирования (BIL, BIB, BIP, BSQ).

Общая проблема межформатной совместимости программных средств ГИС имеет эффективное решение в виде стандартов обмена пространственными данными (см. 5.2). В «Толковом словаре основных терминов» [**Геоинформатика...**, 1999] приводятся краткие сведения о нескольких десятках наиболее распространенных форматах пространственных данных и стандартах обмена ими.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой пространственный объект?
2. Почему среди многочисленных синонимов термина «пространственный объект» в качестве нормализованного предлагается именно этот термин?
3. В каких двух значениях употребляется термин «пространственные данные»?
4. Может ли быть исчерпан список элементарных пространственных объектов?
5. Каковы мотивы отнесения моделей пространственных данных к базовым?
6. В чем суть растровой модели данных в ГИС?
7. Чем растровая модель данных отличается от регулярно-ячеистой и насколько важно различие между ними?
8. Можно ли считать квадротомическую модель данных своеобразной модификацией растровой модели?
9. В чем суть и преимущества векторных моделей данных?
10. Возможна ли в будущем разработка моделей данных, принципиально отличных от ныне существующих?
11. Почему векторная модель данных не допускает возможности расширения на случай трехмерного пространства?
12. Какие особенности должна иметь модель данных для описания следующих типов пространственных объектов:

а) дорожная сеть, которая в общем случае не может быть представлена планарным графом, т.е. с тоннелями, эстакадами, мостами, многоуровневыми развязками;

б) сеть воздушных линий электропередач, когда на множестве опор ЛЭП размещено несколько проводов разного типа и назначения;

в) многолетняя история формирования сети административных территориальных единиц с многочисленными изменениями их границ, наименований и соподчиненности;

г) геометрия системы пещер и карстовых полостей.

13. Перечислите основные типы форматов пространственных данных.

2.1.3. Аналого-цифровое преобразование данных

Характеристика аналого-цифровых преобразований прежде всего требует введения нескольких базовых понятий, таких, как *цифровая* и *электронная карта*. Термин ***«цифровая карта»*** по своему происхождению — типичная научная метафора. Как явление цифровой среды, цифровая «карта» не является картой, картографическим изображением в традиционном для картографии смысле, поскольку не воспринимаема человеком визуально или тактильно, а будучи визуализирована, перестает быть цифровой. Вполне точно ей соответствует термин «цифровая модель карты», со временем редуцированный до более краткого термина «цифровая карта». Эволюцию термина можно представить в виде цепочки:

цифровая модель карты ⇒ цифровая «карта» ⇒ цифровая карта.

Цифровые карты (ЦК) общегеографического содержания, в том числе топографические карты и планы, создаются государственными топографо-картографическими и кадастровыми службами и другими ведомствами многих государств, покрывая всю их территорию или отдельные регионы и охватывая бóльшую часть топографического масштабного ряда. Обычно такие работы выполняются в рамках национальных программ внедрения средств автоматизации и цифрового картографирования в соответствующие отрасли и составляют основное содержание и цель автоматизированной картографии в целом. В ряде стран, например в Великобритании, такие программы считаются завершенными.

В отличие от цифровых, *электронные карты* (ЭК) представляют собой картографические *изображения* в полном смысле этого слова и будут рассмотрены в 2.3.1.

Собственно процесс аналого-цифрового преобразования данных — это сложная комплексная процедура, состоящая из трех крупных блоков:

- цифрование;
- обеспечение качества оцифрованных материалов и создание цифровых картографических основ;
- интеграция разнородных цифровых материалов.

Цифрование исходных картографических материалов. *Под цифрованием будем понимать процесс перевода исходных (аналоговых) картографических материалов в цифровую форму.* Так как в данном подразделе не будет рассмотрен процесс создания атрибутивных (семантических) составляющих баз данных, под цифрованием

будем понимать лишь перевод графических объектов исходных картографических материалов в цифровую форму.

С помощью ***дигитайзерного ввода*** основная масса ЦК создавалась до середины 90-х годов XX в., затем дигитайзеры уступили место цифрованию по растру. В настоящее время при создании ЦК дигитайзеры имеют очень ограниченную область использования.

При дигитайзерном вводе основной объем работ по вводу цифровых карт выполнялся оператором в ручном режиме, т.е. для ввода объекта оператор наводил курсор на каждую выбранную точку и нажимал специальную кнопку. Существовал также полуавтоматический режим ввода, когда фиксировалась пара координат X, Y через заданный интервал времени или через определенное расстояние. Полуавтоматический режим, возможно, экономит время, но зачастую приводит к существенной потере точности, поэтому далее будет рассмотрен только ручной режим. Точность ввода при цифровании в огромной степени зависит от квалификации оператора. Если при создании традиционных карт пером (рапидографом, гравировальной тележкой или иным ручным инструментом) очень сложно прорисовывать линии и передавать форму объектов, то что говорить о цифровании, где непрерывную кривую надо аппроксимировать отрезками без потери формы. Большое влияние оказывают и индивидуальные качества оператора. Например, если точность обвода линии или цифрования точки при многократном повторении у одного оператора колеблется незначительно (отклонения при цифровании точки находятся в пределах точности дигитайзера), то у разных операторов показатели сильно разнятся (отклонения при цифровании одинаковых точек разными операторами могут достигать 0,3—0,4 мм).

При ***векторизации растра*** субъективные факторы влияют меньше чем при дигитайзерном вводе, так как растровая подложка позволяет все время корректировать ввод. Программы векторизации растровых изображений условно можно разделить на три группы: ориентированные на ручную векторизацию, полуавтоматическую и автоматическую.

Алгоритмы автоматической векторизации для ввода картографической информации на данный момент в массовом порядке не используются.

Полуавтоматическая векторизация дает хорошие результаты при цифровании четких контуров на растре хорошего качества, например при использовании расчлененных оригиналов рельефа на пластике.

Лучшие результаты у опытного оператора получаются при ручной векторизации, так как при полуавтоматической векторизации на передачу формы влияет качество растра и при «изрезанных» краях растровой линии начинают появляться изгибы проводимой векторной линии, которые вызваны не общей формой линии, а локальными нарушениями растра. Оператор же в таких и подобных случаях

форму объекта передает более точно, ориентируясь на дополнительные материалы (источник получения растра) и анализируя ситуацию. Нужно отметить, что при векторизации растра качество вводимых данных значительно выше, чем при цифровании дигитайзером и в основном зависит от характеристик исходного растра.

Качество цифровых карт. *Под качеством цифровых карт будем понимать совокупность свойств ЦК, обусловливающих ее пригодность удовлетворять установленным и предполагаемым потребностям в соответствии с ее назначением.*

Наличие качественных цифровых топографических карт на территорию страны — одна из предпосылок успешной реализации крупных геоинформационных проектов, включая создание национальных *инфраструктур пространственных данных* (см. 5.2), один из компонентов которых — базовые наборы данных. Часто под ними понимается цифровая карта, по своему содержанию близкая или идентичная карте-основе, содержащей, как правило, ограниченный набор общегеографических элементов и используемой в картосоставлении для позиционирования тематической нагрузки карты. В геоинформатике под *цифровой картой-основой* понимается не только цифровая карта в приведенном выше значении, но и набор базовых слоев ГИС, аналогичных по содержанию цифровым картам-основам (ЦКО) и ошибочно называемых «картографическими слоями».

ЦКО могут готовиться в разных форматах, в которых реализованы различные модели данных: векторная, растровая и др. (см. 2.1.2).

ЦКО в векторном формате — наиболее распространенный вид цифровой топоосновы. Они создаются по технологии цифрования с помощью дигитайзера с ручным обводом или сканированием оригиналов с последующей векторизацией, используя программные средства — *векторизаторы*. Альтернативный подход — растровая ЦКО, создаваемая сканированием топокарт.

Векторная ЦКО обладает рядом преимуществ. Тем не менее практика показывает, что при отсутствии необходимости в векторной основе, ограниченности финансовых ресурсов проекта и по другим причинам в качестве основы может быть использована растровая копия топографической карты (плана).

Существенные недостатки растровой основы: трудность актуализации, ограниченные возможности изменения масштаба изображения, невозможность разгрузки (удаления излишних элементов содержания и их атрибутов), трудность атрибутирования, невозможность адресации к элементам содержания, большие объемы данных, их неоперабельность и трудопереносимость.

Несомненные преимущества — скорость работ по созданию растровой ЦКО и существенно более низкая (в сравнении с векторным форматом) стоимость их выполнения. Вполне удовлетворительное качество (пространственное и цветовое разрешение) растровой графической подложки обеспечивают сканеры общего

назначения, в том числе малоформатные (А3—А4), при наличии средств *сшивки* для получения физически или логически бесшовных блоков и их привязки к координатной основе (возможно с применением методов эластичной трансформации растровых изображений по сети опорных точек) [Ю. А. Кравченко, 1999].

Создание цифровых картографических основ. Учитывая важность цифровых карт-основ (ЦКО) как одного из элементов информационного обеспечения ГИС, прежде всего топографических карт-основ (топографических основ, топооснов), остановимся на них более подробно.

Основное назначение ЦКО в ГИС — служить средством координирования тематических слоев данных или их графической подложкой — определяет требования к ЦКО в части спецификации систем их координат, масштабов, проекции, элементов содержания, модели данных и форматов представления, технологии создания и обновления.

Применительно к российским условиям при проектировании ЦКО следует иметь в виду, что с 1 июля 2002 г. произошел официальный переход из ***системы координат*** 1942 г. СК-42 для топографических карт СССР и Российской Федерации масштаба 1 : 10 000—1 : 200 000 к системе координат 1995 г. СК-95, обязательной для применения при выполнении астрономо-геодезических, топографо-картографических и геоинформационных работ на территории РФ [А. П. Герасимов, Г. Н. Ефимов, 1999]. При этом следует помнить, что практически заметные графические расхождения между координатными сетками на топографических картах в старой и новой системах координат будут проявляться начиная с масштаба 1 : 50 000 и крупнее. ЦКО для локальных ГИС могут создаваться в местных системах координат. При проектировании ЦКО для ГИС регионального и межрегионального уровня или обслуживающих позиционирование протяженных объектов (ЛЭП, магистральных трубопроводов и других коммуникаций), когда территория покрытия ими распространяется на несколько координатных зон проекции Гаусса—Крюгера, могут использоваться особые, например, глобальные координатные системы *WGS-84*, *ITRF-94*, *ПЗ-90*.

Топографические карты, служащие источником данных для ЦКО, обычно строятся в равноугольной поперечной цилиндрической ***проекции*** Гаусса—Крюгера с отображением эллипсоида на плоскости по шестиградусным зонам, с сеткой одноименных плоских прямоугольных координат, использование которой для картографирования территорий, существенно бóльших зоны по широте, связано со сложностями, упомянутыми выше. В частности, за пределами шестиградусных зон становятся практически заметными искажения длин (расстояний).

Цифровая карта-основа обычно изготовляется в некотором фиксированном **масштабе**, который определяет ее детальность (про-

странственное разрешение). Возможен другой вариант — набор разномасштабных ЦКО, каждая из которых является подложкой под тематические данные определенного иерархического уровня объектов тематических слоев ГИС. Выбор масштаба (масштабов) зависит прежде всего от характера ее тематической нагрузки.

Элементы содержания ЦКО, объединенные в точечные, линейные и полигональные слои ГИС, обычно представляют собой набор избранных элементов цифровой топографической карты. Применяемые графические изображения объектов ЦКО воспроизводят условные знаки, принятые на бумажных источниках, и соответствуют нормативно закрепленным условным знакам в принятой системе их классификации и кодирования, в том числе на основе ряда разработанных классификаторов или их версий, включая «Классификатор картографической информации», «Классификатор графических изображений», «Классификатор цензово-нормативных показателей», «Единую систему классификации и кодирования картографической информации (карт масштабов 1 : 25 000 — 1 : 1 000 000)».

Технология создания ЦКО в случае, если на моделируемую территорию отсутствуют готовые цифровые топографические источники, состоит в цифровании аналоговых источников (на бумаге, пластике, жесткой основе, цветоделенных издательских оригиналов и т. п.) с представлением в том или ином формате.

Актуализация содержания ЦКО представляет собой (в особенности в российских условиях) трудноразрешимую проблему, учитывая быстрое старение как цифровых, так и исходных нецифровых топографических источников и отсутствие системы топографического мониторинга как механизма актуализации.

Существует ряд крупномасштабных глобальных цифровых картооснов, используемых в глобальных и региональных геоинформационных проектах.

Наиболее ранняя из них — цифровая карта-основа мира масштаба 1 : 1 000 000 *DCW* (Digital Chart of the World), созданная путем цифрования карты *ONC* (для суши) и морской обзорной карты *GEBCO* (для акваторий) корпорацией ESRI. Inc. (США) по контракту с Министерством обороны США в формате *VPF* в начале 90-х годов XX в. и распространяемая в записях на CD-ROM в сопровождении картографического визуализатора. Позднее она была преобразована в формат ПС ГИС ArcInfo (ESRI. Inc.) и в настоящее время поддерживается в актуальном состоянии как поднабор ArcData. DCW, известная также как VMap, используется в качестве одного из основных источников (наряду с глобальной цифровой моделью рельефа GTOPO30 с разрешением 30 угл. с) в проекте Глобального картографирования, инициированного Картографической службой Японии в 1994 г. Первая версия карты (для территорий ряда стран Юго-Восточной Азии) была готова в 2000 г., к этому времени в проекте участвовало 75 стран, и 34 страны изъявили готовность к участию в нем.

Интеграция цифровых карт (разнородных цифровых картографических материалов) для создания единой картографической основы. Единая цифровая картографическая основа (ЕКО) — это комплексная система цифровых картографических материалов, согласованных по территориальному охвату, содержанию, формату, масштабам, системам условных знаков, классификаторам.

Для ведения комплексных работ с территориально-привязанными материалами и устойчивого функционирования геоинформационных систем, использующих эту информацию, необходимо иметь правильно организованную систему создания, поддержки и перспективного развития цифровой картографической основы. Цифровая картографическая основа должна представлять собой базу взаимосогласованной цифровой информации, которая включает информационные ресурсы, а также технологии их создания, ведения и предоставления потребителям. Таким образом, в процессе формирования цифровой картографической основы, составляющие ее картографические материалы, должны рассматриваться не только с точки зрения пригодности их к задачам текущего момента и соответствия «общетеоретическим» критериям, но и с точки зрения последующей интеграции в систему — ЕКО.

Для сведения разнородных цифровых картографических материалов в единую систему необходимо, прежде всего, установление систем координат, соответствующих используемым данным, и определение преобразований для связи между ними. Система координат карты связана с ее математической основой. Математическую основу традиционной географической карты (см. например [Г.А.Гинзбург, Т.Д.Салманова, 1964]) составляют: ее астрономо-геодезическая основа, картографическая проекция, масштаб, координатные сетки, а также элементы компоновки. Выбор конкретных значений указанных математических элементов задает теоретическую систему координат, позволяющую определять (находить) положение объектов на карте. Цифровая карта может быть одновременно представлена в двух системах координат: внутренней (система координат хранения) и внешней (система координат изображения). В этом случае меняется связь масштаба исходной карты с характеристиками изображения, в частности появляется понятие текущего масштаба. Исходный масштаб по-прежнему влияет на полноту и подробность изображения, на точность карты и степень ее генерализации, что, в конечном счете, определяет возможность локализации объектов. В качестве внутренней системы координат цифровой карты может использоваться система географических координат, наиболее удобная для обмена данными между различными программными продуктами. Цифровая карта также может быть представлена в локальной системе координат, используемой при переводе исходной карты в цифровую форму (система координат цифрования).

Соотношение системы координат цифрования и теоретической системы координат карты аналогично соотношению исходной системы координат снимка и системы координат его теоретической модели. Как и в случае со снимком [Л. М. Бугаевский, В. А. Малинников, В. П. Савиных; 1998], преобразование в теоретическую систему координат с помощью аппроксимирующих зависимостей наиболее точно в случае, когда системы находятся в близком геометрическом соответствии.

Соотношение внутренней и внешней систем координат особенно важно учитывать при векторизации растра. Ошибка при регистрации системы координат растра (в частности, картографической проекции) может привести к неправильному заданию внутренней системы координат создаваемой векторной карты и потере значимости данных.

Основой для интеграции данных должна служить базовая карта или система карт [А. И. Мартыненко, Ю. Л. Бугаевский, С. Н. Шибалов, 1995]. Понятие базовой карты пришло в геоинформатику из традиционной картографии, так как существовали базовые карты для составления карт более мелкого масштаба, созданные на основе интеграции данных с карт более крупных масштабов. В общем случае теоретическая система координат исходной карты отличается от системы координат базовой карты. Кроме того, после перевода в цифровую форму исходная карта может быть в локальной системе координат (система координат цифрования), отличающейся от ее теоретической системы координат в заданной проекции. Возможен сдвиг и поворот изображения, неравномерное изменение масштаба в точках изображения, при сканировании представление координат в пикселях, а не в линейных единицах измерения. Как правило, отклонение системы координат цифрования от теоретической системы координат карты сводится в основном к растяжению (сжатию), различному по разным направлениям, но равномерному по каждому из них. Это связано с неодинаковой деформацией бумаги по горизонтали и по вертикали. В некоторых случаях дополнительные искажения, имеющие более сложный характер, выходят за рамки требуемой точности. В частности, изменение масштаба может быть неравномерно даже по одному направлению.

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

1) определение теоретической системы координат (в частности, проекции или ее параметров, а иногда и используемой геодезической системы координат) исходной карты;

2) определение необходимого преобразования и перевод карты в ее теоретическую систему координат;

3) преобразование исходной карты в систему координат базовой карты.

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

Теоретическая система координат карты — система координат, в которой составлена карта (проекция с заданными параметрами, масштаб, начало координат и т. д.). Заметим, что определение проекции — процесс в некотором смысле творческий, не формализуемый, и требует знания свойств отдельных проекций. Подробное описание картографических проекций, используемых в нашей стране и за рубежом, можно найти, например, в книге [**Л. М. Бугаевский**, 1998]. Отечественные мелкомасштабные карты (масштаб мельче 1 : 1 000 000) составлены в основном в проекциях, представленных в специальном атласе [Г. А. Гинзбург, Т. Д. Салманова, 1957] и в дополнении к нему. Особенностью атласа является то, что карты в нем сгруппированы не по видам проекций, а по территориям. Кроме того, параметры представленных в нем примеров использования проекций соответствуют параметрам конкретных отечественных карт, составленных в этих проекциях. Для зарубежных карт, по крайней мере для американских, основным является альбом проекций [J. P. Snyder, P. M. Voxland, 1989]. Американские программные продукты также в основном поддерживают картографические проекции из альбома.

Для карт масштаба крупнее 1 : 1 000 000 имеют значение параметры используемой геодезической системы координат. В работе [Л. М. Бугаевский, В. Я. Цветков, 2000] кратко описано, что такое геодезическая система координат и высот. Заметим, что для ГИС характерно одновременное использование различных систем геодезических координат. В этом случае часто задаются не сами системы геодезических координат, а параметры пересчета этих систем в выбранную геоцентрическую систему координат. Многие программные продукты позволяют выбирать геодезическую систему координат по названию из предлагаемого списка. Принятые в нашей стране геодезические системы координат и их положение относительно геоцентрической системы координат, связанной с центром масс и осью вращения Земли, описаны в справочниках [В. Ф. Галазин, Б. Л. Каплан и др., 1998, Н. Л. Макаренко, Г. В. Демьянов и др., 2000].

Отечественные топографические карты (масштаб 1 : 1 000 000 и крупнее) в основном составлены в проекции Гаусса — Крюгера, определенной в пределах специальных зон. Если территория расположена в двух и более зонах, то с точки зрения создания единой картографической основы на эту территорию листы карты, относящиеся к разным зонам, приходится трактовать как составленные в разных проекциях. Такие листы непосредственно соединить нельзя, поэтому приходится сводить данные в одну систему либо с помощью географических координат, либо с помощью преобразований плоскости, если территория в основном расположена в одной зоне, и лишь небольшая часть ее попадает в другую зону.

При определении теоретической системы координат для топографических карт, составленных в проекции Гаусса—Крюгера, рекомендуется использовать для каждой зоны единую систему координат для карт разных масштабов (единицы измерения — метры или километры).

Некоторые листы топографической карты масштаба 1 : 1 000 000 составлены в видоизмененной простой поликонической проекции. Параметры этой проекции определяются для каждого листа отдельно. Стандартными параметрами проекции являются:

- широта северной крайней параллели листа (трапеции);
- широта южной крайней параллели листа (трапеции);
- долгота среднего меридиана листа (трапеции).

Видоизмененная простая поликоническая проекция не поддерживается многими программными продуктами. В этом случае возможно использование аффинного преобразования для перехода от этой проекции к проекции Гаусса—Крюгера (или UTM), так как эти проекции находятся в близком геометрическом соответствии.

Вторая задача — **определение необходимого преобразования и перевод карты в ее теоретическую систему координат.**

Как правило, на карте присутствуют точки привязки к теоретической системе координат — узлы картографической или километровой сетки, опорные кресты планшетов, геодезические пункты. При переводе бумажной карты в цифровую форму возможно повысить ее точность за счет использования преобразований плоскости для уменьшения отклонений координат узлов сетки от теоретических значений.

Ниже приводятся основные формулы и методы преобразования плоских систем координат, используемые в программных оболочках геоинформационных систем.

Определяются две системы координат:

- первая связана с исходным изображением (до преобразования), обозначим координаты точки в этой системе X_{old}, Y_{old};
- вторая связана с трансформированным изображением (после преобразования), обозначим координаты точки в этой системе X_{new}, Y_{new}.

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

Сдвиг, поворот и масштабирование по двум точкам (частный случай аффинного преобразования). Формулы преобразования:

$$\left.\begin{aligned} X_{new} &= k(X_{old} - X_0)\cos\theta + (Y_{old} - Y_0)\sin\theta; \\ Y_{new} &= k(-(X_{old} - X_0)\sin\theta + (Y_{old} - Y_0)\cos\theta, \end{aligned}\right\} \qquad (2.1)$$

где X_0, Y_0 — сдвиг начала координат второй системы координат относительно начала первой системы координат; θ — угол поворота; k —

коэффициент масштабирования; X_{old}, Y_{old} и X_{new}, Y_{new} — координаты точки в первой и второй системах координат соответственно.

Коэффициенты преобразования могут быть вычислены по двум точкам, координаты которых заданы в двух системах координат: до и после преобразования.

Данное преобразование позволяет совмещать изображение по двум опорным точкам. Использование преобразования дает возможность восстанавливать изображение, претерпевшее такие изменения, как сдвиг, поворот, масштабирование.

Аффинное преобразование (полином первой степени). Формулы преобразования:

$$\left.\begin{aligned} X_{new} &= a_1 X_{old} + a_2 Y_{old} + a_3; \\ Y_{new} &= a_4 X_{old} + a_5 Y_{old} + a_6, \end{aligned}\right\} \qquad (2.2)$$

где a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6 — коэффициенты преобразования; X_{old}, Y_{old} и X_{new}, Y_{new} — координаты точки в первой и второй системах координат соответственно.

Коэффициенты преобразования могут быть вычислены по трем точкам, не лежащим на одной прямой, координаты которых заданы до и после преобразования. Аффинное преобразование позволяет совмещать изображение по трем опорным точкам. Использование аффинных преобразований позволяет восстанавливать изображение, претерпевшее такие изменения, как сдвиг, поворот, масштабирование (в том числе с различными коэффициентами по осям X и Y) по трем опорным точкам, а также с помощью m опорных точек несколько уменьшать отклонения точек изображения, не подчиняющиеся простому закону, связанные, например, с неравномерным растяжением (сжатием) бумаги.

Проективное преобразование. Формулы преобразования:

$$\left.\begin{aligned} X_{new} &= (a_1 X_{old} + a_2 Y_{old} + a_3)/d; \\ Y_{new} &= (a_4 X_{old} + a_5 Y_{old} + a_6)/d; \\ d &= a_7 X_{old} + a_8 Y_{old} + 1, \end{aligned}\right\} \qquad (2.3)$$

где a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8 — коэффициенты преобразования; X_{old}, Y_{old} и X_{new}, Y_{new} — координаты точки в первой и второй системах координат соответственно.

Коэффициенты преобразования могут быть вычислены по четырем точкам (никакие три из которых не лежат на одной прямой), координаты которых заданы до и после преобразования.

Проективное преобразование позволяет совмещать изображение по четырем опорным точкам, что удобно, например, при цифровании расчлененных оригиналов карт (по традиционной ручной технологии расчлененные оригиналы совмещаются по четырем

крестам) или при раздельном цифровании слоев изображения. Проективное преобразование прямые переводит в прямые, что позволяет использовать локально-проективное преобразование области изображения, разбитой на четырехугольники без сохранения непрерывности на границах четырехугольников. Использование проективного преобразования при разработке технологий объединения растровых изображений отдельных листов карты (или их частей) в единые системы координат позволяет минимизировать расхождения линий на границе растра.

Преобразование полиномами второй степени. Формулы преобразования:

$$\left.\begin{aligned} X_{new} &= a_1 X_{old}^2 + a_2 Y_{old}^2 + a_3 X_{old} Y_{old} + a_4 X_{old} + a_5 Y_{old} + a_6; \\ Y_{new} &= a_7 X_{old}^2 + a_8 Y_{old}^2 + a_9 X_{old} Y_{old} + a_{10} X_{old} + a_{11} Y_{old} + a_{12}, \end{aligned}\right\} \quad (2.4)$$

где a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12} — коэффициенты преобразования; X_{old}, Y_{old} и X_{new}, Y_{new} — координаты точки в первой и второй системах координат соответственно.

Коэффициенты преобразования могут быть вычислены по шести точкам, координаты которых заданы до и после преобразования. Преобразование с помощью полиномов второй степени позволяет совмещать изображение по шести опорным точкам непрерывно и не сохраняет прямые линии. Такие преобразования позволяют с помощью m опорных точек несколько больше, чем аффинные преобразования, уменьшать отклонения точек изображения, не подчиняющиеся простому закону.

Преобразование полиномами пятой степени. Формулы преобразования с помощью полиномов пятой степени:

$$\left.\begin{aligned} X_{new} &= a_1 X_{old}^5 + a_2 Y_{old}^5 + a_3 X_{old}^4 Y_{old} + a_4 X_{old} Y_{old}^4 + a_5 X_{old}^3 Y_{old}^2 + \\ &+ a_6 X_{old}^2 Y_{old}^3 + a_7 X_{old}^4 + a_8 Y_{old}^4 + a_9 X_{old}^3 Y_{old} + a_{10} X_{old} Y_{old}^3 + \\ &+ a_{11} X_{old}^2 Y_{old}^2 + a_{12} X_{old}^3 + a_{13} Y_{old}^3 + a_{14} X_{old}^2 Y_{old} + a_{15} X_{old} Y_{old}^2 + \\ &+ a_{16} X_{old}^2 + a_{17} Y_{old}^2 + a_{18} X_{old} Y_{old} + a_{19} X_{old} + a_{20} Y_{old} + a_{21}; \\ Y_{new} &= a_{22} X_{old}^5 + a_{23} Y_{old}^5 + a_{24} X_{old}^4 Y_{old} + a_{25} X_{old} Y_{old}^4 + a_{26} X_{old}^3 Y_{old}^2 + \\ &+ a_{27} X_{old}^2 Y_{old}^3 + a_{28} X_{old}^4 + a_{29} Y_{old}^4 + a_{30} X_{old}^3 Y_{old} + a_{31} X_{old} Y_{old}^3 + \\ &+ a_{32} X_{old}^2 Y_{old}^2 + a_{33} X_{old}^3 + a_{34} Y_{old}^3 + a_{35} X_{old}^2 Y_{old} + a_{36} X_{old} Y_{old}^2 + \\ &+ a_{37} X_{old}^2 + a_{38} Y_{old}^2 + a_{39} X_{old} Y_{old} + a_{40} X_{old} + a_{41} Y_{old} + a_{42}, \end{aligned}\right\} \quad (2.5)$$

где a_1, ..., a_{42} — коэффициенты преобразования; X_{old}, Y_{old}; X_{new}, Y_{new} — координаты точки в первой и второй системах координат.

Коэффициенты преобразования могут быть вычислены по опорным точкам, координаты которых заданы до и после преобразования. Минимальное количество опорных точек — двадцать одна. Преобразование с помощью полиномов пятой степени целесообразно использовать при наличии большого числа опорных точек (по крайней мере 60—70), если ни аффинное, ни преобразование полиномами второй степени не дают желаемого результата. Следует также помнить, что несколько неудачно выбранных опорных точек могут существенно влиять на результат.

Во всех рассмотренных выше формулах коэффициенты преобразований могут быть вычислены и по большему числу опорных точек с использованием метода наименьших квадратов. Исходные опорные точки в результате преобразований могут не попасть в результирующие, но сумма квадратов отклонений исходных и преобразованных опорных точек будет минимальна. Такой вариант преобразований желательно использовать в том случае, если нет гарантии достаточно точного задания опорных точек и если деформация исходного материала очень неравномерна.

В случае неравномерной деформации материала, выходящей за рамки требуемой точности, при наличии достаточно точного задания опорных точек более естественно использовать локально-аффинное преобразование, позволяющее совмещать изображение по любому числу точек.

Локально-аффинное преобразование. Для проведения локально-аффинного преобразования плоскость разбивается на треугольники, вершинами которых являются опорные точки. Затем для каждого треугольника по трем точкам определяются коэффициенты аффинного преобразования и часть изображения, ограниченная любым из треугольников, преобразуется с помощью соответствующих ему коэффициентов. При этом на границах треугольников сохраняется непрерывность, так как аффинное преобразование прямые линии переводит в прямые с сохранением постоянного масштаба вдоль каждой прямой. Разбиение плоскости на треугольники может осуществляться различными способами, однако при большом количестве опорных точек разбиение должно осуществляться программно. Если треугольники не покрывают все изображение, то в качестве условных опорных точек используют, например, углы прямоугольника, в которые вписана исходная карта.

Выбор опорных точек преобразований. Для решения задач преобразований при выборе опорных точек необходимо знать, с какой точностью нанесены на карту ее элементы. Так как процесс составления карты достаточно сложен, для оценки ошибки в положении контура (точки) нужен учет влияния всех тех действий, в результате которых получена карта, начиная с полевых съемок и заканчивая печатью (в случае, если исходным материалом является традиционная карта на твердой основе). Ошибки в определении и

в нанесении на карту опорных пунктов, в построении точек и линий картографической сетки, ошибки самого процесса нанесения контурной точки появляются в результате принятой технологии производства карт и, соответственно, ряда технических действий. При различных комбинациях этих технических действий и способов ошибки будут различными, однако дать общие их оценки возможно. Значительно более трудным является учет ошибок, вносимых в положение контурных точек генерализацией. Влияние этих ошибок становится все более заметным по мере уменьшения масштаба. На топографических картах (до масштаба 1 : 1 000 000 включительно) влияние генерализации в некоторой мере сказывается непосредственно на положении контурных точек, однако это влияние не очень значительно, и генерализация идет в направлении некоторого упрощения рисунка.

Иначе обстоит дело в отношении изображения рельефа горизонталями. Элементы генерализации рельефа начинают проявляться на картах самых крупных масштабов и на топографических картах масштаба 1 : 1 000 000 влияние генерализации настолько возрастает, что сдвиг горизонталей в результате генерализации превышает технические погрешности в их нанесении на карту. Подходить к оценке точности изображения рельефа горизонталями на картах нужно совсем с иными мерками, чем к контурным точкам. На первом месте здесь находится качество передачи характера местности, а непосредственно точность нанесения горизонталей отступает на второй план. В данном случае дать какую-то количественную оценку очень сложно.

Чаще всего в качестве опорных точек используются узлы картографической сетки, преимуществами которых является то, что они не подвержены генерализации, достаточно легко читаются и имеют известные географические координаты. Заметим, что для карт масштабов крупнее 1 : 1 000 000, составленных в проекциях, вычисленных по параметрам различных референц-эллипсоидов, непосредственное использование узлов картографической сетки в качестве опорных точек может привести к ошибкам, так как одна и та же точка земной поверхности может иметь различные координаты на различных эллипсоидах. В этом случае узлы картографической сетки могут быть использованы для получения опорных точек при наличии механизма перехода от одного референц-эллипсоида к другому.

Использование других опорных точек требуется, если на карте нет картографической сетки, при печати произошло смещение красок и существует сдвиг сетки относительно объектов, напечатанных другой краской, или расположение узлов не обеспечивает должного покрытия территории.

1. Точки пересечения. Неплохой результат дает использование точек пересечения линейных объектов, например перекрестков

дорог, пересечений административных границ и т. п. К преимуществам использования данного типа опорных точек можно отнести универсальность, так как появляется возможность работать с картой, территория которой лишь частично покрыта узлами географической сетки либо не имеет сетки вовсе. Недостатком является возможная потеря точности, которая происходит, в основном, из-за генерализации. На картах, составленных разными авторами (часто и по разным источникам), в результате генерализации происходит смещение объектов. Так, например, при составлении мелкомасштабных карт для передачи характерных особенностей очертаний часть деталей исключается, но за их счет увеличиваются другие. Это правило применяется при изображении извилистых контуров — рек, береговой линии, дорог и т. д., причем исходные материалы оказывают влияние на генерализацию потому, что изображение на них уже генерализовано. Заметим, что преувеличение некоторых объектов ведет к смещению соседних. В результате генерализации также может происходить как бы подмена одного объекта другим. Например, при составлении карт часто объединяются мелкие группы объектов в одну. Так, при впадении реки в море, устье, состоящее из многих рукавов, рисуется одной линией, но что было взято за основу, определить не представляется возможным. В результате возникает ситуация, когда точка пересечения реки и береговой линии на разных картах имеет различные географические координаты и, соответственно, не является репрезентативной для преобразований. При анализе выбранных опорных точек надо также внимательно следить и за нарушениями взаимного расположения объектов на картах. Например, могут встретиться ситуации, подобные следующей: на одной из карт, подлежащих трансформации, река впадает в море севернее города, а на другой — южнее этого же города. Понятно, что выбранная в качестве опорной точка пересечения реки и береговой линии внесет значительные искажения в преобразование.

*2. **Точечные объекты.*** В большинстве случаев в качестве опорных точек используются пунсоны населенных пунктов, иногда — отметки высот, реже — геодезические пункты, так как на мелкомасштабных картах они встречаются нечасто.

*3. **Прочие объекты.*** Иногда возникают ситуации, когда требуется объединить пространственные данные с разных карт, а четко определенных опорных точек нет, например надо «посадить» тематическую карту, в которой кроме тематической нагрузки присутствует только береговая линия, на имеющуюся основу. В подобных случаях можно использовать «нечеткие» опорные точки, например характерные точки береговой линии, внутренних водоемов и т. п., однако точность последующего преобразования остается неопределенной и снижается в зависимости от величины различия масштабов используемых карт.

Данные рекомендации с некоторыми изменениями могут быть использованы и для карт крупных масштабов. Естественно, другой набор объектов картографирования дает иные возможности выбора опорных точек. Так, вместо населенных пунктов возникают кварталы или даже дома; вместо пересечений дорог — пересечения улиц и т. п.

Необходимо заметить, что на точность преобразований с использованием контрольных точек всегда влияет точность исходной карты. В любой карте существуют ошибки планового положения контуров (или точек). Для топографических карт они находятся в пределах 0,5—0,75 мм (включая ошибки генерализации, составительского процесса и т.д.), для мелкомасштабных карт разброс больше. Разные ошибки планового положения одного и того же объекта, на котором выбирается опорная точка, на различных картах приводят к снижению точности преобразования.

Точность преобразования определяется по отклонению координат опорных точек (узлы картографической или километровой сетки, кресты планшета) от заданных (теоретических) значений. В общем случае для качественно выполненных карт, т.е. для карт, где отсутствуют ошибки составления, средняя квадратичная ошибка контрольных точек после преобразования «проекция — трансформирование плоскости» колеблется в пределах 0,1—0,4 мм и доходит до 1,5—2,0 мм в случае использования «нечетких» опорных точек.

Для перехода от системы координат цифрования к теоретической системе координат карты при условии правильного определения ее теоретической проекции в большинстве случаев достаточно точным является аффинное преобразование, так как системы находятся в близком геометрическом соответствии. В случае превышения отклонения от заданной точности следует повысить степень аппроксимирующего полинома.

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

Если исходная карта представлена в системе координат цифрования, ее картографическая проекция определена и совпадает с проекцией базовой карты или находится с ней в близком геометрическом соответствии в рассматриваемых границах территории, то преобразование исходной карты в систему координат базовой карты также осуществляется непосредственно с помощью преобразования плоскости. В качестве опорных точек используются узлы картографической или километровой сетки.

Если исходная карта представлена в системе координат цифрования, ее картографическая проекция определена и отличается от проекции базовой карты, то сначала осуществляется преобразование исходной карты в ее теоретическую систему координат по опорным точкам с использованием преобразования плоскости и затем преобразование в систему координат базовой карты. При этом необходимо применять преобразование картографической проекции, требующее знания параметров обеих проекций и поддержки этих проекций программным обеспечением. Проекция базовой карты выбирается при создании информационной системы, поэтому она поддерживается программным обеспечением, и ее параметры известны. В противном случае следует использовать преобразования плоскости (полиномами высокой степени, если это необходимо). В качестве опорных точек применяют узлы картографической или километровой сетки. Представление данных в единой системе координат позволяет затем приступить к составлению на основе этих данных новой карты с согласованными элементами содержания.

Контрольные вопросы

1. Является ли картой цифровая карта?
2. В чем принципиальное отличие цифровой карты и набора слоев или иной организованной совокупности данных об объектах местности в ГИС?
3. Применимо ли к цифровой карте понятие масштаба?
4. Как осуществляется цифрование исходных картографических материалов?
5. Чем дигитайзерный ввод отличается от цифрования растрового изображения исходных картографических материалов?
6. Каким образом обеспечивается качество оцифрованных материалов?
7. Как производится интеграция разнородных цифровых материалов и к каким результатам она приводит?
8. Каковы требования к цифровым картам-основам в ГИС?
9. Перечислите элементы содержания цифровой картографической основы.

2.1.4. Базы данных и управление ими

Совокупность цифровых данных о пространственных объектах образует множество *пространственных данных* и составляет содержание *баз географических данных*, определяет принципы построения информационного обеспечения ГИС.

Анализ общего состава данных необходим уже на этапе проектирования ГИС и требует ответа, по крайней мере, на ряд основных вопросов:

— имеется ли возможность сбора, хранения и обновления географических данных?

— каковы ожидаемые объемы данных и их форматы?

— какой объем данных необходимо преобразовать в цифровую форму, сколько времени это займет и сколько будет стоить?

— каковы качество и надежность данных?

— какого рода затруднения могут возникнуть при обработке собранных данных?

Проектирование географических баз и банков данных. Выявление географических объектов и явлений и последующий выбор адекватного представления данных о них являются составной частью процесса, именуемого проектированием базы данных (БД).

В ГИС пользователь рассматривает реальный мир через призму тематической базы данных. Измерения и выборки, содержащиеся в базе данных, должны как можно полнее и точнее соответствовать предмету исследования и его основным характеристикам. Представление данных должно учитывать типы их возможных преобразований. К созданию БД ГИС предъявляются высокие требования, связанные с пространственной формой организации и представления данных [**И. К. Лурье**, 2002].

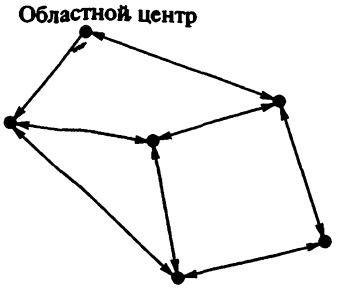
Требования к базе данных. База данных должна быть:

- согласованной по времени — хранящиеся в ней количественные данные должны соответствовать определенному времени, быть актуальными;
- полной, достаточно подробной для предполагаемого создания ГИС или картографического произведения; категории данных и их подразделения должны включать все необходимые сведения для осуществления анализа или математико-картографического моделирования исследуемого объекта или явления;
- позиционно точной, абсолютно совместимой с другими данными, которые могут добавляться в нее;
- достоверной, правильно отражающей характер явлений, для этого необходимо четко определить включенные в нее атрибуты явлений;
- легко обновляемой;
- доступной для любых пользователей.

Проектирование базы данных. В процессе проектирования БД обычно выделяют три основных уровня: концептуальный, логический и физический.

Концептуальный уровень не зависит от имеющихся аппаратных и программных средств. Для БД ГИС он связан с концептуальной моделью географических данных и включает: описание и определение рассматриваемых объектов; установление способа представления географических объектов в базе данных; выбор базовых типов пространственных объектов — точки, линии, ареалы, ячейки растра; решение вопроса о способе представления размерности и взаимосвязей реального мира в БД (например, следует ли показать здание в виде ареала или точки). На концептуальном уровне опре-

а



б

Город	Численность населения, чел.	*X*-координата	*Y*-координата	Страна
Вена	1 875 000	16,320990	48,202120	Австрия
Лондон	11 100 000	–0,177998	51,487910	Великобритания
Амстердам	1 860 000	4,894833	52,373040	Нидерланды
Осло	720 000	10,712310	59,937930	Норвегия
Москва	13 100 000	37,938250	55,764230	Россия
Вашингтон	3 221 400	–76,953830	38,890910	США

в

Рис. 16. Модели баз данных:

а — иерархическая; *б* — сетевая; *в* — реляционная

деляется и содержание базы данных, в свою очередь определяемое сутью явления, характером его пространственного распространения и задачами, для которых создается БД. Здесь следует выделить задачи создания одной или серии карт, комплексного картографирования, создания синтетических карт для многоцелевого и многократного использования.

Логический уровень определяется имеющимися программными средствами и практически не зависит от технического обеспечения. Он включает разработку логической структуры элементов базы данных в соответствии с системой управления базами данных (СУБД), используемой в программном обеспечении. Наиболее распространенными логическими структурами — моделями БД и их СУБД — являются иерархическая, сетевая, реляционная (рис. 16).

В иерархической модели (рис. 16, *а*) записи данных образуют древовидную структуру, при этом каждая запись связана только с одной записью, находящейся на более высоком уровне. Доступ к любой записи осуществляется по строго определенным «веткам» и узлам такого дерева. Иерархические модели хорошо подходят для задач с явно выраженной иерархически соподчиненной структурой информации и запросов. Они обладают низким быстродействием, трудно модифицируемы, но эффективны с точки зрения организации машинной памяти.

В сетевых моделях (рис. 16, *б*) каждая запись в каждом из узлов сети может быть связана с несколькими другими узлами; кроме данных записи содержат указатели, определяющие местоположение других записей, связанных с ними. Такие модели очень трудно редактировать, например удалять записи, так как вместе с данными нужно редактировать и указатели. Подобные модели хорошо работают в случае решения сетевых, коммуникационных задач.

В иерархической и сетевой моделях для поиска конкретной записи необходимо вначале определить путь доступа к записи, а затем просмотреть все записи, находящиеся на этом пути.

Реляционные СУБД завоевали самую широкую популярность. Они свободны от всех ограничений, связанных с организацией хранения данных и спецификой запоминающих устройств. Эти модели имеют табличную структуру (рис. 16, *в*): строки таблицы соответствуют одной записи сведений об объекте, а столбцы — поля — содержат однотипные характеристики всех объектов. Всевозможные способы индексации данных существенно сокращают время поиска и запроса к данным. К числу наиболее известных СУБД реляционного типа относятся dBASE, Clipper, Foxbase, Paradox, ORACLE (последняя особенно подходит для больших объемов данных).

Физический уровень связан с аппаратными и программными средствами. На этом уровне определяются объемы хранимой в БД информации и необходимые объемы памяти компьютера (оперативной и долговременной), рассматриваются вопросы о структурировании файлов на диске или других носителях информации для обеспечения программного доступа к ним, представления данных в памяти компьютера (целые, действительные числа, байты или буквенно-цифровые характеристики).

Позиционная и атрибутивная составляющие данных. Пространственные данные, как упоминалось ранее, традиционно подразделяются на две взаимосвязанные составляющие — позиционные и непозиционные.

Позиционная составляющая характеризует положение географических объектов (или пространственную форму) в координатах двух- и трехмерного пространства — декартовых (x, y, z) или географических (φ, λ).

Непозиционная составляющая данных включает качественную характеристику пространственных объектов (семантику) и статистику; эта информация называется атрибутивной и представляется в виде текстовых или числовых параметров. Она соответствует тематической форме данных или кодированному представлению взаимосвязей объектов (топологии). Почти всегда тип объекта маркируется и опознается по его атрибутивным параметрам (дорога имеет название и идентифицируется по ее классу — грунтовая, с асфальтобетонным покрытием). Обычно атрибутивная информация

не имеет пространственного характера, хотя некоторая ее часть может быть связана с пространственной природой изучаемого объекта, например, площадь, периметр.

В качестве атрибутивной информации часто выступает время (временна́я форма), которое может отражаться несколькими способами: указанием временно́го периода существования объектов, соотнесением информации с определенными моментами времени, указанием скорости движения объектов.

Количественные атрибуты создаются в соответствии с номинальными, порядковыми, интервальными или пропорциональными шкалами измерений. Важно знать, какие шкалы измерений использованы для данных, поскольку это определяет характер возможных математических операций с ними.

Как упоминалось ранее, составляющие пространственных данных кратко называют *геометрией* и *атрибутами*.

Представление точечных, линейных и площадных объектов в базе данных и на цифровой карте. В БД ГИС картографические источники и итоговые карты представляются в виде *цифровых карт* (см. 2.1.3) **[Геоинформатика, 1999]**.

Любая БД состоит из цифровых представлений дискретных объектов. Содержание карты можно хранить в БД в виде цифровой карты, превратив объекты карты в объекты базы данных. Правда, всегда нужно помнить о том, что многое из показанного на картах умозрительно не представлено в реальном мире: горизонтали в природе не существуют, а вот дома и озера — это реальные объекты.

Итак, географические объекты, моделируемые с помощью карты или ГИС, имеют три формы представления:

- объект в действительности;
- объект, представленный в базе данных (некоторые авторы вводят для таких объектов наименование «предмет»);
- знак, который используется для показа объекта (предмета) на карте или на другом графическом изображении.

Мы будем во всех случаях использовать наименование «объект», поскольку о чем идет речь, обычно понятно из контекста.

Предназначенный для отражения в БД или цифровой карте объект — это явление действительности, последнее в ряду подразделения однотипных явлений при выборе «элементарных кирпичиков» для информационного моделирования **[А. В. Кошкарев, 2000]**; например, город можно считать объектом, при его подразделении на составные части они уже будут не городами, а районами, кварталами и т. п.

Объект в БД — это цифровое представление всего реального объекта или его части. Способ цифрового представления объекта зависит от назначения ГИС, масштаба исследования, его задач и других факторов, например, географически город может быть пред-

ставлен в виде точки, если рассматриваемая территория имеет масштабы материка; если речь идет о базе географических данных области, тот же город может быть представлен ареалом.

Сходные явления, информация о которых хранится в базе данных, определяются как типы объектов — любая группа сходных явлений, которые должны иметь одинаковую форму хранения и представления, например дороги, реки, высоты, растительность; тем самым обеспечивается основа для формирования общего атрибута явлений. Каждый тип объектов должен быть точно определен, что помогает выявить перекрывающиеся категории данных и вносит ясность в содержание базы данных.

Основные элементы базы данных. Для цифрового представления типов реальных объектов необходимо выбрать подходящую форму объектов, являющихся представителями первых (кодами) в базе пространственных данных. Их классификация может быть основана на представлении пространственной размерности (см. 2.1.2).

Такие объекты хорошо отражают тип пространственной локализации реальных объектов. Они могут быть объединены в классы, например множество точек для представления множества городов.

Пространственные типы объектов БД могут группироваться в слои, именуемые также покрытиями или темами. Один слой представляет один тип объектов или группу концептуально взаимосвязанных типов объектов. Например, слой может включать только отрезки водотоков, или же водотоки, озера, береговую линию и болота. Возможны самые разные варианты системы слоев, как и модели данных. Некоторые базы пространственных данных создаются путем объединения всех объектов в один слой.

Одни и те же географические явления можно представить в разных масштабах и с разной точностью. Переход от одного представления к другому достаточно сложен, например переход от мелкого масштаба (1 : 250 000) к крупному (1 : 10 000). Поэтому часто встречаются базы данных, содержащие множественные представления одних и тех же явлений. Это неэкономно, но избежать этого пока не удается, ибо соответствующие методы перехода еще недостаточно разработаны.

Системы управления базами данных в ГИС. Как правило, ГИС создаются на основе уже существующих систем управления базами данных (СУБД), приобретение или аренда СУБД составляет основную часть затрат на программное обеспечение системы. СУБД выполняет множество функций, которые в противном случае следовало бы программировать в ГИС. Различают два пути использования СУБД в ГИС:

1) выполнение ГИС-процедур полностью через СУБД, тогда доступ ко всем данным осуществляется только через СУБД и все

данные должны удовлетворять требованиям, заложенным при ее разработке;

2) некоторые данные (обычно таблицы атрибутов и их отношений) доступны через СУБД, поскольку они вполне соответствуют модели, а к некоторым данным (обычно пространственно локализованным) доступ прямой, так как они не удовлетворяют требованиям модели СУБД.

ГИС добавляет географический аспект к уже существующим методам поиска и запроса. Сложность и разнообразие представления данных в ГИС, различимость в представлении позиционной и атрибутивной составляющей информации, необходимость ее обработки в контексте пространственной близости предъявляют своеобразные и повышенные требования к СУБД по сравнению с традиционной формой их использования.

Функции СУБД. Каждую СУБД принято характеризовать способностью выполнять следующие основные функции [К.Дейт, 1980; Дж.Ульман, 1983]:

- управление данными во внешней памяти;
- управление буферами оперативной памяти;
- операции над БД;
- обеспечение надежности хранения данных в БД;
- поддержка языка управления БД.

Управление данными во внешней памяти. Эта функция обеспечивает организацию структуры внешней памяти как для хранения данных, входящих в БД, так и для служебных целей, например, для ускорения доступа к данным. В некоторых СУБД используются возможности файловых систем, в других работа производится на уровне функционирования устройств внешней памяти. В любом случае пользователи СУБД не обязаны знать, какая структура используется или как организованы файлы. Обычно в СУБД создается собственная система наименования объектов БД.

Управление буферами оперативной памяти. СУБД обычно работают с БД значительного размера, существенно большего доступного объема оперативной памяти. Для того чтобы СУБД не зависела от скорости работы устройств внешней памяти, используется организация собственных наборов буферов оперативной памяти с определенными правилами замены и обновления буферов.

Операции над БД. Последовательность операций над БД, рассматриваемых СУБД как единое целое, называется транзакцией. При выполнении транзакции СУБД либо фиксирует во внешней памяти изменения в БД, произведенные этой транзакцией, либо не производит никаких изменений. Понятие транзакции важно для сохранения логической целостности БД, особенно в многопользовательских СУБД. Каждая транзакция начинается при целостном состоянии БД и оставляет это состояние целостным после своего завершения. При эффективном управлении параллельно вы-

полняющимися транзакциями со стороны СУБД каждый из пользователей может ощущать себя единственным ее пользователем.

Управление транзакциями в многопользовательской СУБД осуществляется с помощью специальных операций, которые объединяют транзакции одного пользователя в серии (сериализация транзакций), при этом суммарный эффект смеси транзакций эквивалентен эффекту их последовательного выполнения. Существует несколько базовых алгоритмов сериализации транзакций, среди которых наиболее распространены алгоритмы, основанные на синхронизационных захватах объектов БД.

Обеспечение надежности хранения данных в БД. Одним из основных требований к СУБД является надежность хранения данных во внешней памяти, т.е. СУБД должна обладать способностью восстановления последнего согласованного состояния БД после любого аппаратного или программного сбоя. Возможны два вида аппаратных сбоев: «мягкие» сбои, которые приводят к внезапной остановке работы компьютера (например, аварийное выключение питания), и «жесткие» сбои, характеризуемые потерей информации на носителях внешней памяти. Программные сбои — это аварийное завершение работы СУБД или аварийное завершение пользовательской программы, в результате чего некоторая транзакция остается незавершенной. Для восстановления БД нужно располагать некоторой дополнительной информацией, что требует избыточности хранения данных. Наиболее распространенным методом поддержания такой избыточной информации является ведение журнала изменений БД.

Журнал — это особая часть БД, недоступная пользователям СУБД и поддерживаемая с особой тщательностью (иногда поддерживаются две копии журнала, располагаемые на разных физических дисках), в которую поступают записи обо всех изменениях основной части БД. Самая простая процедура обеспечения надежности восстановления БД — откат транзакции, выполненной пользователем, для чего все записи от одной транзакции связывают обратным списком от конца к началу (аналог Undo).

При «мягком» сбое во внешней памяти основной части БД могут находиться объекты, модифицированные транзакциями, не закончившимися к моменту сбоя, и могут отсутствовать объекты, модифицированные транзакциями, которые к моменту сбоя успешно завершились (по причине использования буферов оперативной памяти, содержимое которых при «мягком» сбое пропадает). В таком случае во внешней памяти журнала должны обязательно находиться записи, относящиеся к операциям модификации обоих видов объектов. Для восстановления БД после жесткого сбоя используют журнал и архивную копию БД.

Поддержка языков управления БД. Для работы с базами данных используются специальные языки, называемые языками баз дан-

ных. Первоначально в СУБД поддерживалось несколько специализированных по функциям языков. В современных СУБД обычно поддерживается единый интегрированный язык, содержащий все необходимые средства для работы с БД, начиная от ее создания, и обеспечивающий базовый пользовательский интерфейс с базами данных. Стандартным языком наиболее распространенных в настоящее время реляционных СУБД является язык SQL (Structured Query Language). Язык SQL позволяет определять схему реляционной БД и манипулировать данными. При этом именование объектов БД (таблиц и их столбцов) поддерживается на языковом уровне в том смысле, что компилятор языка SQL производит преобразование имен объектов в их внутренние идентификаторы на основании специально поддерживаемых служебных таблиц-каталогов. Внутренняя часть СУБД (ядро) вообще не работает с именами таблиц и их столбцов.

Язык SQL содержит специальные средства определения ограничений целостности БД, которые тоже хранятся в специальных таблицах-каталогах. Обеспечение контроля целостности БД производится на языковом уровне. Компилятор SQL для операторов модификации БД на основании имеющихся в БД ограничений целостности генерирует соответствующий программный код.

Специальные операторы языка SQL позволяют определять так называемые представления БД, фактически являющиеся хранимыми в БД запросами (результатом любого запроса к реляционной БД является таблица) с именованными столбцами. Для пользователя представление является такой же таблицей, как любая базовая таблица, хранимая в БД, но с помощью представлений можно ограничить или наоборот расширить «видимость» БД для конкретного пользователя. Поддержание представлений производится также на языковом уровне.

Наконец, авторизация доступа к объектам БД производится также на основе специального набора операторов SQL. Идея состоит в том, что для выполнения операторов SQL разного вида пользователь должен обладать различными правами доступа к БД. Пользователь, создавший таблицу БД, обладает полным набором прав для работы с этой таблицей, в том числе правом разрешения доступа другим пользователям. Контроль прав доступа поддерживается на уровне языка.

Типовая организация СУБД. Организация типичной СУБД и состав ее компонентов соответствуют рассмотренному набору функций. СУБД представляет собой три взаимосвязанные компоненты: командный язык для выполнения требуемых операций с данными (ввод, вывод, модификация), интерпретирующую систему (или компилятор) для обработки команд и перевода их на язык машины, интерфейс пользователя для формирования запросов к БД (выборки нужных данных).

Логически в реляционной СУБД можно выделить:

- внутреннюю часть — ядро СУБД (часто его называют Data Base Engine);
- компилятор языка БД (обычно SQL);
- подсистему поддержки времени выполнения;
- набор утилит.

В некоторых системах эти части выделяются явно, в других — нет, но логически такое разделение можно провести во всех СУБД.

Ядро СУБД отвечает за управление: данными во внешней памяти, буферами оперативной памяти, транзакциями, а также за ведение журнала. Компоненты ядра — это соответственно менеджер данных, менеджер буферов, менеджер транзакций и менеджер журнала. Для обеспечения корректной работы СУБД все эти компоненты должны взаимодействовать по тщательно организованным протоколам. Ядро СУБД является основной резидентной частью СУБД, а в архитектуре «клиент-сервер» — основной составляющей серверной части системы.

Основной функцией компилятора языка БД является перевод операторов языка БД в некоторую выполняемую программу. Результатом компиляции является выполняемая программа, представляемая в некоторых системах в машинных кодах, но более часто во внутреннем машинно-независимом коде.

В отдельные утилиты БД обычно выделяют такие процедуры, которые слишком накладно выполнять с использованием языка БД, например загрузка и выгрузка БД, сбор статистики, глобальная проверка целостности БД и т.д. Утилиты программируются с использованием интерфейса ядра СУБД.

К числу достоинств реляционного подхода можно отнести:

- наличие небольшого набора приемов для простого абстрактного представления объектов большинства распространенных областей применения БД с интуитивно понятными и достаточно точными формальными определениями;
- наличие простого математического аппарата, опирающегося на теорию множеств и математическую логику, обеспечивающего основу реляционного подхода к организации баз данных;
- возможность манипулирования данными без необходимости знания конкретной физической организации баз данных во внешней памяти.

Отмеченные преимущества и постепенное накопление методов и алгоритмов организации реляционных баз данных и управления ими привели к тому, что в середине 80-х годов XX в. реляционные системы практически вытеснили с мирового рынка ранние СУБД.

К недостаткам реляционных СУБД относятся некоторая ограниченность (как следствие простоты) их использования при сложных структурах данных, в том числе пространственно-определен-

ных данных разных моделей, а также невозможность адекватного отражения семантики предметной области.

Базовые понятия реляционных баз данных. В преобладающем большинстве ГИС используются реляционные базы данных, поддерживаемые такими СУБД, как dBase, INFO, ORACLE, INFORMIX и т. п. Такие БД позволяют разработчикам ГИС разделить проблему управления пространственными данными на две части: как представлять геометрию объектов и топологию пространственных объектов (вектор или растр) и как работать с атрибутами этих объектов. Для этого пригодны реляционные СУБД, управляемые ими модели данных иногда называют геореляционными моделями. Основные их преимущества таковы:

- нет необходимости хранить атрибуты с пространственными данными, но они всегда могут содержаться где-нибудь в системе или поставляться, например, по сети;
- атрибуты могут быть изменены или удалены без изменения пространственной БД;
- коммерческие реляционные СУБД стандартны и могут управляться стандартными запросами;
- хранение атрибутивных данных в реляционных БД не противоречит основным принципам слоев в ГИС;
- атрибуты могут быть привязаны к пространственным единицам и представлены разными способами.

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

Понятие тип данных полностью адекватно понятию типа данных в языках программирования. Обычно в реляционных БД допускается хранение символьных, числовых данных, битовых строк, специализированных числовых данных (таких, как «деньги»), а также специальных данных — дата, время, временной интервал. Развивается подход к расширению возможностей реляционных систем абстрактными типами данных.

Понятие домен имеет некоторые аналогии с подтипами в некоторых языках программирования. В самом общем виде домен определяется заданием некоторого базового типа данных, к которому относятся элементы домена, и произвольного логического выражения, применяемого к элементу типа данных. Если вычисление этого логического выражения дает результат «истина», то элемент данных является элементом домена. Наиболее правильное интуитивное понимание домена — допустимое множество значений определенного типа. Данные считаются сравнимыми только в том случае, когда они относятся к одному домену.

Отношение — это именованное множество пар {имя атрибута, имя домена (или типа)}. Если все атрибуты одного отношения определены на разных доменах, целесообразно использовать для наименования атрибутов имена соответствующих доменов.

Кортеж, соответствующий данной схеме отношения, — это набор именованных значений заданного типа.

Обычным представлением отношения является таблица, в заголовке которой указывают наименование отношения, а в строках — кортежи; в этом случае имена атрибутов именуют столбцы таблицы. Поэтому когда говорят «столбец таблицы», имеют в виду «атрибут отношения». Такой терминологии придерживаются в большинстве коммерческих реляционных СУБД.

Реляционная модель данных. Модель данных с точки зрения СУБД описывает некоторый набор родовых понятий и признаков, которыми должны обладать сама СУБД и управляемые ею базы данных, если они основываются на этой модели. Наличие модели данных позволяет сравнивать конкретные реализации, используя один общий язык.

Реляционная модель состоит из трех частей, описывающих разные аспекты реляционного подхода: структурной, манипуляционной и целостной.

В структурной части модели фиксируется, что единственной структурой данных, используемой в реляционных БД, является нормализованное отношение — некоторый определенный набор ограничений, свойственный этому отношению. Нормализация связана с поиском наиболее простой структуры для данного множества данных и имеет дело с зависимостью между атрибутами; она позволяет избежать потери общей информации при удалении или вводе записей. Существует несколько формальных типов нормализации (более пяти).

Манипуляционная часть модели определяет механизм манипулирования реляционными БД — реляционная алгебра и реляционное исчисление, базирующиеся на теории множеств и логическом аппарате исчисления отношений.

В целостной части реляционной модели данных фиксируются два базовых требования целостности: целостности сущностей и целостности по ссылкам. Объекту, или сущности, реального мира в реляционных БД соответствуют записи (кортежи) отношений, и требование целостности состоит в сохранении отличий разных записей этого отношения; говорят, что любое отношение должно обладать первичным ключом.

Второе требование более сложно. Сущности реального мира представляются в реляционной БД в виде записей нескольких отношений. Для связи отношений используется атрибут, который служит внешним ключом. Отношение, в котором определен внешний ключ, ссылается на соответствующее отношение, в котором такой же атрибут является первичным ключом. Требование целостности по ссылкам состоит в том, что для каждого значения внешнего ключа должна найтись запись с таким же значением первичного ключа в отношении, на которое указывает ссылка, либо зна-

чение внешнего ключа должно быть неопределенным (т.е. ни на что не указывать).

Выполнение таких требований чрезвычайно важно при модификации отношений или удалении записей. Поддержке целостности при удалении кортежа служат: запрет на удаление кортежа, на который существуют ссылки; автоматическая замена значения внешнего ключа на неопределенное во всех ссылающихся кортежах; автоматическое удаление всех ссылающихся кортежей.

Реляционные СУБД обладают рядом особенностей, влияющих на организацию внешней памяти. К наиболее важным особенностям можно отнести следующие:

- наличие двух уровней системы: уровня непосредственного управления данными во внешней памяти и языкового уровня (например, уровня, реализующего язык SQL); тогда подсистема нижнего уровня должна поддерживать во внешней памяти набор базовых структур, конкретная интерпретация которых входит в число функций подсистемы верхнего уровня;
- информация, связанная с наименованием объектов базы данных и их конкретными свойствами (например, структура ключа-индекса), поддерживается подсистемой языкового уровня;
- регулярность структур данных во внешней памяти, поскольку основным объектом реляционной модели данных является плоская таблица;
- для выполнения операторов языкового уровня над одним или несколькими отношениями во внешней памяти поддерживаются дополнительные «управляющие» структуры — индексы;
- для выполнения требования надежного хранения баз данных поддерживается избыточность хранения данных во внешней памяти.

Следует подчеркнуть, что как бы ни были организованы индексы в конкретной СУБД, их основное назначение состоит в обеспечении эффективного прямого доступа к кортежу отношения по ключу. Обычно индекс определяется для одного отношения, и ключом является значение атрибута (возможно, составного). Организация индексов в больших БД представляет сложную проблему. Все более популярным подходом к организации индексов является использование техники хэширования. Общей идеей методов хэширования является применение к значению ключа некоторой функции свертки (хэш-функции), вырабатывающей значение меньшего размера. Свертка значения ключа затем применяется для доступа к записи. В самом простом случае свертка ключа используется как адрес в таблице, содержащей ключи и записи.

Язык реляционных баз данных SQL. Функции и основные возможности. Язык для взаимодействия с БД — SQL (Structered Query Language) — появился в середине 70-х годов XX в. В настоящее время распространена его версия SQL/92. Язык ориентирован главным образом на удобную и понятную пользователям формулиров-

ку запросов к реляционной БД и содержит, помимо операторов формулирования запросов и манипулирования БД, средства для определения схемы БД, ограничений целостности, структуры БД физического уровня, авторизации доступа к отношениям и их полям, позиций сохранения транзакции и откатов. Двумя фундаментальными языками запросов к реляционным БД являются языки реляционной алгебры и реляционного исчисления. Самый общий вид запроса на языке SQL представляет теоретико-множественное алгебраическое выражение, составленное из элементарных запросов.

В настоящее время SQL реализован практически во всех коммерческих реляционных СУБД, все фирмы провозглашают соответствие своей реализации стандарту SQL, и на самом деле реализованные диалекты SQL очень близки. Особенностью большинства современных коммерческих СУБД, затрудняющей анализ существующих диалектов SQL, является отсутствие полного описания языка.

В языке SQL поддерживаются следующие типы данных: CHARACTER, NUMERIC, DECIMAL, INTEGER, SMALLINT, FLOAT, REAL, DOUBLE PRECISION.

К первому типу относится CHARACTER. Спецификатор типа имеет вид CHARACTER (length), где length задает длину строк данного типа. В SQL/89 нет строк переменного размера, хотя во многих реализациях они допускаются. Литеральные строки символов изображаются в виде «последовательности символов» (например, «example»).

Представителями второго типа являются NUMERIC, DECIMAL (или DEC), INTEGER (или INT) и SMALLINT. Спецификатор типа NUMERIC имеет вид NUMERIC ([precision], [scale]). Специфицируются точные числа, представляемые с точностью precision и в масштабе scale. Здесь и далее, если не указан масштаб, то он полагается равным 0, а если не указана точность, то ее значение по умолчанию определяется в реализации.

Спецификатор типа DECIMAL (или DEC) имеет вид NUMERIC ([precision], [scale]). Специфицируются точные числа, представленные в масштабе scale с точностью, равной или большей значения precision.

INTEGER специфицирует тип данных точных чисел в масштабе 0 с определяемой в реализации точностью. SMALLINT специфицирует тип данных точных чисел в масштабе 0 с определяемой в реализации точностью, не большей, чем точность чисел типа INTEGER.

К третьему типу относятся FLOAT, REAL, DOUBLE PRECISION.

Несмотря на то, что правила встраивания SQL в программы на языке Си не определены в SQL/89, в большинстве реализаций, поддерживающих такое встраивание, имеется следующее соответст-

вие между типами данных SQL и типами данных Си: CHARACTER соответствует строкам Си; INTEGER — long;.SMALLINT — short; REAL — float; DOUBLE PRECISION — double (именно такое соответствие утверждено в стандарте SQL/92).

Описанный набор операторов SQL предназначен для встраивания в программу на обычном языке программирования. Поэтому в этом наборе перемешаны операторы «истинного» реляционного языка запросов и операторы работы с курсорами, позволяющими обеспечить построчный доступ к таблице — результату запроса. В диалоговом режиме набор операторов SQL и их синтаксис несколько другие, более сложные и динамичные. Примером может служить реализация языка в СУБД Oracle.

СУБД в архитектуре «клиент-сервер». Архитектура «клиент-сервер» обеспечивает простое и относительно дешевое решение проблемы коллективного доступа к базам данных в локальной сети, создавая некоторое подобие распределенных систем БД. Реальное распространение архитектуры «клиент-сервер» стало возможным благодаря развитию и широкому внедрению в практику концепции открытых систем. Основой этой концепции является упрощение комплексирования вычислительных систем при международной и национальной стандартизации аппаратных и программных интерфейсов. Стимулом для развития концепции явились, с одной стороны, широкое внедрение локальных компьютерных сетей с комплексированием аппаратно-программных средств, с другой — бурное развитие технологий глобальных коммуникаций. Реальностью становятся и открытые ГИС-системы, несмотря на существующие проблемы в области стандартизации.

Ключевой позицией открытых систем, ориентированных на пользователей, является независимость от конкретного разработчика аппаратного и программного обеспечения. Приобретая любой продукт компании, придерживающейся стандартов открытых систем, потребитель не становится полностью от нее зависимым. Он может развивать свою систему, приобретая продукты любой другой компании, соблюдающей стандарты. Причем это касается как аппаратных, так и программных средств и не является необоснованной декларацией. Примерами всестороннего исследования и реализации подходов к созданию открытых ГИС-систем являются программные и технологические разработки крупнейших фирм-конкурентов ESRI и Intergraph — GEONET и GeoMedia соответственно.

Основой системных и прикладных программных средств открытых систем является стандартизованная операционная система. Технологии и стандарты открытых систем обеспечивают возможность производства программных средств, обладающих свойствами мобильности (portability) и интероперабельности (interoperability). Свойство мобильности означает сравнительную простоту перено-

са программной системы в различные аппаратно-программные среды, соответствующие стандартам. Интероперабельность означает упрощение разработки новых программных систем на основе комплексирования готовых компонентов со стандартными интерфейсами.

Использование подхода открытых систем выгодно и производителям, и пользователям. Прежде всего открытые системы решают проблемы поколений и версий аппаратных и программных средств. Все производители обязаны только обеспечивать некоторую стандартную среду. Преимуществом для пользователей является то, что они могут постепенно заменять компоненты системы более совершенными, не утрачивая работоспособности системы, решать проблемы постепенного наращивания вычислительных, информационных и других мощностей компьютерной системы.

В основе широкого распространения локальных сетей компьютеров лежит известная идея разделения ресурсов. Высокая пропускная способность локальных сетей обеспечивает эффективный доступ из одного узла локальной сети к ресурсам, находящимся в других узлах.

Развитие этой идеи приводит к функциональному выделению компонентов сети: разумно иметь не только доступ к ресурсам удаленного компьютера, но также получать от этого компьютера некоторый сервис, который специфичен для ресурсов данного рода и программные средства для обеспечения которого нецелесообразно дублировать в нескольких узлах.

Рабочая станция предназначена для непосредственной работы пользователя или категории пользователей и обладает ресурсами, соответствующими локальным потребностям данного пользователя. Специфическими особенностями рабочей станции являются:

— объем оперативной памяти (далеко не все категории пользователей нуждаются в наличии большой оперативной памяти);

— наличие и объем дисковой памяти (достаточно популярны бездисковые рабочие станции, использующие внешнюю память дискового сервера);

— характеристики процессора и монитора (некоторым пользователям нужен мощный процессор, других в большей степени интересует разрешающая способность монитора, для третьих обязательно требуются средства ускорения графики и т.д.). При необходимости можно использовать ресурсы и/или услуги, предоставляемые сервером.

Сервер локальной сети должен обладать ресурсами, соответствующими его функциональному назначению и потребностям сети. Заметим, что в связи с ориентацией на открытые системы, правильнее говорить о логических серверах (имея в виду набор ресурсов и программных средств, обеспечивающих услуги над этими ресурсами), которые располагаются не обязательно на разных ком-

пьютерах. Особенностью логического сервера в открытой системе является то, что если по соображениям эффективности сервер целесообразно переместить на отдельный компьютер, то это можно проделать без реконструкции как его самого, так и использующих его прикладных программ.

Примерами серверов могут служить:

- сервер телекоммуникаций, обеспечивающий услуги по связи данной локальной сети с внешним миром;
- вычислительный сервер, дающий возможность производить вычисления, которые невозможно выполнить на рабочих станциях;
- дисковый сервер, обладающий расширенными ресурсами внешней памяти и предоставляющий их в использование рабочим станциям и, возможно, другим серверам;
- файловый сервер, поддерживающий общее хранилище файлов для всех рабочих станций;
- сервер баз данных — фактически обычная СУБД, принимающая запросы по локальной сети и возвращающая результаты.

Сервер локальной сети предоставляет ресурсы рабочим станциям и другим серверам.

Принято называть клиентом локальной сети запрашивающего услуги у некоторого сервера и сервером — компонент локальной сети, оказывающий услуги некоторым клиентам.

Хотя обычно одна база данных целиком хранится в одном узле сети и поддерживается одним сервером, серверы баз данных представляют собой простое и дешевое приближение к распределенным базам данных, поскольку общая база данных доступна для всех пользователей локальной сети.

Доступ к базе данных от прикладной программы или пользователя производится путем обращения к клиентской части системы. В качестве основного интерфейса между клиентской и серверной частями выступает язык баз данных SQL. Собирательное название SQL-сервер относится ко всем серверам баз данных, основанных на SQL. Соблюдая предосторожности при программировании, можно создавать прикладные информационные системы, мобильные в классе SQL-серверов.

Одним из перспективных направлений СУБД является гибкое конфигурирование системы, при котором распределение функций между клиентской и пользовательской частями СУБД определяется при установке системы.

Особенно важны в системах управления базами данных, основанных на архитектуре «клиент-сервер», протоколы удаленного вызова процедур. Использование механизма удаленных процедур позволяет перераспределять функции между клиентской и серверной частями системы, а также скрывать различия между взаимодействующими компьютерами. Физически неоднородная локальная сеть компьютеров приводится к логически однородной сети

взаимодействующих программных компонентов. В результате пользователи не обязаны заботиться о разовой закупке совместимых серверов и рабочих станций.

Обычно на стороне клиента СУБД работает только такое программное обеспечение, которое не имеет непосредственного доступа к базам данных, а обращается для этого к серверу с использованием языка SQL. С другой стороны, иногда хотелось бы перенести бóльшую часть прикладной системы на сторону сервера.

Очевидно, что требования к аппаратуре и программному обеспечению клиентских и серверных компьютеров различаются в зависимости от вида системы.

Распределенные БД. Основная задача систем управления распределенными базами данных состоит в обеспечении средствами интеграции локальных баз данных, располагающихся в некоторых узлах вычислительной сети, с тем, чтобы пользователь, работающий в любом узле сети, имел доступ ко всем этим базам данных как к единой базе данных.

Возможны однородные и неоднородные распределенные базы данных. В случае однородных БД каждая локальная база данных управляется одной и той же СУБД. В неоднородной системе локальные базы данных могут относиться даже к разным моделям данных. Сетевая интеграция неоднородных баз данных — очень сложная проблема. Более успешно практически решается промежуточная задача — интеграция неоднородных SQL-ориентированных систем.

Интегрированные и мультибазы данных. Проблема интегрированных (федеративных) неоднородных БД и мульти-БД возникла в связи с необходимостью комплексирования систем БД, основанных на разных моделях данных и управляемых разными СУБД.

Основной задачей интеграции неоднородных БД является предоставление возможности автоматического преобразования операторов манипулирования БД глобального уровня в операторы, понятные соответствующим локальным СУБД.

При строгой интеграции неоднородных БД локальные системы БД утрачивают свою автономность. После включения локальной БД в федеративную систему все дальнейшие действия с ней, включая администрирование, должны вестись на глобальном уровне. Поскольку пользователи часто не соглашаются утрачивать локальную автономность, желая, тем не менее, иметь возможность работать со всеми локальными СУБД на одном языке и формулировать запросы с одновременным указанием разных локальных БД, развивается направление мульти-БД.

В системах мульти-БД не создается глобальная схема интегрирования, а применяются специальные способы наименования для доступа к объектам локальных БД. В таких системах на глобальном уровне допускается только выборка данных. Это позволяет сохранить автономность локальных БД.

Как правило, интегрировать приходится неоднородные БД, распределенные в вычислительной сети, а это в свою очередь приводит к дополнительным проблемам интеграции: управление глобальными транзакциями, сетевая оптимизация запросов и т.д.

Для внешнего представления интегрированных и мульти-БД обычно используется реляционная модель данных, но в настоящее время все чаще предлагаются объектно-ориентированные модели.

Объектно-ориентированные структуры БД. В последнее время, особенно в разработках фирмы ESRI, большое внимание стало уделяться четвертому типу СУБД — объектно-ориентированному (здесь этот термин имеет отношение только к структуре БД и языку программирования, а не к объекту как реальности). Применение таких СУБД направлено на снижение объемов хранимой информации и времени последовательного поиска в БД. В ГИС такие структуры применяются, когда появляется необходимость управления сложными реальными объектами более разумным способом, чем простыми точками, линиями и полигонами, а также модификация БД при оверлее полигонов.

В объектно-ориентированных БД требуется, чтобы географические данные представляли собой совокупность элементов. При этом они характеризуются серией атрибутов и параметров поведения, которые определяют их пространственные, графические, временны́е, текстовые/численные размерности. Примерами таких элементов могут служить: участок железной дороги и связанное с ним здание вокзала; узел трубопровода с ответвлениями из труб разного диаметра и т.п. Такая структура позволяет унифицировать хранение геометрии и атрибутов при отображении взаимосвязанных объектов.

Направление объектно-ориентированных баз данных (ООБД) возникло сравнительно давно. Первые публикации появлялись уже в середине 80-х годов XX в., однако наиболее активно это направление развивается в последние годы. Возникновение направления ООБД определяется прежде всего потребностями практики: необходимостью разработки сложных информационных прикладных систем, для которых технология предшествующих систем БД не была вполне удовлетворительной.

Основу развития ООБД обеспечивают как предыдущие работы в области БД, так и давно развивающиеся направления языков программирования с абстрактными типами данных и объектно-ориентированных языков программирования. Исключительное влияние на концепции ООБД и всего объектно-ориентированного подхода оказал переход к семантическому моделированию данных.

При наличии большого количества функционирующих проектов и коммерческих систем (пример — разработки ESRI) отсутствует общепринятая объектно-ориентированная модель данных по

причине отсутствия общего согласия о принятии какой-либо модели. Имеются и более конкретные проблемы, связанные с разработкой декларативных языков запросов, выполнением и оптимизацией запросов, формулированием и поддержанием ограничений целостности, синхронизацией доступа и управлением транзакциями и т.д.

В наиболее общей и классической постановке объектно-ориентированный подход базируется на следующих концепциях:

- объекта и идентификатора объекта;
- атрибутов и методов;
- классов;
- иерархии и наследования классов.

Любая сущность реального мира в объектно-ориентированных языках и системах моделируется в виде объекта. Любой объект при своем создании получает генерируемый системой уникальный идентификатор, который связан с объектом все время его существования и не меняется при изменении состояния объекта.

Каждый объект характеризуется состоянием и поведением. Состояние объекта — набор значений его атрибутов. Поведение объекта — набор методов (программный код), оперирующих над состоянием объекта. Значение атрибута объекта — это тоже некоторый объект или множество объектов. Состояние и поведение объекта инкапсулированы в объекте; взаимодействие объектов производится на основе передачи сообщений и выполнении соответствующих методов.

Множество объектов с одним и тем же набором атрибутов и методов образует класс объектов. Объект должен принадлежать только одному классу (если не учитывать возможности наследования). Допускается наличие примитивных предопределенных классов, объекты-экземпляры которых не имеют атрибутов: целые, строки и т.д. Класс, объекты которого могут служить значениями атрибута объектов другого класса, называется доменом этого атрибута.

Допускается порождение нового класса на основе уже существующего класса — наследование. В этом случае новый класс, называемый подклассом существующего класса, наследует все его атрибуты и методы. Различаются случаи простого и множественного наследования. В первом случае подкласс может определяться только на основе одного класса, во втором случае классов может быть несколько.

При таком наборе базовых понятий (кроме наследования) объектно-ориентированный подход очень близок к подходу языков программирования с абстрактными (или произвольными) типами данных.

С другой стороны, если абстрагироваться от поведенческого аспекта объектов, объектно-ориентированный подход весьма близок к подходу семантического моделирования данных. Фундамен-

тальные абстракции, лежащие в основе семантических моделей, неявно используются и в объектно-ориентированном подходе. На абстракции агрегации основывается построение сложных объектов, значениями атрибутов которых могут быть другие объекты. Абстракция группирования — основа формирования классов объектов.

Наиболее важным качеством ООБД является поведенческий аспект объектов. В прикладных системах с традиционной организацией БД существовал принципиальный разрыв между структурной и поведенческой частями. Структурная часть системы поддерживалась всем аппаратом БД, ее можно было моделировать, верифицировать и т.д., а поведенческая часть создавалась изолированно. В среде ООБД проектирование, разработка и сопровождение прикладной системы становятся процессом, в котором интегрируются структурный и поведенческий аспекты. Конечно, для этого нужны специальные языки, позволяющие определять объекты и создавать на их основе прикладную систему.

Специфика применения объектно-ориентированного подхода для организации и управления БД потребовала уточненного толкования классических концепций и некоторого их расширения. Эти потребности касаются спецификации знаний при определении класса (ограничений целостности, правил дедукции и т.п.), определении разного рода семантических связей между объектами, вообще говоря, разных классов и пересмотра понятия класса. В контексте ООБД оказывается более удобным рассматривать класс как множество объектов данного типа, т.е. одновременно поддерживать понятия типа и класса объектов.

Основные трудности объектно-ориентированного моделирования данных проистекают из того, что такого развитого математического аппарата, на который могла бы опираться общая объектно-ориентированная модель данных, не существует.

Принято выделять два уровня моделирования объектов: нижний (структурный) и верхний (поведенческий). На структурном уровне поддерживаются сложные объекты, их идентификация и разновидности связей. База данных — это набор элементов данных, связанных отношениями «входит в класс» или «является атрибутом». Важными моментами являются поддержание наряду с понятием «объект» понятия «значения», а также четкое разделение схемы БД и самой БД.

Качество данных и контроль ошибок. Представления о качестве данных, их точности и оценке погрешности становятся чрезвычайно важными при создании баз и банков данных ГИС. Существует практически всеобщая тенденция забывать об ошибках в данных, если последние представлены в цифровой форме. Все пространственные данные до некоторой степени неточны, но в цифровой форме они обычно представляются с высокой точностью,

определяемой параметрами памяти компьютера. Необходимо каждый раз рассматривать два вопроса:

— насколько правильно представляемые в БД цифровые структуры отражают реальный мир;

— насколько точно алгоритмы позволяют рассчитать истинное значение результата.

Методы расчета точности определений по картам рассматриваются в курсе картографии, с понятиями надежности и качества географических данных можно ознакомиться в работе [Б. Б. Серапинас, 1983]. Показатели качества данных определяются стандартами [**И. К. Лурье**, 2002]. Основные из них: позиционная точность и точность атрибутов объектов, а также логическая непротиворечивость, полнота, происхождение, относящиеся к базе данных в целом.

Позиционная точность данных и типы ошибок. Позиционная точность определяется как величина отклонения измерения данных о местоположении (обычно координат) от истинного значения. При ее определении, как правило, исходят из масштаба исследования или первичного материала, например в данных о природных ресурсах стремятся достичь точности карты заданного масштаба. Обеспечение большей точности требует более качественных исходных материалов, но всегда следует задаться вопросом, оправданны ли дополнительные затраты задачами исследования.

Точность координат определяется по-разному в растровом и векторном представлении.

Точность растра зависит от размера ячеек сетки. Для избежания потери информации можно использовать ячейки меньшего размера с тем, например, чтобы показать искусственные объекты, но следует оценить, что будет представлять из себя выбранная ячейка в заданном масштабе. В большинстве случаев неясно, относятся ли координаты, представленные в растровом формате, к центральной точке ячейки или к одному из ее углов; точность привязки, таким образом, составляет 1/2 ширины и высоты ячейки.

Координаты в векторном формате могут кодироваться с любой мыслимой степенью точности; она ограничивается возможностями внутреннего представления координат в памяти компьютера. Обычно для представления используется 8 или 16 десятичных знаков (одинарная или двойная точность), что соответствует ограничению по точности соответственно до $1/10^8$ и $1/10^{16}$ измерения на местности. Для получения такой же точности растра необходимо, соответственно, $10^8 \times 10^8$ или $10^{16} \times 10^{16}$ ячеек, что невозможно даже при специальном сжатии данных. Но лишь некоторые классы данных соответствуют такой точности векторного представления: данные, полученные точной съемкой, карты небольших участков, составленные на основе крупномасштабных топографических карт; лишь для немногих природных явлений характерны четкие грани-

цы, которые можно представить в виде математически определенных линий. Поэтому можно утверждать, что тонкие линии в векторном формате дают ложное ощущение точности. Обычно на карте толщина линии отражает неопределенность положения объекта. Поэтому в векторной системе фиксируется неопределенность положения векторного объекта, а не точность координат. В растровой системе эта неопределенность автоматически выражается размером ячейки, который и дает действительное представление о точности.

Точность базы данных. Практически на каждом этапе создания БД возможно внесение ошибок.

Карты имеют погрешности, которые при цифровании автоматически переносятся в базу данных; из-за генерализации они не всегда точно фиксируют информацию о местоположении объекта; несоответствия на границах листов могут обусловить несоответствия в базе данных.

Ошибки характерны для данных, взятых из некартографических источников. Они могут появиться и при проведении инвентаризации по аэрофотоснимкам, если изображения дешифрированы неверно, часто возникают потому, что слишком велико доверие к базовым картам. Другие ошибки связаны с проблемой границ и погрешностями классификации. Многие ошибки обусловлены особенностями сбора данных. Ручной ввод цифровых данных весьма утомителен, и трудно сохранять необходимое качество работы на протяжении долгого времени.

Для снижения ошибок в измерении местоположения используют геодезический контроль и системы спутникового позиционирования, а также создание массивов данных географической привязки. К последним предъявляют особенно высокие требования по точности и достоверности еще на этапе сбора исходной информации. Их применение в качестве основы для интеграции данных в известных оригинальных масштабах и проекциях не вызывает затруднений. Во всех других случаях требуется преобразование информации, которое должно выполняться по правилам картографической генерализации и согласования.

Бóльшая часть данных о местоположении объектов берется с аэроснимков, при этом точность зависит от правильного размещения контрольных точек. Данные космической съемки труднее расположить с большой точностью — не позволяет разрешение снимка.

На весь набор данных влияют: ошибки регистрации и определения контрольных точек, преобразования координат, особенно когда неизвестна проекция исходного документа; ошибки обработки данных, неправильный логический подход, генерализация и проблемы интерпретации; математические ошибки; потеря точности представления из-за невысокой точности вычислений; перевод векторных данных в растровый формат.

В БД обычно используются данные из разных источников с разной степенью точности. При наложении множества карт точность результирующего материала может оказаться очень низкой. Однако больший интерес представляет показатель пригодности полученной карты. Для некоторых типов операций степень пригодности карт определяется точностью наименее точного слоя БД. Показатель пригодности можно оценить также по его устойчивости при смене порядка ввода данных или изменении веса атрибута.

Часто возникают искусственные признаки ошибок (артефакты) — нежелательные последствия применения высокоточных процедур для обработки пространственных данных, имеющих небольшую точность. Использование растровых данных позволяет застраховаться от артефактов до тех пор, пока размер элемента растра больше или равен позиционной точности данных. При работе с векторными данными артефакты возникают при кодировании (цифровании) и наложении полигонов.

Чтобы проверить позиционную точность, нужно использовать независимый, более точный источник, например, карту более крупного масштаба, данные спутникового позиционирования, первичные («сырые») данные съемки. Для контроля можно использовать и внутренние признаки: незамкнутые полигоны, линии, проходящие выше или ниже узловых точек, и т. п. Величина этих погрешностей может служить мерой позиционной точности.

Наиболее надежным путем создания качественных БД, особенно для ее многократного и многопользовательского применения, является хранение информации о точности в самой БД в виде атрибутов или метаданных.

Точность атрибутивных данных. Точность атрибутов определяется как близость их к истинным показателям (на данный момент времени). В зависимости от природы данных точность атрибутов может быть проанализирована разными способами.

Для непрерывных атрибутов, представляющих модель поверхности, например ЦМР, точность определяется как погрешность измерений по этой модели.

Для атрибутов объектов, выделяемых в результате классификации, точность выражается в оценках соответствия, определенности или правдоподобия. В случае двух объектов ситуация, в которой они представлены сочетанием 70 % атрибута объекта А и 30 % атрибута В, выгоднее, чем когда объекты А и В недостаточно определены, что не позволяет четко разграничить их. В общем случае для оценки точности атрибутов полезно составить матрицу ошибок классификации. Для этого нужно взять несколько случайных точек, определить их категорию по базе данных, затем на местности определить истинный класс и заполнить матрицу классификации (соответствия). Если, например, число классов 4, а число об-

Таблица 2.1

Матрица классификации

Класс на местности	Класс в БД				
	A	B	C	D	Всего
A	12	7	3	3	25
B	3	10	3	2	18
C	3	5	15	1	24
D	4	4	4	21	33
Всего	22	26	25	27	100

следованных точек 100, из них на местности определено 25 точек класса A, 18 точек — B, 24 — C и 33 — D (табл. 2.1).

В идеале все точки должны располагаться по диагонали матрицы; это показывает, что на местности и в базе данных зафиксирован один и тот же класс. Ошибка пропуска возникает в тех случаях, когда точки класса на местности неправильно зафиксированы в базе данных. В матрице число ошибочных точек класса B равно сумме записей в столбцах A, C и D строки B (числу точек, относящихся на местности к классу B, а в базе данных — к другим классам). Ошибка добавления (ложного класса) имеет место в случаях, когда в базе данных зафиксирован класс, которого нет на местности, например, для класса A — это сумма записей в строках B, C и D столбца A (соответствует числу точек, неправильно отнесенных к классу A в базе данных).

Для обобщения матрицы соответствия используют показатель достоверности классификации — количество правильно классифицированных точек, расположенных по диагонали матрицы (в %). На самом деле это число может быть случайным. Чтобы учесть этот факт, часто при обобщении результатов используют индекс κ (каппа Коэна), вносящий поправку на случайность. Он вычисляется по формуле

$$\kappa = (d - q)/(N - q), \qquad (2.6)$$

где d — число случаев правильного получения результата (сумма значений, стоящих на диагонали матрицы соответствия); q — число случайных результатов, вычисляемое через число случайных результатов в столбцах n_c и истинных — в строках n_r матрицы соответствия как $q = \sum n_c n_r / N$; N — общее число точек. Для абсолютно точных результатов (все N точек на диагонали) $\kappa = 1$, а при чисто случайном попадании $\kappa = 0$. В приведенном примере

$$\kappa = (22 \cdot 25/100 + 26 \cdot 18/100 + 25 \cdot 24/100 + 27 \cdot 33/100) = 25{,}09;$$

$$\kappa = (58 - 25)/(100 - 25) = 0{,}44.$$

Показатель достоверности классификации равен 44 %, что меньше значения, полученного по диагональным элементам (58 %).

Неопределенность атрибутов каждого элемента растра постоянна для каждого из представленных классов объектов, а позиционная неопределенность постоянна для всего растра — фиксируется один раз для всей карты.

Для социальных данных основной источник неточности в атрибутах — недоучет данных. Например, при проведении переписи в некоторых районах и по некоторым социальным группам недоучет может быть очень высоким (> 10 %).

Логическая непротиворечивость, полнота, происхождение. Эти элементы качества данных относятся к базе данных в целом, а не к объектам, атрибутам или координатам.

Логическая непротиворечивость связана с внутренней непротиворечивостью структуры данных, с топологическим представлением данных, что означает наличие исчерпывающего списка взаимоотношений между связными геометрическими представлениями данных без измерения хранимых координат пространственных объектов. Она обычно заключается в ответах на вопросы: замкнуты ли полигоны, нет ли полигонов без меток или с несколькими метками, есть ли узлы на всех пересечениях дуг. Логические противоречия могут быть вызваны проблемами согласования информации и географических границ при совмещении данных из разных источников.

Полнота связана со степенью охвата данными множества объектов, необходимых для представления реальности или отображения на результирующей карте (все ли соответствующие объекты включены в базу данных?). Она зависит от правил отбора объектов или явлений, генерализации и масштаба.

Происхождение включает сведения об источниках данных, времени сбора данных, точности источников и цифровых данных, организации, которая их собирала, об операциях по созданию базы данных (как кодировались данные и с какого исходного материала, как происходила их обработка). Обычно эта информация содержится в специальных файлах метаданных.

Особенности интеграции разнотипных данных. Новые виды и типы цифровых данных требуют разработки методов их совместного использования, оценки пригодности для создания ГИС и составления карт. Создание проблемно-ориентированных банков географических и картографических данных и знаний способствует не только накоплению информации и обмену ей, но и повышению качества и достоверности результатов, получаемых ГИС. Особенно возрастает роль таких банков для интеграции, пространственного и тематического согласования информации.

Проблемы интеграции данных особенно остро встали в связи с широким использованием уже существующих цифровых карт (см.

2.1.4), содержащихся в разнообразных базах пространственных данных и распространяемых по телекоммуникационным сетям. Они могут быть слоями проблемно-ориентированных ГИС, представлять результаты компьютерного дешифрирования аэро- и космических снимков, цифрового моделирования объектов или явлений. Информация относительно их происхождения, методов создания, точности и достоверности часто отсутствует или недоступна. Технология создания цифровых карт часто определяется временными, не устоявшимися, разрозненными, не всегда профессионально составленными инструкциями и техническими заданиями, разработанными производителем или заказчиком работ, ведомственными инструкциями. Все чаще появляются в публикациях сообщения об ошибках в цифровых картах, а иногда об их полной непригодности к использованию или ненадежности как источников данных.

При традиционном (бумажном) создании карт разнотипные данные применяются давно и методы их совместного использования хорошо разработаны. Современное техническое и программное обеспечение позволяет на основе любых доступных данных создавать сколь угодно сложные по содержанию карты и делать их легко доступными для использования и модификаций. Но часто это происходит без учета картографических традиций, в то время как доверие к цифровым картам велико.

Решение проблем интеграции данных при создании и использовании цифровых карт лежит в области разработки инфраструктуры пространственных данных (на национальном, межгосударственном уровнях) [**А. В. Кошкарев**, 2000], четкой структуры метаданных и картографически обоснованного применения ГИС-технологий при работе с разнотипными данными.

Под формированием инфраструктуры пространственных данных подразумевается разработка механизма их обмена и накопления (доступность, стоимость, система стандартов на данные и обмен ими, метаданные), а также определение единой — базовой — пространственной информации, к которой, в первую очередь, следует отнести геодезическую основу, рельеф, гидрографию, транспортную сеть, административные границы.

Преимущество геоинформационных методов заключается в возможности оценить пригодность данных для совместного использования и осуществить их интеграцию на основе выполнения пространственного анализа с помощью ГИС-технологий. Однако основное правило при интеграции информации таково: качество данных должно быть определено скорее во время получения данных, чем при попытке применить эти данные. Тогда указанные технологии могут существенно облегчить их корректировку для поставленной задачи.

Основные проблемы, возникающие при совместном использовании разнотипных данных: отображение положения границ в раз-

ных цифровых источниках, временны́е параметры данных и способ отражения структуры геосистем. Необходимо каждый раз рассматривать два вопроса:

- насколько правильно и сопоставимо представляемые в базах данных цифровые структуры отражают реальную ситуацию (моделируют реальность);
- насколько точно используемые алгоритмы позволяют рассчитать истинное значение результата совмещения данных.

Хорошим технологическим приемом интеграции разнотипных данных произвольных источников может стать создание специализированных экспертных систем. Их задача — выполнение оценок качества и пригодности таких данных, опирающееся на три базовые составляющие системы: метаданные; логические процедуры, учитывающие характер проявления основных источников возможных ошибок в цифровых пространственных данных; ГИС-технологии, реализующие традиционные и современные приемы совмещения информации для создания БД.

Контрольные вопросы

1. Каким образом обеспечивается надежность хранения данных в БД?
2. Какие свойства реляционной модели обусловили ее широкое распространение?
3. В чем отличие баз данных ГИС от баз данных других информационных систем?
4. Что подразумевается под целостностью данных в пространственной базе данных?
5. Приведите примеры того, каким образом может нарушиться целостность пространственной базы данных без соответствующего контроля за доступом.
6. Определите разницу между чувствительностью к ошибкам в теории и на практике.
7. Каковы пути устранения последствий ошибок в данных?
8. Каковы преимущества создания объектно-ориентированных БД при работе с пространственными данными?

2.2. Геоанализ и моделирование

2.2.1. Общие аналитические операции и методы пространственно-временно́го моделирования

Несмотря на то что хранящиеся в ГИС сведения представляют собой основную ценность, они приносят реальную пользу только при их использовании для решения прикладных задач. Каждая ГИС наряду с модулями для ввода и вывода данных обязательно имеет средства, предназначенные для выполнения общих функций про-

странственного анализа и средства для решения специфических задач пользователя. Эти средства зависят от моделей данных, поддерживаемых ГИС и используемых для решения задач пользователя. В результате конкурентной борьбы между коммерческими ГИС к настоящему времени сложился перечень функций, наличие которых практически обязательно для таких ГИС. Это, прежде всего, функции организации выбора объектов по тем или иным условиям, функции редактирования структуры и информации в базах данных, функции картографической визуализации, картометрические функции, функции построения буферных зон, анализа наложений, функции сетевого анализа и др.

Широкий круг операций поддерживается в той или иной мере многими геоинформационными системами. Это процедуры кластеризации и классификации, построения изолиний, проверки статистических зависимостей (факторный и корреляционный анализы), геометрических и проекционных преобразований геометрических данных. Рассмотрим перечисленные возможности более подробно.

Пространственный анализ чаще всего проводится в целях выявления следующих отношений:

- закономерностей в структуре или особенностей распределения объектов, а также их характеристик в пространстве;
- наличия и вида взаимосвязей в пространственном распределении нескольких классов объектов или отдельных характеристик;
- тенденций развития явлений в пространстве и во времени.

Еще одной задачей пространственного анализа является выбор решения с учетом пространственных характеристик (расстановка антенн и определение их характеристик для обеспечения непрерывной радиосвязью поездов в процессе движения, выбор оптимального маршрута проезда по Москве с учетом ограничений и прогнозируемой скорости движения по улицам города и др.).

При проведении пространственного анализа можно использовать только те представления объектов реального мира, которые возможно реализовать с помощью моделей данных, заложенных в систему. Как уже было отмечено ранее, в ГИС используется два основных подхода к описанию пространства:

1) подход, основанный на структурировании пространства, т.е. выделении пространственных объектов, указании характера их локализации в пространстве, границ и в некоторых случаях взаимосвязей с другими объектами;

2) подход, основанный на неструктурированном представлении пространства. В этом случае все изучаемое пространство, как правило, представляется множеством ячеек заданного размера и формы, в которых определены усредненные параметры или характеристики, соответствующие этой части пространства. Это могут быть характеристики, которые принимают любые значения из

заданного интервала (температура, соленость, количество осадков) или характеристики из заданного перечня (лес, озеро, луг, пашня и т.д.). Несмотря на то, что в этом случае используются названия объектов, фактически они не существуют, не определен характер их локализации, не заданы границы, без выполнения процедуры структуризации невозможно подсчитать количество объектов и т.д.

Определяя основные задачи анализа, мы говорили о свойствах и характеристиках объектов или точек пространства. Следует учесть, что они также совсем не однородны. Прежде всего необходимо разделить все характеристики на качественные и количественные. С количественными характеристиками можно выполнять различные операции, качественные характеристики можно главным образом сравнивать. Сравнивая, мы обычно пытаемся ответить на два вопроса: совпадают ли сравниваемые характеристики или объекты? Можно ли определить порядок этих характеристик или объектов?

Если удается ответить только на первый вопрос, то говорят, что объекты описаны в номинальной шкале или шкале категорий, если мы можем ответить и на второй вопрос, то объекты описаны в ранговой шкале.

Функции работы с базами данных. Функции анализа в этом случае включают в себя: изменения структуры баз данных (добавление или удаление полей, изменение их типов); ввод новых данных и редактирование имеющихся, в том числе в автоматическом режиме и посредством выполнения специальных процедур анализа, таких, как вычисление площадей или определение соседей; простой поиск сведений; поиск необходимых данных с использованием запросов типа SQL (см. 2.1) либо QBE с одновременным выделением выбранных объектов как в таблицах баз данных, так и на картах; вычисление (калькуляцию) новых значений поля по характеристикам других полей базы данных или других баз; создание производных баз данных путем объединения (классификации) записей исходной базы или выбором части полей исходной базы; объединение баз по общему (ключевому) полю и др. Эти функции значительно чаще других используются при анализе данных в ГИС. Их реализация в разных системах различна. В некоторых из них результаты любого запроса становятся самостоятельным элементом (GeoMedia Professional, MapInfo Professional), с которым можно обращаться так же, как и с любым другим (классом объектов, таблицей и т.п.), т.е давать ему имя, настраивать его визуализацию, конструировать к нему новые запросы, использовать его в других операциях. Иногда результат запроса можно сохранять как самостоятельный элемент (тема в ArcView GIS), а можно использовать на последующих этапах анализа без сохранения. Например, в ArcView GIS выбранные объекты одной темы могут быть исполь-

зованы для выбора из другой темы объектов, удовлетворяющих определенным геометрическим условиям (находятся полностью внутри, полностью содержат, имеют своим центром, содержат центр, пересекаются, отстоят от центра) и др.

Формирование и редактирование пространственных данных. Во всех полнофункциональных ГИС есть средства формирования и редактирования пространственных данных. С точки зрения анализа нас интересуют такие средства, в которых при формировании или редактировании одних данных используются другие.

Так, в системе ArcView GIS присутствуют следующие операции ввода/редактирования:

- разбиение полигонов линиями;
- слияние полигонов;
- создание полигона с дыркой, задаваемой вторым полигоном;
- удаление области перекрытия между полигонами (вычитание одного полигона из другого);
- получение пересечения полигонов.

При выполнении указанных операций можно задать способ вычисления значения каждого поля вновь созданных объектов.

Среди функций редактирования данных для систем, не поддерживающих топологические модели данных, есть функции, позволяющие из любых данных создавать топологически корректные структуры, т.е. структуры, не имеющие самопересечений, пустот и перекрытий между полигонами, перехлестов и недоводов для линейных объектов.

Так, при удалении перекрытий в системе MapInfo Professional участок перекрытия будет присоединен к тому полигону, площадь которого больше, и удален из полигонов с меньшей площадью. При удалении пустот между полигонами задается максимальная площадь, которую может иметь удаляемая пустота. Пустотная область присоединяется к тому из соседних с ней полигонов, площадь которого больше.

Для обеспечения топологической корректности информации в MapInfo Professional предусмотрены также операции «Совмещение и генерализация». Три главные функции этой группы операций:

1) совмещение узлов разных объектов;
2) разреживание узлов/генерализация;
3) удаление избыточных полигонов.

При выполнении этих операций необходимо настроить некоторые параметры: допуски расстояний до конечных и промежуточных узлов в первой функции, расстояния между узлами, величины коллинеарных отклонений (стрела прогиба для трех точек) — во второй, максимальная площадь — для третьей.

Геокодирование. Большое внимание в современных ГИС отводится геокодированию — привязке к карте объектов, расположение которых в пространстве задается сведениями из таблиц баз

данных. Эта информация может быть представлена следующим образом:

- координатами объектов — прямоугольными или географическими, например точки привязки шурфов в геологических или почвенных исследованиях, координаты которых получены приемниками глобальной системы позиционирования Глонасс или Навстар;
- адресами объектов в адресной системе урбанизированных территорий, например при привязке баз данных паспортной службы или налоговой инспекции;
- почтовыми индексами, например в случае анализа деятельности почтовых террористов;
- расстоянием от начала линейных маршрутов, например при привязке данных об авариях на нефтепроводах или аварийно-опасном приближении растительности к воздушным линиям электропередач.

Функции геокодирования позволяют «привязывать» базы данных, которые ведет большинство ведомств, обслуживающих урбанизированные территории и население, на них проживающее, к картам территорий.

Картометрические функции. К картометрическим функциям, реализованным в большинстве ГИС, относятся расчеты площадей, длин, периметров, площадей реальных поверхностей, объемов, заключенных между поверхностями.

К этой категории можно отнести и функции вычисления вторичных характеристик поверхностей — углов наклона, экспозиций склонов, зон видимости и др.

В некоторых системах при определении перечисленных характеристик учитываются свойства картографических проекций, с одной стороны, а также реальный рельеф — с другой.

Расстояния между двумя точками на плане или в проекции Гаусса — Крюгера могут быть вычислены по теореме Пифагора

$$D = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}. \qquad (2.7)$$

При вычислении того же расстояния между удаленными точками на сфере придется воспользоваться формулами сферической тригонометрии

$$D = R\delta; \qquad (2.8)$$

$$\cos\delta = \sin\varphi_1 \sin\varphi_2 + \cos\varphi_1 \cos\varphi_2 \cos(\lambda_2 - \lambda_1). \qquad (2.9)$$

Для полигона, заданного прямоугольными координатами на плане, площадь может быть вычислена по довольно простой формуле:

$$S = 0{,}5 \sum Y_i (X_{i+1} - X_{i-1}), \qquad (2.10)$$

где сумма вычисляется для всех n вершин полигона, при этом для первого слагаемого $X_{1-1} = X_0$ — это X-координата n-й вершины

полигона, а для последнего слагаемого X_{n+1} — это X-координата первой вершины.

Полученное значение площади имеет положительный знак (для правой системы координат) при ее обходе по часовой стрелке и минус — в противном случае.

При использовании карты в любой проекции, включая равновеликие, необходимо вводить поправки за искажение площадей (для равновеликих вычислять масштаб площадей).

Масштаб площадей может быть вычислен в результате деления известной площади некоторого участка на поверхности эллипсоида на площадь его проекции на карте. Таким участком может быть сфероидическая трапеция, заключенная между параллелями и меридианами.

Площадь трапеции на поверхности эллипсоида равна

$$S = a^2(1 - e^2)(\lambda_2 - \lambda_1)[(\sin\varphi_2 - \sin\varphi_1) + 2/3e^2((\sin^3\varphi_2 - \sin^3\varphi_1) + 3/5e^4(\sin^5\varphi_2 - \sin^5\varphi_1))], \quad (2.11)$$

где λ_2 и λ_1 — долготы меридианов; φ_2 и φ_1 — широты параллелей, ограничивающих трапецию; a — большая полуось; e — эксцентриситет эллипсоида.

Площадь на карте зависит от вида проекции и может быть вычислена как площадь полигона, интерполирующего положение параллелей и меридианов в пределах трапеции.

Для вычисления объема тела, ограниченного двумя поверхностями, например при оценке объемов земляных работ, и цилиндрической поверхностью, имеющей в качестве образующей заданный полигон в плоскости карты, можно воспользоваться представлением поверхностей в виде TIN или GRID моделей.

Объем призмы, имеющей основанием треугольник, может быть вычислен по формуле

$$V = S_{осн}(h_1 + h_2 + h_3)/3, \quad (2.12)$$

где $S_{осн}$ — площадь основания; h_1, h_2 и h_3 — отметки в вершинах треугольника.

Создание моделей поверхностей и анализ растровых изображений. К этому классу относятся модели, построенные по регулярным и нерегулярным точкам, а также модели двух- и трехмерной визуализации, например построение панорамы водосборного бассейна в аксонометрической или иной проекции. Расчет моделей производится по содержащимся в базах данных численным характеристикам. Моделироваться может как действительный рельеф или непрерывное поле (современное или с учетом динамических изменений), так и воображаемые поверхности, построенные по одному или нескольким показателям, например поверхность углов наклона, плотность дорожной сети или водных объектов и т. п.

В модуле для анализа и трехмерного отображения данных «Поверхность», появившемся в MapInfo 5.5 и предназначенном для работы с моделями типа «поверхность», реализованы следующие задачи:

- построение поверхности (матрицы высот) по триангуляционной сети методом Делоне;
- построение двойственной к триангуляции системы планарного разбиения — на базе многоугольников Вороного;
- построение изолиний по поверхностям (изолинии строятся как в виде линий, так и в виде полигонов);
- визуализация данных о значении в узлах поверхности;
- отсечение части поверхности (позволяет отсечь объектом типа «полигон» ненужную часть поверхности);
- построение профилей по поверхности;
- построение профилей по таблице изолиний и точно по точкам пересечения профиля с изолиниями; эта функция позволяет построить профили сразу по нескольким поверхностям;
- вычисление углов наклона к поверхности относимости для каждой точки поверхности;
- расчет зон прямой видимости методами «Из точки наблюдения» и «В точку наблюдения»;
- трехмерная визуализация поверхности, а также по значениям вертикальной компоненты картографических объектов (точек, линий, полилиний и полигонов). Функции настройки вида поверхности: выбор угла наклона, масштаба, способа отрисовки — отмывка, в виде «сеточной модели», рендеринг, настройка цвета и палитры, свойств отображения — коэффициентов рассеивания, отражения и прозрачности, определение точки фокуса, точки наблюдения и угла для отображения поверхности в перспективе;
- арифметические операции с поверхностями. Эта функция позволяет выполнить простейшие операции над таблицами типа «поверхность», которые можно описать следующим образом:

$$GR = G1 \{+, -, *, /\} G2,$$

где G1 = k1 {+, –, *, /} FG1; G2 = k2 {+, –, *, /} FG2; k1 и k2 — коэффициенты; FG1 и FG2 — значения в ячейках таблиц исходных поверхностей (одна из поверхностей может отсутствовать). Результат арифметической операции — новая таблица поверхности со значениями GR в ячейках.

Аналогичный модуль для работы с полями (Грид-темами) в системе ArcView GIS называется Spatial Analyst.

Прежде всего он позволяет преобразовывать любую из векторных тем ArcView GIS (включая темы в формате CAD) в растровый формат грид-темы, а затем использовать все доступные аналитические возможности грид-анализа: создание поверхностей по этим темам, буферизация пространственных объектов, расчет близости

точек пространства к тем или иным объектам и др. Грид-темы могут быть также созданы из растровых изображений стандартных форматов.

Функции расстояний включают расчет как расстояния в метрике географического пространства, так и мер близости в других метриках (расстояние по дорогам, время движения, стоимость перевозок).

По значениям мер близости пространство разделяется на отдельные зоны тяготения к тому или иному центру: например зоны обслуживания населения поликлиниками. Расчет расстояний от одной точки до другой можно осуществить с учетом стоимости передвижения в пространстве. Так, например, свое влияние в оценку расстояний могут вносить характеристики грунтов, почв, рельефа, что позволяет оценить затраты на прокладку дороги или других линейных сооружений. Поверхности «стоимостей» по отдельным показателям могут быть объединены в суммарную поверхность оценки стоимости выполнения работ для выбора оптимальной (наиболее дешевой) стратегии.

Модуль позволяет моделировать поверхность по отдельным точечным данным, интерполировать изолинии, рассчитывая уклоны наклона и экспозиции склонов полученной поверхности.

Функции построения изолиний позволяют интерполировать поверхность и строить изолинии по значениям в отдельных точках с использованием одного из четырех предлагаемых в ArcView GIS методов интерполяции:

- ОВР — обратно взвешенных расстояний (средневзвешенных значений соседних точек по заданному числу соседей или в пределах указанного радиуса);
- сплайн — создание поверхности с минимальной кривизной;
- тренд — подбор наилучшей в смысле некоторого критерия функции с использованием всех входных точек из заданного класса функций, например полиномов заданного порядка. Обычно в качестве критерия выбора используется минимизация суммы квадратов отклонений построенной функции от исходных значений;
- кригинг — многоступенчатый подбор математической функции для заданного числа точек или для точек в пределах заданного радиуса для распространения зависимостей на все точки.

В модуль включены разнообразные функции вычислений и анализа по грид-поверхностям. Функции этой группы позволяют проводить вычисления: уклонов, экспозиции склона, освещенности рельефа при регулируемых азимуте и высоте взгляда (отмывки), кривизны поверхности, а также определять зоны видимости из одной или нескольких точек наблюдения.

Любая из грид-тем может быть представлена в более удобном виде с помощью возможности классификации и переклассифика-

ции грид-тем. Для растровых слоев существует два типа классификации: равноинтервальная или по стандартному отклонению от среднего. Количество классов задается пользователем. Можно провести переклассификацию в грид-теме или присвоение новых значений.

Любая из грид-тем может визуально получить объем за счет использования значений другой грид-темы (например, рельефа), в качестве показателя, который определяет высоту ячейки. Это полезно для наглядного отображения зависимостей между данными двух тем.

Особую группу представляют функции статистического анализа грид-тем. Например, можно получить сведения о максимальном и минимальном значениях, а также о стандартном отклонении, что весьма полезно при выборе типа классификации и количества классов.

Для сравнения нескольких грид-тем имеются функции поэлементных арифметических, логических операций и операций отношения, которые позволяют определить минимум, максимум, среднее, преобладающее значения.

Функции картографической алгебры позволяют производить расчеты значений ячеек по одной или нескольким грид-темам. Математические операторы включают четыре группы: арифметические (сложение, вычитание, умножение, деление значений грид-тем), логические (проверка значений на соответствие ИСТИНА или ЛОЖЬ), сравнительные (соответствие условию сравнения), бинарные (вычисления бинарных значений) действия. Кроме того, доступны логарифмические, специальные математические (абсолютное значение, целочисленная часть и т.п.), тригонометрические (синус, косинус, тангенс и т.д.) и степенные функции. С помощью этих функций можно, например, определять наиболее подходящие местоположения для различных объектов по сумме факторов, производить прогноз развития процессов, изменяющихся по установленным закономерностям.

Имеются функции пространственного анализа грид-тем, например, можно построить гистограммы распределения значений по ячейкам как по всей теме, так и в пределах произвольно обозначенного на карте района или по определенным зонам другого покрытия. Например, можно подсчитать количество ячеек зоны затопления (или их общую площадь), попадающих в различные виды землепользования (селитебная зона, сельскохозяйственные угодья, транспортные магистрали и т.д.), или проанализировать распределение ячеек разной загрязненности в селитебной или производственной зоне.

В модуле реализованы функции, позволяющие выполнять простые гидрологические расчеты, например, определение направления потока воды, попадающей в ячейку, выделение водосборов и

построение дренажной сети разного порядка. Эти функции полезны, например, при оценке распространения загрязнения с поверхностными водами, оценке запасов вод и опасности наводнений.

В этом же модуле реализованы функции геометрической трансформации, предоставляющие возможности как простого смещения и поворота снимка, так и устранения некоторых погрешностей снимка путем полиномиальной трансформации. С помощью этих функций соседние снимки, например, могут быть подогнаны друг к другу и объединены в единый снимок с учетом зон перекрытия.

Построение буферных зон. Буферные зоны — полигоны, границы которых отстоят на определенное расстояние от границ исходных объектов. Например, при расширении зоны, занятой трубопроводом, для прокладки новой линии, функциями ГИС может быть создана зона отчуждения вокруг реконструированного трубопровода. Буферные зоны могут создаваться для точечных, линейных и площадных объектов. Во многих случаях расстояние от границы объекта до полигона может зависеть от атрибутивных данных, например, длины реки или численности населения города. В некоторых случаях в ГИС предусмотрено построение сразу нескольких буферных зон разных радиусов.

Так, Мастер построения буферных зон в ArcView GIS позволяет выполнить настройку следующих параметров:

- темы, для объектов которой строятся буферные зоны;
- объектов (всех или выделенных), для которых выполняется построение;
- варианта построения (заданного радиуса, радиус определяется заданным полем таблицы данных, несколько зон или колец заданных радиусов);
- характеристик выбранного варианта;
- размерности характеристик;
- вида соединения зон для отдельных объектов (без объединения, с объединением);
- способа отображения буферных зон (показывать в активном виде, создать новый вид);
- пути и имени файлов для сохранения результатов.

В Мастере системы MapInfo Professional дополнительно указывается, какое расстояние следует использовать (на сфере или на плоскости), а также каким многоугольником интерполировать окружности буферной зоны, например, двенадцатиугольником.

Оверлейные операции. Суть этого достаточно мощного средства анализа множества разноименных и разнотипных по характеру локализации объектов состоит в наложении двух разноименных слоев (или множества слоев, большего двух, при многократном повторении операции попарного наложения) с генерацией производных объектов, возникающих при их геометрическом наслоении и наследованием их семантики (атрибутов). Наиболее практи-

чески важен и распространен случай оверлея двух полигональных слоев. Возникающие при этом вычислительные трудности связаны с большими затратами машинного времени на поиск координат всех пересечений, образующих полигоны линейных сегментов (возрастающих экспоненциально при росте числа полигонов), восстановление топологии полученной производной полигональной сети при так называемом топологическом оверлее и присвоения им атрибутов с вполне очевидной разницей в «механике» наследования атрибутов качественного (символьного) или количественного (числового) типов. Причем в алгоритмах операции наложения могут присутствовать логические операции типа AND, OR, XOR (исключающее «или») и NOT.

Сетевой анализ. Сетевой анализ позволяет пользователю решать различные задачи на пространственных сетях связных линейных объектов (реки, дороги, трубопроводы, линии электропередач и т. п.). В описании каждого вида сетей наблюдается много общего, но имеются и некоторые различия. Транспортные сети представляют собой различные классы дорог, объединенные вместе перекрестками. Авиалинии и пути движения судов похожи на дорожные сети, однако их положение не имеет строгой координатной привязки к поверхности. Электрические сети, прежде всего, характеризуются наличием в них различных типов кабелей, а сети трубопроводов для поставок воды, нефти или газа — диапазоном диаметров труб, типами станций и т. п.

В классическом представлении сеть считается набранной из линий, которые могут иметь не более двух общих точек с другими линиями — начала и конца. Точку соединения принято называть узлом. Однако далеко не всегда такое представление является естественным, часто оно затрудняет общее представление и анализ. Так, например, в сетях водопроводов труба большого диаметра с серией труб малого диаметра, отходящих от нее, будет представлена как серия секций трубы большого диаметра, разделенных узлами в местах соединения с трубами малого диаметра. В то же время ее удобнее было бы трактовать как единое целое, и, наконец, при незначительной длине трубу большого диаметра можно считать узлом, из которого выходят трубы малого диаметра. В зависимости от трактовки результаты анализа могут значительно различаться.

Другим важным фактором, определяющим сеть, является способ соединения ее элементов. Во всех типах сетей встречаются два типа соединений — «из/в» и «из/через».

Первый тип соединения относительно прост и встречается чаще. Он характерен, например, для водных потоков различных порядков.

Второй тип означает, что объект А соединяется с В через промежуточный С. Такой тип соединения характерен для электриче-

ских сетей. Например, серия кабелей подходит к узлу, серия кабелей выходит из него, однако не все кабели соединяются со всеми. Этот тип соединения нельзя описать конструкциями первого типа.

Учет типов сетей и особенностей их соединений обязателен при проведении анализа, иначе трудно правильно интерпретировать полученные результаты.

Математически сети описываются теорией графов, а решение многих сетевых задач дает линейное программирование.

Обычно сетевой анализ служит для нахождения ближайшего, наиболее выгодного пути определения уровней нагрузки на сеть, для установления зон влияния на объекты сети других объектов. Типичной задачей может быть, например, составление перечня улиц, жители которых отправляют своих детей в одну из наиболее близко расположенных школ. Критериями, позволяющими определить зоны влияния в этом случае, могут служить расстояние до школы, безопасность пути, интенсивность движения транспортных средств, количество школьников, которых школа может вместить, и т. п.

С участками сети обычно связывают понятие направления движения, данные о котором хранятся в БД, связанной с сетью. Другими данными, относящимися к сети, могут быть интенсивность потока, его временны́е интервалы и т. п.

Обычно функции сетевого анализа реализуются в дополнительных к полнофункциональным ГИС-модулях. Для системы ArcView GIS это модуль Network Analyst, для GeoMedia Professional — GeoMedia Network.

Модуль Network Analyst предлагает дополнительные функции к ArcView GIS для анализа линейных сетевых тем, таких, как дороги, линии коммуникаций, городские улицы, реки и др.

Среди решаемых задач можно выделить следующие:

- поиск ближайшего пункта обслуживания (центра, предоставляющего определенные услуги);
- разработка кратчайшего маршрута (с учетом направлений движения, ограничения передвижения по дорогам и другие правила дорожного движения);
- подготовка маршрутного листа передвижения (маршрут может быть разработан как для проезда из одной точки в другую, так и для посещения нескольких мест — задача коммивояжера. Подготовленный маршрутный лист может быть сохранен в обычном текстовом файле и при необходимости выведен на печать. Маршрутный лист передвижения может включать названия начального и конечного пунктов, длину или время перемещения по каждой из улиц, подробное описание ориентиров, полное или краткое название улиц или дорог);
- определение зон обслуживания (доступности) позволяет найти ареалы зон, равноотстоящих от любых пунктов или центров,

расположенных на сети. Равноотстояние может определяться расстоянием или временем перемещения.

Для правильной работы с сетями они должны быть снабжены дополнительной информацией: об одностороннем движении вдоль дорог, наличии или отсутствии запретов поворотов и съездов с автострад, участках дорог в тоннелях и на мостах и т. п. Если пункты движения будут указываться адресами, то линейная сеть должна быть подготовлена к геокодированию, т.е. улицы иметь названия, начальные и конечные номера домов по четной и нечетной сторонам.

На сетях решаются и другие транспортные задачи, например задачи диспетчеризации или контроля и управления движением нескольких подвижных объектов. Как правило, положение объектов в этом случае определяется с помощью приемников систем глобального позиционирования, которыми оснащены подвижные объекты. Информация о местоположении передается по телекоммуникационным каналам на диспетчерский пункт, где обрабатывается и используется для принятия управленческих решений. Такими пунктами оснащены службы спасения, службы инкассации, службы контроля за рыболовецкими судами и даже служба контроля за работой зерноуборочных комбайнов, например при губернаторе Ульяновской области.

Штурманские навигационные системы устанавливаются не только на морских судах и самолетах, но и в большинстве современных элитных автомобилей.

Агрегирование данных. Агрегирование данных предполагает переход к собирательным, обобщенным характеристикам объектов, сгруппированным по различным критериям.

Первый способ группировки — объединение объектов одной темы в соответствии с их размещением внутри полигональных объектов другой темы.

В системе MapInfo Professional из таких агрегированных данных могут быть созданы новые типы объектов — Группы точек и Коллекции. Группы точек объединяют точечные объекты.

Объект «Коллекция» может включать объекты разных типов локализации — точечных, линейных и площадных, которые становятся одним объектом. Например, так могут быть объединены в один все водные объекты Карельского перешейка — ключи, реки и озера, которые образуют систему Вуокса.

Второй способ группировки — объединение объектов по равенству значений определенного атрибута. Например, если выполнена оценка состояния инженерных коммуникаций в микрорайонах города, то можно составить карту районирования территории по этому показателю, выполнив агрегирование данных. Если два соседних микрорайона имеют один уровень состояния, то они будут объединены, а общая граница между ними удалена. Атрибутивная

информация объединяемых районов также агрегируется — в зависимости от вида атрибута может вычисляться суммарное значение, среднее или средневзвешенное, максимальное или минимальное.

Одним из вариантов агрегирования является функция MapInfo Professional «Оконтуривание объектов». Эта функция создает выпуклую оболочку вокруг выделенного объекта или объектов. Атрибутивные данные при этой процедуре не объединяются. Выпуклая оболочка может быть одна для всех выделенных объектов или для каждого объекта своя.

Зонирование. Основное назначение функций этой группы состоит в построении новых объектов — зон, т.е. участков территорий однородных в смысле выбранного критерия или группы критериев. Границы зон могут либо совпадать с границами ранее существовавших объектов (задача определения (нарезки) избирательных округов по сетке квартального деления), либо строиться в результате различных видов моделирования (зоны экологического риска). Типичные задачи этого типа — выделение зон различной степени проходимости, экологического риска, зонирование урбанизированных территорий по транспортной доступности, построение зон обслуживания поликлиник и т.д. Работа может проводиться как с растровыми, так и с векторными моделями. Расчеты осуществляются как по одной, так и по группе характеристик и могут быть обобщены по заданным пользователем критериям.

Операция построения районов может выполняться и полностью вручную (например, в MapInfo Professional). Эта функция позволяет создавать новые районы, перепланировать существующие и т.д. Например, можно осуществить построение избирательных округов или зон обслуживания поликлиник из единиц административного деления. При выполнении этой операции автоматически пересчитываются обобщенные числовые характеристики для всех районов, например число избирателей или детей школьного возраста. Это позволяет учесть множество сложно формализуемых критериев.

Операции зонирования могут быть основаны на формальных методах кластерного анализа в пространстве признаков и перенесении результатов кластеризации в географическое пространство (см. 2.2.2). Например, в результате раскопок скифских курганов археологами было найдено значительное число кинжалов, которые отличались по размеру и пропорциям отдельных частей. Кластеризация с использованием алгоритма с условным названием «Плесень» позволила, с одной стороны, выделить устойчивые группы объектов в пространстве признаков, а с другой — проследить слияние этих групп при изменении параметра, определяющего близость объектов. Перенесенные на карту результаты кластеризации позволили подтвердить гипотезу археологов о связях отдельных племен.

Специализированный анализ. Далеко не все ГИС снабжены возможностями специализированного анализа, например, ориентированного на вопросы собственно экологии, геологии или географии. Связано это с тем, что четкой схемы проведения таких работ не существует и организации, занимающиеся ими, предпочитают производить анализ по собственным методикам и правилам. Работа со специфическими данными является характерной чертой этого типа анализа. Кроме того, нельзя не учитывать, что взгляды на приемы его ведения могут меняться с течением времени. Поэтому такие возможности в ГИС зачастую дополняются средствами создания приложений самими пользователями. Однако некоторые фирмы, такие, как Intergraph Corp., ESRI, Inc., предоставляют пользователям возможность укомплектовать систему фирменными модулями, реализующими специализированные анализы, в частности геологический и геофизический, гидрогеологический, экологический и др. В пакет фирмы Intergraph Corp., посвященный геологическому анализу, входят: работа с сейсмическими данными, анализ геологического разреза, интерпретация геофизических данных и т. п.

Рассмотрим методы пространственного анализа, применяемые в науках о Земле, которые пользователь ГИС в настоящее время не сможет реализовать, используя средства известных ГИС. Их набор нельзя определить однозначно. Исследователи обычно сами, в зависимости от целей, отбирают свою группу методов, система которых, на их взгляд, дает достаточно полную реализацию целей пространственного анализа. В целом же наиболее широко используются разработки, базирующиеся на математической статистике. На них приходится не менее 80 % всех специализированных алгоритмов. Вначале специалистам, занимающимся наукой о Земле и обществе, — экологам, географам, геологам, почвоведам, экономистам и другим, было достаточно простого статистического анализа пространственно-распределенных данных — вычисление средних квадратических отклонений, дисперсии, коэффициентов вариации, оценки согласия распределений с помощью критериев Пирсона (χ^2), А. Н. Колмогорова, расчеты прямолинейной и нелинейной корреляции, корреляционных отношений, различных видов регрессий и др. Несколько позднее они обратились к дисперсионному и дискриминантному анализу, а также к анализу временны́х рядов.

Но особенно широкое распространение получили статистические модели снижения размерности многомерных массивов географических данных — факторный анализ и метод главных компонент. Например, только в книге В. М. Жуковской и И. Б. Мучника [1976] приводятся десятки направлений применения данных методов. Не менее популярны алгоритмы классификации географических объектов на основе комплексов характеризующих их показателей, которые будут рассмотрены в следующем подразделе.

Среди всего многообразия алгоритмов встречаются как неконтролируемые (называемые также автоматическими, или «без учителя»), так и контролируемые («с учителем») классификации, которые позволяют «обучать ЭВМ» на отобранных эталонах любым принципам группировки изучаемых объектов с последующей дифференциацией всей их совокупности по тем же критериям, которые могут быть даже интуитивными, неформализованными. В географии все модели классификации (как неконтролируемые, так и контролируемые) разделяются на подвиды. Так, для типологии географических объектов по комплексу показателей пригодны модели, учитывающие гомогенность объединяемых в одну группу территориальных единиц. Для оценочной классификации наряду с условием гомогенности необходима иерархическая упорядоченность между собой формируемых групп.

В некоторых случаях типологические, или оценочные, характеристики служат основой для районирования. «Районирование отличается от географической дифференциации тем, что оно означает "разбиение" целого на целостные же части, объединяемые взаимными связями... В отличие от ареала район внутренне неоднороден, так как для него всегда характерна та или иная внутренняя территориальная организация, тогда как для ареала типично лишь состояние внутренней однородности» [Ю. Г. Саушкин, 1973. — С. 415]. Районирование до последнего времени выполнялось вручную на уровне логических обобщений, формализовать весь комплекс которых пока не представляется возможным, но отдельные требования легко выполнимы. Так, уже давно созданы алгоритмы, выполняющие условия выделения территориально нерасчлененных группировок территориальных единиц с использованием матриц соседства.

Достаточно широко распространилось имитационное моделирование. Хорошим и простым примером может служить имитация развития системы населенных мест [И. С. Матлин, 1971]. В основу эксперимента закладывались правила развития системы и на ЭВМ «проигрывались» пути их реализации с помощью алгоритма статистических испытаний (метода Монте-Карло). Результат, полученный И. С. Матлиным, не только имитирует сеть поселений, но и подчеркивает их иерархию, связанную с основным положением теории центральных мест.

Можно привести ряд других примеров, связанных с имитацией пространственного распространения болезней, эпидемий и т. п. Для этих целей применяются различные модели: от имитации эпидемии простыми гравитационными моделями, созданными по аналогии с моделями тяготения Ньютона [В. С. Тикунов, 1981, 1997], до использования систем обыкновенных дифференциальных уравнений, имитирующих пространственно-временно́е распространение эпидемий. Однако наиболее часто для этих целей применяется метод Монте-Карло.

Метод Монте-Карло заключается в следующем. Исследуемое явление представляется как некая абстрактная система, которая может находиться в нескольких различных состояниях. При этом считается, что нахождение системы в каком-либо из состояний случайно и вероятность этого факта подчиняется определенному закону распределения, который характеризует как саму систему, так и связи между различными ее состояниями. С помощью таблиц случайных чисел или датчиков псевдослучайных величин моделируются конкретные реализации состояний для исследуемой системы. Обрабатывая полученную таким образом информацию о системе методами математической статистики, получают требуемые численные результаты.

Широко используются оптимизационные модели. Часто применяется транспортная задача линейного программирования. В этом случае решается проблема минимизации издержек по перевозке продукции из множества источников в ряд мест назначения. Также широко применяются модели для оптимизации размещения производства, сетей школ и т.д., велик круг примеров оптимизации трасс перемещений между центрами (см., например, [П. Хаггет, 1968]).

Последним, на что следует обратить внимание, является разработка так называемой географизированной математики. В этой перспективной области исследований также прежде всего стали разрабатываться проекты «пространственной статистики» [Ж. Матерон, 1968; Л. И. Василевский, П. М. Полян, 1977; D. S. Neft, 1966; D. A. Griffith, 1987], учитывая неприспособленность традиционной статистики для учета взаиморасположения явлений в пространстве.

Можно привести еще ряд методов, перспективных для экологических и географических исследований. Здесь рассмотрим лишь пять таких методов, каждый из которых обладает широкими возможностями в области формализации и моделирования.

1. Метод размытых (нечетких) множеств — метод «размытой» классификации, в которой каждый из показателей характеризуется различной степенью принадлежности ко всем классам. В широком смысле применим для моделирования процессов взаимодействия в условиях размытости географического пространства.

2. Метод нейронных сетей — самообучающая система, позволяющая классифицировать многомерные явления при недостаточной, а в ряде случаев и искаженной информации. Метод позволяет выделить и моделировать различные ситуации, оценивать время их «жизни» и давать прогностическую картину развития.

3. Метод теории хаоса — позволяет определить, насколько хаотичное поведение отдельных звеньев пространственных структур способно повлиять на пределы нормальных вариаций их параметров.

4. Метод теории катастроф — один из основных для изучения прерывных изменений, качественных скачков, позволяет оценить не только стабильность форм, но и их появление, развитие и исчезновение.

5. Метод фрактального анализа — удобный инструмент для описания и моделирования географических процессов и явлений, порождающих структуры, обладающие в полной мере свойствами самоподобия и представляющие сходные закономерности в различных пространственных и временны́х масштабах.

Рассмотрим перечисленные методы более подробно.

Размытые (нечеткие) множества. Оперирование понятием размытого множества открывает широкий и общий подход к анализу и решению задач, в том числе задач принятия решений. Прежде всего, это задачи классификации, в которых основным является понятие размытого отношения сходства. В географической и экологической литературе неоднократно указывалось на целесообразность применения классификаций с использованием методов теории нечетких множеств. Эта теория, предложенная Л. А. Заде [L. A. Zadeh, 1965] и развитая другими авторами, предполагает возможность относить территориальные единицы не просто к одному из классов (как стандартные алгоритмы многомерных классификаций), а одновременно к нескольким классам с различными функциями принадлежности (в случае переходного характера единиц). Такая классификация целесообразна, когда в действительности границы между классами имеют нечеткий, переходный характер, что должно учитываться при математическом моделировании и соответствующим образом отражаться на картах. Размытость границ иногда рассматривается как их общее свойство [А. М. Трофимов, Н. М. Солодухо, 1986; C. Rolland-May, 1987].

Отметим, что нечеткость может проявляться и без явного использования теории нечетких множеств, в рамках существующих традиционных для экологии и географии подходов. Нечеткость системы может проявляться при:

- ее описании в процессе постановки задач и целей классификации;
- выборе системы показателей, ее характеризующей;
- подборе алгоритмов классификации;
- выборе результатов многовариантной классификации;
- подборе способов представления конечного результата;
- оценке степени соответствия полученного результата поставленной цели и интерпретации полученных выводов [В. С. Тикунов, 1989].

Другого рода задачи возникают при определении рациональных схем размещения производства. Эти оптимизационные по своему характеру задачи в ряде случаев удается свести к задачам так называемой условной классификации, в которых классы выделяются с учетом предварительно сформулированных требований. Этот

принцип классификации близок к «ядерному»; его особенность в том, что «ядра» (либо операционно-территориальные единицы — ОТЕ) задаются как некоторые абстракции, как комбинация условий. Характерным при решении этого типа задач является оперирование понятием размытых множеств, описывающих условия производства и размещения. Как размытая классификация может быть сформулирована также задача измерения соответствия факторов производства реально сложившейся ее структуре.

Наибольшие возможности размытый анализ представляет при решении задач поиска компромиссных состояний пространственно-координированных систем. К этому типу можно свести все задачи, так или иначе связанные с согласованием несовпадающих интересов элементов геосистем, что определяет весьма широкий диапазон возможностей размытого анализа: процессы взаимодействия природы и общества, комплексного прогнозирования, регулирование развития городов, систем расселения и т. д.

Методы теории размытых множеств представляются в настоящее время одним из многообещающих инструментов пространственного анализа и решения прикладных задач [А. М. Трофимов, Н. М. Солодухо, 1986; C. Rolland-May, 1987; В. С. Тикунов, 1989 и др.]. Это обусловлено, прежде всего, спецификой пространственных систем; по всем критериям — это некорректно определенные системы с размытыми, как правило, границами и нечетким характером многих отношений, реализуемых на множестве элементов. Именно поэтому возможности строгих формальных методов для решения многих таких задач весьма ограничены и на передний план выступает полуформальный аппарат, в котором содержательные аспекты анализа часто оказываются доминирующими по сравнению с вычислительными приемами и способами.

Приведем в качестве примера одну из возможных нечетких постановок задачи оптимального развития и размещения отрасли [Р. Г. Хузеев, 1988].

Пример. Пусть: U — множество всех возможных пунктов размещения предприятий отрасли;

A_1 — нечеткое множество пунктов, обладающих благоприятными транспортными условиями;

A_2 — нечеткое множество пунктов, удобно расположенных по отношению к источникам сырья;

A_3 — нечеткое множество пунктов, в которых размещение новых предприятий желательно (например, в целях увеличения занятости населения), и т. д.

Подобным образом можно учесть практически все условия и факторы, влияющие на территориальную организацию рассматриваемой отрасли: наличие трудовых ресурсов и их структуру, возможности привлечения их со стороны, условия энерго- и водоснабжения, климатические условия, экологические требования и т. п.

Каждое из множеств A_i характеризуется функцией принадлежности $\mu_{A_i}(U)$ с областью значений [0,1]. Эти значения указывают на степень принадлежности элемента нечеткому множеству A_i. Существенно то, что элементы нечетких множеств в общем случае принадлежат или не принадлежат им только частично, т.е. функция $\mu_{A_i}(U)$ может принимать не только значения 0 или 1, но и все дробные значения из интервала [0,1].

Пусть, далее, известна функция

$$f(Z) : U - V,$$

описывающая результат выбора конкретного элемента (или группы элементов Z) из U, где V — множество всех возможных исходов.

Одной из наиболее простых интерпретаций функции f является величина затрат, связанных с размещением новых и реконструкцией существующих предприятий в выбранных пунктах.

Пусть нечеткое множество B описывает требование удовлетворения спроса на продукцию отрасли, а C — есть нечеткое множество «не очень больших затрат» на строительство и реконструкцию предприятий отрасли. Множество C фактически описывает цель задачи.

Тогда, как следует из работы Л. Заде [1976], решение задачи есть нечеткое множество с функцией принадлежности:

$$\mu_A \cap B \cap f^{-1}(C),$$

где $A \approx A_1 \cap A_2 \cap \ldots \cap A_n$; f^{-1} — функция, обратная к f.

Приведенная нечеткая постановка задачи не является единственно возможной. Это лишь иллюстрация. Цель и условия постановки задачи могут быть описаны и другими нечеткими множествами.

По аналогичному принципу можно сформулировать также нечеткие задачи развития и размещения сельскохозяйственного производства, оптимизации территориальных систем обслуживания и другие задачи социальной, экономической и комплексной географии.

Более широким приложением аппарата нечетких множеств является исследование процессов взаимодействия в географических системах. Процессы эти сложны и недостаточно изучены. Существуют также сложности при описании процессов и получении их количественных характеристик. Другой предпосылкой использования нечеткого подхода для анализа взаимодействий (особенно социально-экономических) объектов является то, что они, как и связанные с ними процессы функционирования, часто непредсказуемы в полной мере, так как сильно зависят от решений, принимаемых человеком.

Одним из подходов к моделированию функционирования и взаимодействия в системе может быть следующий [Р. Г. Хузеев, 1979].

Функция системы разлагается на элементарные функции. Под элементарной понимается функция, описываемая одной лингвистической переменной, т.е. переменной, значениями которой являются отдельные слова или выражения, которые, в свою оче-

редь, можно интерпретировать как нечеткие переменные. Нечеткая переменная характерна тем, что областью ее изменения является нечеткое множество. Тогда любой элемент изучаемой территориальной системы может быть описан набором векторов. Каждый из этих векторов соответствует некоторой элементарной функции, выполняемой элементом, а компонентами являются значения нечетких переменных, соответствующих этой функции.

По такому же принципу можно описать и взаимодействие элементов между собой. В результате будет получено описание функционирования элементов и их взаимодействия в процессе этого функционирования, т.е. будет получено описание функционирования системы в целом.

Математическое описание метода и его интерпретацию в рамках задач приложения можно найти в работе Л. Заде [1976].

Нейронные сети. Каждая точка пространства имеет собственные, нередко уникальные характеристики. Это зачастую приводит к определенным сложностям в выработке региональной политики регулирования и управления. Она должна быть направлена на сглаживание территориальных, социальных, экономических, экологических и других противоречий.

Одним из наиболее перспективных подходов к построению реальной дифференцированной региональной политики является ситуационный подход, позволяющий выделить на территории региона участки, имеющие на данный момент сходные комплексные характеристики — географические ситуации, или геоситуации.

Геоситуационный анализ — особый сложный и комплексный вид исследования [А. М. Трофимов, Е. И. Игонин, 2001]. Это многомерный анализ, учитывающий историческую ретроспективу, современное состояние взаимосвязи и взаимодействия множества факторов — природных, экономических, социальных, экологических, политических, национальных и т. п. Ни один из существующих методов не в состоянии формализованно описать структуру, логику и приемы этого анализа. Только мощное развитие вычислительной техники позволило вывести из небытия адекватный метод поддержки геоситуационной концепции — метод нейронных сетей (его активному развитию в свое время мешало отсутствие быстродействующей вычислительной техники с большими базами данных).

Основы теории нейронных сетей были заложены в 60-е годы XX в. Свое название получили из-за сходства принципов функционирования с устройством простейших форм восприятия у человека.

При начальной разработке нейронных сетей были использованы труды крупнейшего психолога XIX в. Н. Н. Ланге, который подробно описал процесс восприятия человеком явлений внешнего мира.

Нейронные сети были созданы таким образом, что имитировали человеческий процесс восприятия, удовлетворяя при этом

двум основным условиям: 1) наличию строго упорядоченной системы признаков относительно порядка их восприятия и 2) возможности специфического усиления признаков любой ступени восприятия.

Основным препятствием к активному использованию нейросетей, как уже отмечалось, было недостаточное развитие электронно-вычислительных средств и несовершенные алгоритмы «обучения». Ситуация изменилась лишь в 80-е годы в связи с появлением принципов «обучения» нейросетей.

В общем случае нейронная сеть $G(X, F)$ состоит из множества узлов (нейронов) (X), которые являются носителями сети, а также множества связей между ними (F).

Узел (нейрон) X_i, который является элементом множества нейронных узлов, имеет выход и множество входов, определяющих величину потенциала U_i на выходе узла (нейрона) X_i. Связи соединяют выход одного узла (нейрона) со входом других нейронов и характеризуются весовыми коэффициентами $W_{i,j}$, имеющими смысл проводимости от i-го узла к j-му.

Если $W_{i,j} > 0$, то связь называется возбуждающей, а если $W_{i,j} < 0$ — тормозной [А. И. Казаков, 1979].

Главным отличием метода нейронных сетей от других статистических методов классификации является большое количество степеней свободы, позволяющее получать очень точные расчеты, а также способность к самообучению. Эта способность выражается в том, что все нейронные сети имеют свойство корректировать собственную структуру и процессы вычисления с учетом поступающих новых данных. Достоинством метода является его способность к построению удовлетворительных моделей по сильно искаженным и неполным данным.

В основе метода нейросетей лежит самоорганизующийся алгоритм, выполняющий проекцию в субпространство, покрытое разрозненной решеткой формальных нейронов. Алгоритм устанавливает соответствие между исходными данными и состоянием нейронной сети. Эта процедура обеспечивает нелинейное выравнивание и двухмерную версию вводного пространства [H. Ritter, 1988].

Самоорганизующийся алгоритм состоит из двух шагов, многочисленные итерации которых приводят к упорядочиванию входных данных:

1. Для входного вектора (Y) отыскивается нейрон, чья активность максимальна.

2. Для каждого нейрона вводится понятие окрестности, введенное Кохоненом [T. Kohonen, 1984]. Размер окрестности (количество входящих в нее нейронов) изменяется, уменьшаясь в процессе обучения. Данное свойство является наиболее существенным для данного алгоритма, отличая его от традиционных методов классификации. В окрестности нейрона, чья активность максимальна,

весовые векторы (W_i) двигаются в направлении вектора ввода (Y) согласно уравнению:

$$W_i(t + 1) = W_i(t) + a(t)(x(t) - W_i(t)), \text{ если } i \in [V_i, l(t)],$$

либо

$$W_i(t + 1) = W_i(t), \text{ если } i \notin [V_i, l(t)]. \quad (2.13)$$

В приведенных уравнениях функция $[V_i, l(t)]$ контролирует размер окрестности нейронов, а $a(t)$ устанавливает амплитуду весовых изменений. Обе эти функции уменьшаются во времени (t).

Многочисленные итерации этих двух шагов создают организованную сеть, где веса упорядочены и входное пространство представлено количественно.

Когда алгоритм сойдется, каждый объект классификации (ОТЕ), представленный вектором признаков $Y(k)$, адресуется к нейросети и нейрон, чья активность максимальна, сопоставляется данному объекту (ОТЕ).

В качестве обучающего набора метод нейронных сетей использует те признаки объекта, по которым необходимо провести классификацию. Число признаков (переменных) теоретически может быть велико, но при решении практических задач обычно не превышает 15—20 переменных.

Процесс классификации объектов на основе метода нейронных сетей включает ряд этапов.

Первый этап — этап предпроцесса — состоит в нормировании переменных «обучающего» набора. При операции нормирования используются стандартные показатели и их статистические характеристики. Данная процедура означает, что для каждой нормированной переменной показатель средней арифметической равен нулю, а показатель вариации близок к единице. Этап предпроцесса важен для выравнивания значимости (нагрузки) переменных.

На втором этапе осуществляется нормирование базы данных, состоящей из признаков изучаемых объектов. В результате получают нормированную матрицу показателей.

Третий этап заключается в непосредственном применении метода нейронных сетей к нормированной матрице. Результатом этапа служит разбиение объектов на классы, количество которых обычно задается заранее.

Последним этапом исследования является содержательная интерпретация полученных результатов. Это наиболее ответственный этап [F. Blayo, 1997].

В силу особенностей метода и его разрешающей способности нейронные сети широко стали использоваться в географических исследованиях по функциональной классификации городов [M. Buscema, 1996], для выделения экономических ситуаций глобального масштаба [F. Blayo, 1997], для средств геоситуационного

моделирования [А. М. Трофимов, О. В. Пьянова, 1998], для территориального выделения социально-экономических ситуаций [О. В. Пьянова, 1998] и для решения многих других многомерных задач большой сложности. Вопросы интеллектуализации ГИС на основе нейронных сетей будут рассмотрены в 4.2.

Теория хаоса. В рамках пространственного анализа важное место занимает теория хаоса. Однако она находится еще в стадии разработки, появляются лишь отдельные аспекты теории; методическое обоснование также разработано недостаточно.

В настоящее время экология и география располагают лишь концептуальными наработками в этой области, ибо теория хаоса, разрабатываемая в строгих, формализованных науках, не отличается идентичностью по отношению к многогранным, многомерным, многомасштабным комплексным наукам — экологии и географии. Однако именно с этой теорией, как предполагают исследователи, связаны узловые методологические проблемы, такие, как однородность — неоднородность, устойчивость — неустойчивость, иерархичность — неиерархичность, саморазвитие — ориентированное развитие и т. п.

Эти фундаментальные проблемы имеют самое прямое отношение к экологии и географии. В этой связи экологи и географы стали проявлять интерес к понятию хаоса; особенно в связи со стремлением описать и понять организацию пространства на многофакторном уровне.

Применение понятия хаоса наиболее подробно рассмотрено в типологии пространственных конфигураций. Однако необходимо иметь в виду ряд ограничений эвристической ценности понятия хаоса: во многих динамических моделях не проявляются хаотические ситуации.

Один из наиболее известных специалистов в этой области Дж. Филлипс [J. D. Phillips, 1992] пришел к выводу о том, что для многих физико-географических процессов характерны сложность, нелинейность и нестабильность. Однако в процессах, происходящих на земной поверхности, признаки хаоса обнаруживаются только в исключительных случаях. А в климатологии, геофизике они не редкость и особенно характерны для социально-экономических явлений.

Математическая теория хаоса может быть эффективно использована в сфере исследования динамики связей геофизических объектов. Важной проблемой является выяснение того, насколько хаотичное поведение отдельных звеньев территориальных структур способно повлиять на пределы нормальных вариаций их параметров. Заслуживают внимания также поиски средств избежания хаотических отклонений в функционировании больших систем, что может быть обусловлено ошибками и задержками в ходе передачи информации.

Хаос — скопление элементов без динамических связей; возможны лишь контакты соседства, в том числе хаос блоков.

Хаос — неотъемлемое фундаментальное свойство материи. В социально-экономических системах динамическое развитие всегда включает «островки хаоса». Хаос и упорядоченность — два крайних полярных состояния организации среды. Частным случаем проявления хаотического режима является кризис или кризисное состояние, приводящее порой к катастрофе. Исходной базой их развития (а также и хаоса в целом) является состояние риска.

В настоящее время существуют два основных подхода к изучению сущности риска. В первом случае риск понимается как вероятность опасных природных воздействий на человека и (или) техносферу. Это так называемый природный риск. Во втором случае риск рассматривается как вероятность необратимых неблагополучных последствий антропогенной деятельности для окружающей среды.

Существующий подход обеспечения абсолютной безопасности человека, связанный с введением пределов допустимых концентраций вредных веществ на основе представлений о пороговом характере их действий, имеет слабые стороны (например, несовершенство представлений о пороговом характере взаимодействия и, следовательно, невозможности достижения полной безопасности и др.). По этой причине концепция абсолютного риска заменяется концепцией приемлемого риска, т.е. такого его уровня, который мог бы быть оправдан с позиции экономических, социальных, экологических и иных факторов. Порог хаотичности в этом случае повышается.

Согласно современным представлениям, развитие окружающего мира исходит из положения, что в «глубинах природы господствует хаос, имеющий поистине фундаментальный характер, в то время как порядок царит лишь поверх хаоса — как его ограничение» [Г.Дж.Сариев, 1986. — С. 155]. Поэтому общую ориентацию развития окружающей среды определяет ограничение, запрет.

Всеобщим явлением в пространстве, подчеркивающим целостность геообразований, является наличие связей, взаимодействий. Через них и проявляется принцип запретов. Дело в том, что взаимодействие есть ограничение на возможное разнообразие поведения геобъектов. Однако, запрещая одни типы поведения, взаимодействие может оставлять возможным целый спектр линий поведения. Этим объясняется многообразие форм реализации. Окружающая среда — это пространство, в котором действует множество запретов. Чтобы в нем произошло некоторое определенное событие, необходимо (и достаточно), чтобы оно не нарушило ни один из существующих запретов.

Таким образом, явления хаоса и запретов сложно взаимосвязаны. Прямой связи здесь нет; нет и соответствия между рядом запретов и формой (формами) проявления хаоса. Оно может быть очень сложным: протекание процесса и форма его реализации в

пространстве не однозначны. Поэтому существенной проблемой в теории хаоса является моделирование этой сложной взаимосвязи в рамках пространственного анализа.

Если рассматривать проблему хаоса в глобальном масштабе, то необходимо отметить, что сама история человечества отмечена веками хаоса. По мнению О.Доллфуса [O.Dollfus, 1990], хаос в процессе своего развития заполняет пространство, ограниченное рубежами государства (в системе принципов запретов — это внешний запрет). Возникает так называемый «ограниченный хаос». Эти ситуации хаоса, хоть и частично, но тем не менее связаны с функционированием мировой системы. Ограниченный хаос 80-х годов имел место в государствах ограниченных размеров. Возможно, что в первых десятилетиях XXI в. в условиях хаоса будет проживать от 1 до 3 млрд чел., если эти ситуации распространятся на наиболее населенные страны мира.

Теория катастроф. Теория катастроф возникла на базе исследований Р.Тома в области топологии и дифференциального анализа, а позднее была дополнена работами Х.Уинти по теории особенностей гладких отображений, а также А.Пуанкаре и А.Андропова по теории бифуркации динамических систем.

Появление ее было оценено как «революция» в математике, так как теория давала общий метод для изучения прерывных изменений, качественных скачков. В ее поле зрения попали такие катастрофы, при которых непрерывное изменение в причинах порождало резкое (прерывное) изменение в результатах.

Теория катастроф использует математический аппарат, однако не является частью собственно математики, так как претендует на осмысление сущностных характеристик реальности. В программу теории входят разработки математических моделей, позволяющих оценить не только стабильность форм, но и их появление, развитие и исчезновение. Морфологические процессы исследуются, не прибегая к специальным свойствам субстрата форм или к природе действующих сил. Эта теория развивается как феноменология: она интерпретирует данные морфологии такими, какими они являются, не сводя их к элементарным процессам. Теоретическое основание универсальности теории катастроф — принцип независимости формы по отношению к субстрату. Она ориентирована на понимание реальности: раскрывает динамические ситуации, управляющие эволюцией естественных явлений, человека и общества.

Математическое обоснование теории доступно изложено в работе В.И.Арнольда [1990]. Другое дело, что для пространственного анализа важнейшим является ее модификация для задач территориального аспекта, что можно связать с общим понятием территориальных катастроф. Важнейшим здесь выступают особенности самого процесса, где необходимым является комплексный подход и моделирование.

Основываясь на представлении о территориальной катастрофе как очень сложном процессе, предполагается подход к концептуальному обоснованию математического и связанного с ним компьютерного моделирования катастроф. В основе этого подхода лежит представление о территориальной катастрофе как динамическом процессе, порожденным взаимодействием динамически изменяющихся распределений вещества, энергии и информации по территории, которые в процессе своего взаимодействия приходят в такое состояние, после которого распределение резко изменяется, порождая ряд новых распределений последствий катастроф.

Устойчивая структура геосистем характеризуется распределенной неоднородностью, и в основе своей содержит локальные неоднородности — геоситуации. Именно им принадлежит исходная роль преобразования структуры. Они несут в себе разрушительный заряд, который может быть весьма значительным.

Рассматривая функции (то, что задается системе свыше, т.е. то, что она должна выполнять по заданию свыше, более высокой по уровню иерархии системой) и интересы (то, что система может выполнить, исходя из своих имманентных возможностей) геосистем в самом общем смысле, можно отметить, что они не всегда совпадают. Чем меньше совпадают между собой функции и интересы, тем выше напряженность складывающейся структуры. Если эта напряженность ниже некоторого критического уровня, существующие структуры функционируют более или менее успешно и являются некоторым компромиссом между носителями противоречивых интересов. Однако когда уровень напряженности достигает критических значений и прежний компромисс становится неприемлемым, происходит смена одних структур другими. Если эта смена приобретает характер быстрого и неуправляемого разрушения прежних структур, при котором интересы природных и социально-экономических образований могут пострадать сколь угодно сильно, то процесс можно квалифицировать как катастрофу.

Говоря о критическом пороге напряженности структур, за которым следует катастрофа, необходимо отметить следующее. Поскольку именно определенный уровень напряженности структуры выступает в качестве пускового механизма катастрофы, логично считать, что каждая структура даже самая благополучная несет в себе «зародыш» катастрофы. Дело в том, что любая структура, являясь результатом компромисса между несовпадающими интересами, обладает определенным, но всегда ненулевым уровнем напряженности, способным по тем или иным причинам достигать критических значений. Рост напряженности может происходить с различной скоростью, но всегда в течение некоторого периода, что дает основание говорить о существовании кризисных ситуаций, которые можно рассматривать в качестве «размытых» временны́х границ между катастрофами и «некатастрофами».

Катастрофы отличаются от равномерного развития быстротой реализации, ограниченностью распространения в пространстве, непредсказуемостью траектории процесса и положения области будущего равновесия и др. Ю. Г. Пузаченко [1992] считает, что катастрофы или неравновесные нестационарные процессы являются необходимыми для функционирования любой сложной системы. Поэтому можно говорить о смене во времени и в пространстве двух типов процессов — равновесных и неравновесных. Социальные системы, которые сами пытаются осознать собственную деятельность, могут быть уверены в неизбежности собственной катастрофы, но не могут с необходимостью для надежного управления однозначно предсказать их исходы.

Комплексное решение всех поставленных проблем означало бы формирование теории пространственных катастроф, цели которой состоят в разработке теоретических основ, принципов и методов предотвращения территориально оформленных (т.е. имеющих пространственные границы) экологических или географических катастроф, а также способов оценки и смягчения их последствий в случае, когда они все же произошли.

Фрактальный анализ. Исследователями было обращено внимание на тот факт, что очень часто выводы, полученные на основании одного масштаба, оказываются действенными и при другом. Попытки решения проблемы оценки сохранности инвариационных характеристик при переходе от одного масштаба к другому предпринял П. Хаггет [1968].

Для оценивания этих представлений существенное значение имеет феномен фрактальности, выражающий результат постоянного (регулярного) процесса, порождающего нерегулярные формы. Фрактальность выражается в отсутствие масштабной независимости результатов измерения.

Большинство пространственных процессов характеризуется устойчиво-неустойчивым динамическим состоянием. В представлении о разномасштабности регулярно-нерегулярных форм проявления при их фиксации в процессе перехода из одного масштаба в другой хаотические проявления приобретают некоторый особый содержательно-информационный смысл; он не может быть проанализирован и изучен с помощью только традиционных методов анализа. При картографировании эти хаотические формы приобретают особый топологический смысл, описываемый с помощью фрактальной геометрии.

По определению Б. Мандельброта [B. B. Mandelbrot, 1983], объект будет являться фрактальным, если его размерность по Хаусдорфу — Бэзиковичу, т.е. фрактальная размерность превышает топологическую размерность, являясь, таким образом, нецелым числом.

Термин «фрактал» образован от латинского fractus, а соответствующий глагол означает прерывать, создавать нерегулярные дробления.

«Фрактальное множество» — это математическое понятие, а «естественный фрактал» — это природный феномен, который может быть представлен фронтальным множеством.

Методический аспект проблемы изложен в работе Л. Н. Васильева [1992].

Фрактальный анализ уже нашел широкое применение в метеорологии и климатологии; были показаны проявления самоподобия в картографии, при изображении рельефа, в структурах информационных систем. Им пользуются градостроители для анализа различных сторон городских структур и т. п. Все большее значение он начал завоевывать в социально-экономическом аспекте пространственного анализа, т. е. его адекватными задачами являются: собственно пространственный анализ (в его самом широком понимании), моделирование пространственно-временны́х структур, уточнение границ (при переходах к разным масштабам), поиск устойчивых и неустойчивых областей и зон, генерализация.

Фракталы — это математические объекты, имеющие дробную размерность, в отличие от традиционных фигур целой размерности. Многие структуры обладают фундаментальным свойством геометрической регулярности, известной как инвариантность по отношению к масштабу, или самоподобие. Если рассматривать эти объекты в различном масштабе, то постоянно обнаруживаются одни и те же фундаментальные элементы, которые определяют дробную или фрактальную размерность структуры.

Фрактальная геометрия описывает пространственные формы точнее и лучше, чем евклидова геометрия, позволяя учитывать фактор случайности, хаотичности, непредсказуемости при моделировании. Фрактальность представляет собой удобный инструмент для описания и моделирования процессов и явлений, порождающих структуры, обладающие в полной мере свойствами самоподобия и представляющие сходные закономерности в различных пространственных и временны́х масштабах.

В основе фрактального анализа лежат два главных критерия его применимости к изучаемым объектам: самоподобие, или инвариантность по отношению к масштабу, и наличие фрактальной размерности.

Центральным показателем аппарата фрактального анализа является фрактальная размерность объекта исследования. Существует много способов определения фрактальной размерности, применение которых обусловливается спецификой поставленной задачи. Все они основываются на уже имеющихся методах, принадлежащих другим наукам, но определяющим те или иные черты пространственно-временно́й структуры объекта исследования. В частности, для географических работ социально-экономической ориентации приемлем метод определения фрактальной размерности с помощью вариаграммного анализа [Е. М. Пудовик, 1997].

Таким образом, фрактальный анализ может быть использован как метод выделения важных структурных особенностей исследуемых систем. Фрактальность дает единицу измерения для характеристики всех типов иерархически организованных систем и позволяет перейти к динамике, когда модели роста фракталов используются для имитации развития структурных объектов.

Контрольные вопросы

1. Перечислите группы функций, присутствующих в большинстве коммерческих ГИС.
2. Назовите два основных подхода к описанию пространственной информации в ГИС.
3. На какие вопросы позволяет ответить представление качественных характеристик в номинальной шкале? В ранговой шкале?
4. Перечислите основные операции при работе в ГИС с базами данных атрибутивной информации.
5. Какие пространственные операторы можно использовать в Мастере построения запросов в системе GeoMedia Professional?
6. Какие методы перехода к дискретной шкале количественных признаков предлагаются в Мастере тематического картографирования ArcView GIS?
7. Настройка каких способов картографического изображения реализована в Мастерах тематического картографирования в системах ArcView GIS и MapInfo Professional?
8. Какие операции ввода и редактирования объектов реализованы в ArcView GIS? Как вычисляются атрибуты создаваемых объектов при выполнении операций редактирования?
9. Какие операции системы MapInfo Professional позволяют создавать топологически корректную информацию?
10. Что понимается под операцией геокодирования в ГИС?
11. Каково назначение операции построения буферных зон? Какими параметрами буферных зон позволяет управлять Мастер построения буферных зон системы ArcView GIS?
12. Какие объекты в ГИС представляются сетями? Какие задачи чаще всего решаются в ГИС при сетевом анализе?
13. В чем разница между двумя сетевыми задачами: «Нахождение кратчайшего маршрута» и «Нахождение оптимального маршрута»?
14. Какие формальные процедуры могут быть использованы при решении задач зонирования и районирования в ГИС?
15. Перечислите функции картографической алгебры.
16. В решении каких задач используют цифровые модели рельефа?
17. Какие геометрические условия определяют основные свойства аффинного и проективного преобразований?
18. В чем основные отличия локальных и глобальных преобразований?
19. Какой подход позволяет уменьшить количество реализованных алгоритмов при создании блока, выполняющего все возможные пересчеты из проекции в проекцию для перечня проекций, используемых в ПО ГИС?
20. К каким проблемам приводит использование различных эллипсоидов при создании карт? Как эти проблемы разрешаются в ГИС?

2.2.2. Классификации

Ранее мы уже касались вопросов классификации. Учитывая их важность во всех науках о Земле, в том числе экологии и географии, в этом подразделе рассмотрим методы классификации более подробно.

Объектом классификации, как правило, являются ОТЕ — операционно-территориальные единицы [А. М. Трофимов и др., 1985. — С. 13]. В качестве ОТЕ могут выступать, например, административно-территориальные единицы, населенные пункты, ячейки регулярной или нерегулярной сетки, наложенной на исследуемую территорию, ячейки растра (см. 3.1). Обозначим все множество ОТЕ символом $O = \{o_1, ..., o_N\}$, где o_i — i-я ОТЕ; N — количество ОТЕ.

Целью классификаций является получение некоторого заранее заданного или незаданного количества групп ОТЕ (классов ОТЕ). В пределах каждого класса ОТЕ должны быть максимально «похожи» друг на друга в некотором смысле, однородны, а ОТЕ из разных классов — максимально «отличаться». Синонимами группы и класса являются также понятия кластера и таксона, а методы получения классов называют методами классификации, кластер-анализа (кластерного анализа), числовой таксономии или распознавания образов.

В пространственном отношении ОТЕ описываются различными показателями и метриками, основными из которых можно считать способы расчета расстояния между ОТЕ (т. е. коэффициентов «сходства» или «отличия» ОТЕ). Помимо географического пространства, исследуемая совокупность ОТЕ фиксирована и в пространстве M атрибутивных показателей (или в пространстве M атрибутивных признаков). В этом пространстве ОТЕ теряют свою географичность и независимо от своей первоначальной природы становятся M-мерными точками.

Результатом нахождения ОТЕ в каждом признаковом пространстве является одно из двух представлений.

1. Представление исходных ОТЕ в виде матрицы ОТЕ-признак, отражающей измерение M признаков на N ОТЕ и содержащей N строк и M столбцов:

$$X = \begin{pmatrix} o_1 \\ \dots \\ o_N \end{pmatrix} = (o^{(1)}, ..., o^{(M)}) = \begin{pmatrix} o_1^{(1)} & \dots & o_1^{(j)} & \dots & o_1^{(M)} \\ o_2^{(1)} & \dots & o_2^{(j)} & \dots & o_2^{(M)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ o_{N-1}^{(1)} & \dots & o_{N-1}^{(j)} & \dots & o_{N-1}^{(M)} \\ o_N^{(1)} & \dots & o_N^{(j)} & \dots & o_N^{(M)} \end{pmatrix}, \quad (2.14)$$

где $o_i = (o_i^{(1)}, ..., o_i^{(M)})$ — i-я ОТЕ в M-мерном пространстве признаков; $o^{(j)}$ — j-й признак; $o^{(j)} = (o_1^{(j)}, ..., o_N^{(j)})^T$; $o_i^{(j)}$ — значение j-го признака на i-й ОТЕ; $i \in \{1, ..., N\}$, $j \in \{1, ..., M\}$.

скан
страницы
отсутствует

скан
страницы
отсутствует

альных единиц, ландшафтов) типов на практике используют следующие виды расстояний.

1. ОТЕ точечного типа.

1.1. Кратчайшее расстояние $g_1^{\bullet}$ между двумя точками в двумерном евклидовом пространстве.

1.2. Кратчайшее расстояние $g_2^{\bullet}$ между точками, вычисленное по графу (или нескольким графам) дорожной сети (автомобильные и железные дороги, морские и воздушные пути) с учетом стоимости перемещения по каждому виду дорожной сети и каждому ее участку.

1.3. Географическая смежность точек $g_3^{\bullet}$. Для формирования расстояния типа смежности для ОТЕ точечного типа необходимо задаться некоторым порогом $c \in R^+ = (0, +\infty)$ и, например, расстоянием типа $g_1^{\bullet}$:

$$g_3^{\bullet}(o_i, o_j) = \begin{cases} 1, & g_1^{\bullet}(o_i, o_j) < c, \\ 0, & g_1^{\bullet}(o_i, o_j) \geq c. \end{cases} \qquad i, j \in \{1, \ldots, N\}.$$

2. ОТЕ полигонального типа.

2.1. Любой вид расстояния между двумя представительными точками ОТЕ-полигона (например, столица региона, геометрический центр региона и т.д.), т.е.

$$g_i^{\Diamond} = g_i^{\bullet}, \quad i \in \{1, 2, 3\}.$$

2.2. Кратчайшее расстояние $g_4^{\Diamond}$ между ОТЕ-полигонами (т.е. минимальное евклидово расстояние между любыми двумя точками ОТЕ-полигонов).

2.3. Географическая смежность полигонов.

Расчет расстояний между ОТЕ в признаковом пространстве. Расстояние между ОТЕ в пространстве показателей характеризует сходство или различие ОТЕ между собой [С.А.Айвазян и др., 1989. — С. 147]. Каждому типу шкал, в котором измерены признаки, соответствует свой способ расчета расстояния.

Для расчета расстояния на M количественных признаках существует наиболее общее соотношение, называемое метрикой махалонобисского типа. Частными случаями расстояния махалонобисского типа являются:

- обычное евклидово расстояние

$$d_e(o_i, o_j) = \sqrt{\sum_{x=1}^{M} (o_i^{(x)} - o_j^{(x)})^2}; \qquad (2.16)$$

- манхэттенское расстояние

$$d_{cb}(o_i, o_j) = \sum_{x=1}^{M} \left| o_i^{(x)} - o_j^{(x)} \right|. \qquad (2.17)$$

В качестве меры близости ОТЕ в пространстве числовых признаков может также использоваться коэффициент корреляции, вычисленный для ОТЕ.

Расстояния между ОТЕ, помещенными в пространство с порядковыми признаками, чаще всего основаны на различных коэффициентах ранговой корреляции. Главными из них являются коэффициенты ранговой корреляции Спирмена и Кендалла.

Расстояние между ОТЕ, характеризующимися номинальными признаками, обычно рассчитывают как количество совпадений или несовпадений значений признаков для двух ОТЕ:

$$d_{cnt}(o_i, o_j) = \sum_{k=1}^{M} I(o_i^{(k)} \neq o_j^{(k)}), \quad d_{cnt}(o_i, o_j) \in \{0, \ldots, M\}, \qquad (2.18)$$

где

$$I(o_i^{(k)} \neq o_j^{(k)}) = \begin{cases} 1, & o_i^{(k)} \neq o_j^{(k)}, \\ 0, & o_i^{(k)} = o_j^{(k)}. \end{cases}$$

Для получения расширенного перечня способов задания расстояний между объектами в признаковом пространстве можно обратиться к специальной литературе по методам анализа данных [например, С.А.Айвазян и др., 1985; 1989].

Расчет расстояний между классами в географическом и признаковом пространствах. Способы вычисления степени «близости» классов (расстояния между классами D) иногда называются стратегиями объединения классов и обычно рассчитываются в признаковом пространстве. Они особенно важны в иерархических процедурах классификации, всегда основываются на расстоянии d между отдельными ОТЕ двух классов и могут определяться различным образом. Пусть

$D : S \times S \to R$ — функция расстояния между классами, определенная на всех парах классов из S;

$S_i = \{o_{i1}, \ldots, o_{iN_i}\}$ — i-й класс, D_i — число ОТЕ в i-м классе, $i \in \{1, \ldots, K\}$.

Ниже приведены наиболее известные виды расстояния между классами (способы задания функции D).

1. Метод ближнего соседа. Расстояние между двумя классами рассчитывается как расстояние между двумя ближайшими ОТЕ этих двух классов:

$$D_{\min}(S_i, S_j) = \min\{d(o_{ix}, o_{jy}) \mid o_{ix} \in S_i,\ o_{jy} \in S_j\}. \qquad (2.19)$$

В качестве недостатка метода можно отметить тот факт, что при наличии в выборке из N ОТЕ аномальных наблюдений (т.е. таких, которые существенно отличаются по своим значениям показателей от остальных ОТЕ) они будут помещены в отдельные классы. Основная же группа ОТЕ «сольется» в один большой класс.

2. Метод дальнего соседа. Расстояние между двумя классами рассчитывается как расстояние между двумя самими дальними ОТЕ этих классов:

$$D_{\max}(S_i, S_j) = \max\{d(o_{ix}, o_{jy}) \mid o_{ix} \in S_i,\ o_{jy} \in S_j\}. \qquad (2.20)$$

Данный метод более устойчив к аномальным наблюдениям при использовании в агломеративном алгоритме. Кроме того, получаемые с его помощью классы обычно соразмерны (т.е. число ОТЕ в них примерно одинаково).

3. Центроидный метод. Расстояние между двумя классами рассчитывается как расстояние между центрами классов:

$$D_{cen}(S_i, S_j) = d(\bar{o}_i, \bar{o}_j), \qquad (2.21)$$

где

$$\bar{o}_i = \frac{1}{N_i}\sum_{x=1}^{N_i} o_{ix} = \frac{1}{N_i}\sum_{x=1}^{N_i} o_{ix}^{(1)}, \ldots, \frac{1}{N_i}\sum_{x=1}^{N_i} o_{ix}^{(M)}.$$

4. Метод группового среднего (средней связи). Расстояние между двумя классами рассчитывается как среднее расстояние между ОТЕ двух классов:

$$D_{avg}(S_i, S_j) = \frac{1}{N_i N_j}\sum_{x=1}^{N_i}\sum_{y=1}^{N_j} d(o_{ix}, o_{jy}). \qquad (2.22)$$

Функционалы качества классификации. Функционал качества классификации — отображение множества всех возможных систем классов на действительную прямую:

$$Q : \Theta \to R,$$

где Θ — множество всех возможных систем классов.

Часто используют ограниченную функцию качества, т.е. задают

$$Q : \Theta \to [0, 1] \subset R \quad \text{или} \quad Q : \Theta \to [0, 100] \subset R.$$

Функционалы качества разбиения исходного множества ОТЕ на классы используются, в частности:

- для оценки объективного количества классов;
- для сравнения схем классификаций, полученных с использованием различных алгоритмов, и выбора наилучшей из них;
- для непосредственного использования в иерархических процедурах классификации в качестве расстояний.

Наиболее часто применяются следующие два способа расчета качества классификации (при заданном числе классов K).

1. Сумма попарных внутриклассовых расстояний:

$$Q_1 = \sum_{i=1}^{K}\sum_{x=1}^{N_i-1}\sum_{y=x+1}^{N_i} d(o_{ix}, o_{iy}). \qquad (2.23)$$

Данный функционал идентичен функционалу суммы попарных межклассовых расстояний

$$Q_2 = \sum_{i=1}^{K-1} \sum_{j=i+1}^{K} \sum_{x=1}^{N_i} \sum_{y=1}^{N_j} d(o_{ix}, o_{iy}), \tag{2.24}$$

так как суммирование межклассовых и внутриклассовых расстояний дает сумму расстояний между всеми парами ОТЕ:

$$Q_1 + Q_2 = \text{const} = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} d(o_i, o_j). \tag{2.25}$$

Отличие в использовании Q_1 и Q_2 заключается в том, что Q_1 необходимо минимизировать (т.е. добиваться максимального сходства ОТЕ в пределах класса), а Q_2 — максимизировать (т.е. добиваться максимального различия классов между собой). Кроме того, иногда величины Q_1 и Q_2 нормируют их суммой, получая таким образом безразмерные или процентные величины:

$$Q_1' = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} \in [0, 1] \quad \text{или} \quad Q_1'' = 100 \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} \in [0, 100],$$

$$Q_2' = \frac{Q_2}{Q_1 + Q_2} \in [0, 1] \quad \text{или} \quad Q_2'' = 100 \frac{Q_2}{Q_1 + Q_2} \in [0, 100].$$

Переход к процентному представлению значений функционала качества позволяет сравнивать на предмет лучше-хуже схемы классификации для разных групп ОТЕ или для различных периодов времени.

2. Сумма внутриклассовых квадратов отклонений ОТЕ от средних

$$Q_3 = \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{N_i} d^2(o_{ij} - \bar{o}_i), \tag{2.26}$$

где

$$\bar{o}_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} o_{ij} = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} o_{ij}^{(1)}, \ldots, \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} o_{ij}^{(M)}.$$

Поскольку функционал Q_3 означает сумму квадратов разбросов ОТЕ, естественно стремиться к его минимизации, а при переходе к безразмерным величинам нормировать общей суммой квадратов разбросов:

$$Q_3' = \frac{Q_3}{\sum_{i=1}^{N} d^2(o_i - \bar{o})} \quad \text{или} \quad Q_3'' = 100 \frac{Q_3}{\sum_{i=1}^{N} d^2(o_i - \bar{o})},$$

где

$$\bar{o} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} o_i = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} o_i^{(1)}, \ldots, \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} o_i^{(M)}.$$

Краткая характеристика методов классификации. Все возможные типы методов классификации можно подразделить по различным основаниям на некоторые группы. Основаниями для систематизации методов классификаций в экологии и географии чаще всего являются цель классификации, определение класса, наличие обучающей выборки, использование географического пространства, наличие априорной информации о статистических свойствах классов, способ подачи ОТЕ на вход классификатора.

По цели чаще всего выделяют оценочные и типологические классификации. Оценочные классификации необходимы для анализа и сравнения ОТЕ в терминах хорошо-плохо и лучше-хуже, типологические — для выделения некоторых устойчивых типов ОТЕ.

По степени учета географического пространства методы классификации подразделяются на использующие и не использующие его в собственно математических процедурах.

По определению класса методы классификаций бывают обычные и нечеткие. Методы нечеткой классификации определяют вероятность принадлежности ОТЕ к каждому из классов, а не относят ОТЕ однозначно к одному из них.

По наличию обучающей выборки методы классификации подразделяются на методы контролируемой и неконтролируемой классификации, также называемые классификациями «с учителем» и «без учителя» (автоматические классификации).

По наличию априорной информации о статистических свойствах классов возможны параметрические и непараметрические методы классификации. Целью параметрических методов является отыскание неизвестных параметров известных функций распределения ОТЕ в пределах каждого класса и вероятностей появления этих классов. Непараметрические методы обычно разделяют на иерархические и неиерархические, а последние — на эвристические и оптимизационные. Иерархические методы формируют нужное количество классов путем последовательного объединения отдельных ОТЕ или разбиения единственного класса, содержащего все ОТЕ. Эвристические процедуры основаны на интуитивном представлении исследователя о конечной цели классификации. Оптимизационные алгоритмы производят разбиение таким образом, чтобы обратить в максимум выбранный функционал качества.

По способу подачи ОТЕ на вход анализа различают последовательные и параллельные методы классификации.

Последовательные методы просматривают по очереди все ОТЕ один раз, начиная с o_1 и заканчивая o_N. Параллельные процедуры требуют подачи на вход классификатора сразу всех ОТЕ.

Оценочные и типологические классификации. Оценочные классификации используют для получения нескольких классов S_1, ..., S_K, для которых можно сказать, лучше или хуже представители одного класса представителей другого (а иногда и насколько лучше или хуже). Всегда считается, что классы ОТЕ, полученные в результате проведения оценочной классификации, упорядочены специальным образом, т.е.

$$S_1 < S_2 < \ldots < S_K \quad \text{или} \quad S_1 > S_2 > \ldots > S_K.$$

Под обозначением $S_i < S_j$ понимается, что любая ОТЕ i-го класса лучше ОТЕ j-го класса по комплексу показателей. Считается также, что в пределах каждого класса ОТЕ приблизительно одинаково хороши или одинаково плохи (в разрезе проблемы, описываемой показателями).

Обязательным этапом в оценочных классификациях является переход к единственному признаку. Результирующий показатель получают таким образом, чтобы классы ОТЕ с его минимальными значениями могли интерпретироваться как «плохие», а с максимальными как «хорошие», или наоборот. Например, пусть в качестве ОТЕ выступают земельные участки, а в качестве показателей — тип почв, удаленность от водных ресурсов, близость к транспортной сети и т.д. Тогда целевым признаком может быть степень целесообразности постройки жилого дома. В зависимости от значений целевого признака ОТЕ могут разбиваться на три класса: «непригодные для строительства», «приемлемые» и «наилучшие для строительства».

Целью типологических классификаций является получение устойчивых групп ОТЕ в M-мерном признаковом пространстве, т.е. возможных «типов» ОТЕ. В отличие от оценочных классификаций, показатели редко интерпретируются как «хорошие» или «плохие», а результирующие классы могут содержать ОТЕ с «хорошими» значениями по одному показателю и «плохими» по другому. Примером типологической классификации может служить выявление закономерности сочетания тяжелых металлов (свинца, меди, цинка, железа) в культурном лессовом слое городища средневекового Самарканда по четырем этапам VII—VIII, IX—X, XI—XIII и XX вв. н.э. [А.К.Евдокимова и др., 1988]. После проведения типологической классификации специалистами по теме исследования всегда дается содержательная интерпретация каждому классу-типу, т.е. выделяются диапазоны изменения каждого показателя на ОТЕ этого класса.

Нечеткие классификации. Иногда ставится более широкая (по сравнению с уже описанной канонической) задача нечеткой (раз-

мытой) классификации. Этот тип классификации должен применяться, если границы классов имеют размытый, переходной характер. Например, в работе [А. М. Трофимов, Н. М. Солодухо, 1986] отмечено, что «... исходя из принципа комплексности взаимодействия в пространстве частей различной природы, в принципе можно считать, что размытость границы — это ее естественное состояние, тогда как границы ясной и четкой линейной или полосной выраженности представляют собой лишь частный случай проявления граничности геосистем».

Основное отличие нечеткой классификации от канонической состоит в получении не номеров классов для всех ОТЕ, а вероятностей принадлежности ОТЕ к каждому из классов. При необходимости однозначного отнесения ОТЕ к одному из классов (т.е. сведения результатов нечеткой классификации к каноническому случаю) находится тот класс, в котором появление ОТЕ наиболее вероятно.

Использование географического пространства при классификациях. Формирование классов при проведении многих классификаций происходит в общем случае на основе и географического, и атрибутивного признакового пространств. Однако, исходя из степени использования географического пространства, возможны следующие варианты (либо их комбинации, за исключением первого):

- географическое пространство при классификации не используется;
- географическое пространство используется перед проведением классификации при формировании признаков атрибутивного пространства (соответствующие примеры были приведены при обсуждении представления атрибутивного пространства в виде таблицы ОТЕ-признак);
- географическое пространство используется при визуализации хода и результатов классификации (т.е. ход и результаты анализа картографируются);
- географическое пространство представлено матрицей близостей вида ОТЕ-ОТЕ, которая используется алгоритмом классификации вместе с матрицей, представляющей атрибутивное признаковое пространство.

Обозначим, как это было и ранее, матрицы ОТЕ-признак и ОТЕ-ОТЕ для атрибутивного признакового пространства символами X и A соответственно, матрицу ОТЕ-ОТЕ географического пространства — символом G.

Примером географических классификаций является группирование регионов (ОТЕ) по силе связей (наиболее часто — экономических). Целью такой классификации является получение групп, связи между ОТЕ которых максимальны. Географические расстояния здесь задаются отдельной таблицей и являются одним из ви-

дов связей, поскольку могут отражать, например, стоимость перемещения товара из одной ОТЕ в другую.

Еще один вид классификации с использованием матриц сразу двух пространств (причем матрица вида ОТЕ-ОТЕ, представляющая географическое пространство, бинарная) — районирование. Под районированием понимается деление территории на множество непересекающихся целостных районов, представляющих собой компактные сгущения ОТЕ как в географическом, так и в признаковом пространствах [В. И. Бланца, 1993. — С. 3]. В классическом географическом понимании это разделение территории по принципу их различия, непохожести. Матрица расстояний G в данном классе методов представлена таблицей смежности. В терминах районирования синонимом класса с ограничением на его пространственную нерасчлененность является понятие района.

В основе постановки задачи районирования лежит необходимость территориального управления ОТЕ. Ограничением районирования, помимо пространственной нерасчлененности классов, являются также целостность получаемых классов-районов, а возможно и учет прежней административно-территориальной сетки (например, экономических районов, федеральных округов).

Обучающая выборка. При проведении классификаций очень важно максимально использовать при анализе априорную информацию о классах, которые необходимо сформировать. Такой информацией в первую очередь является так называемая обучающая выборка, т. е. множество ОТЕ, для каждой из которых известна ее принадлежность одному из классов.

Обладание обучающей выборкой в большинстве случаев облегчает проведение классификаций и повышает их качество. Она может использоваться для настройки математических моделей — выбора метрики d и показателя качества классификации Q, определения числа классов K, их ядер и т. д. Например, при проведении классификации стран мира по уровню социально-экономического развития, как это описано в работе [В. С. Тикунов, 1997], обучающая выборка состояла из нескольких наиболее типичных стран-представителей каждого класса, что позволило осмысленно с точки зрения географии сформировать классы.

Оценивание истинного количества классов. Очень часто при проведении классификаций необходимо оценивать количество классов, которые необходимо сформировать. Для определения истинного количества классов $K_{ист}$ существует достаточно простой, но широко используемый подход. Этот подход основан на использовании значений функционала качества классификации $Q(K)$, рассчитанного для количества классов $K \in [K_{min}, \ldots, K_{max}]$. Истинное значение $K_{ист}$ лежит сразу после последнего резкого скачка функционала качества $Q(K)$. Это означает, что увеличение количества классов не дает затем существенного прироста в качестве классификации.

При решении конкретной задачи целесообразно задаваться минимально и максимально возможными количествами классов K_{min} и K_{max} (например, $K_{min} = 2$ и $K_{max} = 10$). Чем больше диапазон, тем легче находить $K_{ист}$ и тем больше вычислений придется произвести.

Предварительная обработка данных. Важным этапом классификации ОТЕ является их предварительная обработка, часто включающая нормировку, взвешивание, снижение размерности и агрегирование.

Нормировка показателей. На практике при проведении классификаций очень редко встречаются ситуации, когда анализируемые показатели представлены в одинаковых единицах измерения и масштабе. Существуют специальные термины для обозначения соизмеримых и несоизмеримых систем показателей (моноструктурные и полиструктурные соответственно). Примером моноструктурной системы показателей является процент занятых по разным отраслям промышленности.

Наиболее часто используются следующие виды нормировки.

1. Нормировка по заданному показателю.

В социально-экономической географии чаще всего нормирующим показателем является общая численность населения ОТЕ или площадь занимаемой ОТЕ территории.

Пусть

$o^{(j)}$ — исходный признак, $j \in \{1, \ldots, M\}$,

o^{norm} — нормирующий признак.

Тогда нормировка заключается в пересчете

$$\hat{o}_i^{(j)} = \frac{o_i^{(j)}}{o_i^{\text{norm}}} \quad \forall i \in \{1, \ldots, N\}. \tag{2.27}$$

Примеры нормировки по заданному показателю:

- показатель плотности населения (нормировка численности населения ОТЕ площадью, занимаемой ОТЕ);
- процент голосов, отданный на выборах за какую-либо политическую партию (нормировка числа проголосовавших за партию в данной ОТЕ общим числом избирателей);
- валовой внутренний продукт страны (ВВП) на душу населения (нормировка ВВП общим числом граждан; в качестве ОТЕ выступают страны мира).

2. Нормировка по заданным значениям осуществляется по общей формуле

$$\hat{o}_i^{(j)} = \frac{o_i^{(j)} - \Delta_1}{\Delta_2} \quad \forall j \in \{1, \ldots, M\}, i \in \{1, \ldots, N\}. \tag{2.28}$$

В качестве Δ_1 в числителе выступает число, отклонения от которого наиболее интересны; Δ_2 представляет величину разброса значений ОТЕ по заданному показателю. Ниже приведены наиболее

известные разновидности нормировки по заданным значениям (случаи 2.1 и 2.2).

2.1. Нормировка по дисперсиям и математическим ожиданиям.

Целью данной нормировки является приведение каждого показателя к стандартному виду (в результате математическое ожидание любого показателя становится равным нулю, а дисперсия — единице).

Пусть

$\bar{o}^{(j)} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} o_i^{(j)}$ — оценка математического ожидания j-го показателя,

$\mathrm{var}(o^{(j)}) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(o_i^{(j)} - \bar{o}^{(j)})^2$ — оценка дисперсии j-го показателя.

Тогда нормировка заключается в пересчете

$$\hat{o}_i^{(j)} = \frac{o_i^{(j)} - \bar{o}^{(j)}}{\sqrt{\mathrm{var}(o^{(j)})}} \quad \forall j \in \{1, \ldots, M\}, i \in \{1, \ldots, N\},$$

т.е.

$$\Delta_1 = \bar{o}^{(j)}, \quad \Delta_2 = \sqrt{\mathrm{var}(o^{(j)})}. \tag{2.29}$$

2.2. Нормировка по наилучшим или наихудшим значениям [В.С.Тикунов, 1985].

Целью данной нормировки является перевод показателя в проценты отклонений от заданного наилучшего или наихудшего значения c. Пусть

$$o_{\min}^{(j)} = \min\{o_i^{(j)} \mid i \in 1, \ldots, N\},$$

$$o_{\max}^{(j)} = \max\{o_i^{(j)} \mid i \in 1, \ldots, N\},$$

$$c \in [o_{\min}^{(j)}, o_{\max}^{(j)}].$$

Тогда нормировка заключается в пересчете

$$\hat{o}_i^{(j)} = \frac{o_i^{(j)} - c}{o_{\max}^{(j)} - o_{\min}^{(j)}} \quad \forall j \in \{1, \ldots, M\}, i \in \{1, \ldots, N\},$$

т.е.

$$\Delta_1 = c, \quad \Delta_2 = o_{\max}^{(j)} - o_{\min}^{(j)}. \tag{2.30}$$

Часто (не всегда) в качестве c берут максимальные или минимальные значения j-го показателя $o_{\max}^{(j)}$ или $o_{\min}^{(j)}$. Допустим, максимальное значение показателя до нормировки соответствовало наилучшей ситуации в ОТЕ (например, ожидаемой продолжительности жизни). Если нормировать показатель по максимальному значению, то нулю будет соответствовать наилучшее значение, единице — наихудшее.

Полученные в результате нормировки по наилучшим или наихудшим значениям $o_i^{(j)}$ ограничены отрезком [0,1]. Иногда в формулу нормировки вводят умножение на 100, изменяя диапазон значений на отрезке [0,100].

В ряде случаев требуется нормировать показатели по наилучшим или наихудшим условным значениям. Например, для оценок заболеваемости теоретически наилучшее значение — нуль, т.е. можно положить $c = 0 \notin [o_{\min}^{(j)}, o_{\max}^{(j)}]$. При этом следует изменить знаменатель в формуле нормировки:

$$\Delta_2 = \begin{cases} c - o_{\min}^{(j)}, & \text{если } c > o_{\max}^{(j)}, \\ o_{\max}^{(j)} - c, & \text{если } c < o_{\min}^{(j)}, \\ o_{\max}^{(j)} - o_{\min}^{(j)}, & \text{если } c \in [o_{\min}^{(j)}, o_{\max}^{(j)}]. \end{cases} \qquad (2.31)$$

Взвешивание показателей. Процесс получения весов для показателей необходим для корректного проведения классификаций. Зачастую, по аналогии с различными единицами измерения показателей, различны и их вклады, значимость для данной предметной области. Исследователь, например, может включить в число показателей анализа первостепенные и второстепенные, а для различия степени их влияния на конечный результат уменьшить влияние второстепенных показателей, «взвешивая» их. Такое взвешивание может заключаться в делении уже нормированного показателя $j \in \{1, \ldots, M\}$ на какое-либо число $t \in R$, т.е. присвоении показателю веса $\omega_j = \frac{1}{t}$.

При типологических классификациях знак веса никак не влияет на результат анализа, поскольку исходный показатель можно умножать на –1. В случае использования показателей для проведения оценочных классификаций их знаки могут оказаться решающими. Так, взвешивание может заключаться только в домножении некоторых показателей на –1, чтобы увеличение значений любого из них сигнализировало бы или об улучшении, или об ухудшении ситуации в рассматриваемой ОТЕ.

Способы получения объективных весов для показателей различны. Наиболее часто используется экспертный метод, при котором специалист или их группа в конкретной предметной области оценивает важность каждого показателя. Существуют также и так называемые аналитические методы. Проблема взвешивания показателей в географических исследованиях обсуждается в работе [В.С.Тикунов, 1997].

После нахождения вектора весов $\omega = (\omega_1, \ldots, \omega_M)$ он применяется либо к матрице ОТЕ-признак, либо используется при расчете расстояний между ОТЕ в признаковом пространстве.

Анализ главных компонент. Анализ главных компонент, или компонентный анализ, — один из наиболее часто используемых методов снижения размерности. Данным методом решается задача отыскания на основе существующей системы атрибутивных признаков, описывающих ОТЕ, новой системы со следующими свойствами:

- признаки новой системы являются линейными комбинациями признаков исходной системы;
- количество признаков в новой системе в общем случае не больше, а на практике всегда меньше числа признаков в исходной системе;
- признаки новой системы ортогональны, т.е. не коррелированы;
- признаки новой системы упорядочены в порядке убывания дисперсии;
- признаки новой системы несут столько же информации (или наперед заданный процент информации, например 90 %) об изменчивости объектов, сколько и исходные признаки. Под информацией понимается дисперсия признаков.

Метод главных компонент следует применять для исправления искаженного взаимными корреляциями исходного пространства признаков, снижения объемов хранящихся данных без потери существенной части информации об ОТЕ, визуализации ОТЕ в пространстве признаков (что достигается, например, изображением ОТЕ в виде точек на плоскости первых двух главных компонент) и выявления латентных (т.е. скрытых, не наблюдаемых в явном виде) показателей, отражающих суть процесса или явления.

В матричной форме результат работы метода главных компонент записывается в следующем виде:

$$Z = XL \quad \text{или} \quad Z_{N\times m} = X_{N\times M} L_{M\times m}, \tag{2.32}$$

где M — количество исходных признаков; m — количество полученных главных компонент, $m \le M$; $Z = Z_{N\times m} = (z^{(1)}, \ldots, z^{(m)})$ — матрица новых признаков (как и в исходной матрице, признаки расположены по столбцам); $X = X_{N\times M} = (o^{(1)}, \ldots, o^{(M)})$ — исходная матрица ОТЕ-признак; $L = L_{M\times m} = (l^{(1)}, \ldots, l^{(m)})$ — вычисленная матрица компонентных нагрузок.

Наиболее просто воспринимается геометрическая интерпретация метода главных компонент. В многомерном пространстве признаков ОТЕ рассматриваются как точки, геометрическая структура облака которых в случае нормального распределения напоминает M-мерный эллипсоид. За новые признаки принимаются главные оси воображаемого эллипсоида, отсортированные в порядке уменьшения дисперсий ОТЕ по осям.

Применение метода главных компонент в качестве предварительного этапа классификации описано в подразд. 3.1 «ГИС и дис-

танционное зондирование». Компонентный анализ является не единственным методом снижения размерности. В качестве примеров других распространенных методов снижения размерности можно отметить факторный анализ, многомерное шкалирование и метод экстремальной группировки признаков.

Агрегирование. Агрегирование в наиболее простой интерпретации является одним из методов перехода от множества исходных показателей к единственному, по которому следует различать ОТЕ. В общем случае методы агрегирования оперируют показателями, измеренными в различных шкалах, и служат для получения иерархии признаков.

Агрегирование очень часто используется в географических и экологических исследованиях, поскольку позволяет получать оценочные классификации по многим показателям. Чаще всего результирующий показатель получают таким образом, чтобы ОТЕ с его минимальными значениями могли интерпретироваться как «плохие», а с максимальными — как «хорошие» (в разрезе проблемы, описываемой показателями), или наоборот.

Ограничимся рассмотрением двух наиболее часто используемых методов, которые позволяют получить единственный результирующий признак $o^{(\mathrm{agr})} = (o_1^{(\mathrm{agr})}, \ldots, o_N^{(\mathrm{agr})})$ путем:

- суммирования значений предварительно нормированных и взвешенных показателей, т.е.

$$o_i^{(\mathrm{agr})} = \sum_{j=1}^{M} o_i^{(j)};$$

- расчета расстояний до наилучшей или наихудшей (возможно условной) ОТЕ o', т.е.

$$o_i^{(\mathrm{agr})} = d(o_i, o').$$

В первом случае нормировка показателей может производиться и по дисперсиям, и по наилучшим (наихудшим) значениям. Важно, чтобы после нормировки бóльшие (меньшие) значения всех показателей указывали на лучшую (худшую) ситуацию в ОТЕ, или наоборот. Если нормировка производилась по дисперсиям (и соответственно направление признаков не учтено), необходимо домножить, например, группу негативных признаков на –1. Метод главных компонент для «исправления кривизны» признакового пространства здесь применяться не может, так как полученные главные компоненты могут не быть в общем случае интерпретируемыми в терминах хорошо-плохо.

Второй метод подразумевает образования (N+1)-й условной ОТЕ o', показатели которой являются наилучшими (наихудшими). Вектор $o' = (o'_1, \ldots, o'_M)$ покоординатно необходимо дописать в матрицу ОТЕ-признак. Далее показатели можно (и нужно) нормировать, взвешивать, проводить компонентный анализ. После этого и

рассчитываются расстояния от (N+1)-й условной ОТЕ o' до всех остальных ОТЕ и формируется новый признак. Большие значения этого признака сигнализируют о худшей (лучшей) ситуации в ОТЕ по комплексу исходных показателей.

Можно заметить, что второй метод сводится к первому при нормировке по наилучшим (наихудшим) значениям, без применения метода главных компонент, и использовании манхэттенского расстояния d (т.е. первый метод — частный случай второго).

Методы классификации, основанные на описании классов ядрами. «Ядерные» методы нацелены на выявление сгущений ОТЕ в признаковом пространстве и ранее носили чисто эвристический характер, так как понятие компактности ОТЕ в признаковом пространстве не было формализовано. Для ряда эвристических процедур с развитием теории были найдены функционалы качества разбиения на группы и тем самым формализовано соответствующее им понятие компактности [С.А.Айвазян и др., 1989. — С. 217]. В соответствии с этим алгоритмы классификации, основанные на описании классов ядрами, подразделяют на эвристические и оптимизационные. Кроме того, методы можно разделить по способу подачи ОТЕ на вход алгоритма. Если ОТЕ подаются по одному (последовательно), то соответствующие процедуры называются последовательными. Если на вход алгоритмов подаются сразу все ОТЕ, то они называются параллельными. Преимуществом последовательных процедур является высокая скорость работы, параллельных — независимость получаемой классификации от порядка ОТЕ в исходном множестве O.

Под ядром класса подразумевается некоторая реально существующая или условная наиболее «представительная» ОТЕ, весь комплекс характеристик которой является эталоном данного класса. Часто алгоритмы, основанные на описании классов ядрами, используют процедуру классификации ОТЕ к ядрам по минимальности расстояний:

- задаться метрикой d;
- найти ядра классов;
- классифицировать все ОТЕ к ядрам по минимальности расстояния до них.

Для нахождения ядер обычно используют обучающую выборку, по которой находят геометрические центры классов, или применяют специальные формальные процедуры.

Некоторые эвристические подходы к выбору ядер. Некоторые эвристические формализованные процедуры выбора ядер классов известны уже более двух десятков лет [В.С.Тикунов, 1978].

Во-первых, отыскивать ядра классов можно исходя из принципа их максимальной гетерогенности. Например, в качестве первых двух ядер можно выбрать две ОТЕ, наиболее отличающиеся между собой по комплексу показателей. Далее, если уже имеется (K–1)

ядер, в качестве K-го ядра выбирается ОТЕ, наиболее отличающаяся от (K–1) ядер.

Другой принцип формирования ядер основывается на выделении максимально гомогенных классов ОТЕ. При выборе ядер классов необходимо, чтобы при отнесении к ним оставшихся ОТЕ по минимальности расстояния (и получении таким образом системы классов) используемый функционал качества классификации Q достигал своего экстремума (максимума или минимума, в зависимости от интерпретации функционала качества).

Еще одним «ядерным» эвристическим алгоритмом является метод последовательного выделения ядер. В основе этого метода лежит предположение о том, что классы находятся друг от друга на некотором расстоянии c, превышающем внутриклассовые расстояния между ОТЕ. Алгоритм начинает свою работу с формирования первого ядра, которым становится o_1. Далее, на каждом следующем шаге алгоритма рассматривается очередная ОТЕ o_i.

Если существует j-е ядро, расстояние от которого до o_i меньше порога c, o_i относится к j-му классу. В противном случае o_i формирует новый класс и становится его ядром.

Недостатками алгоритма являются: необходимость выбора порогового значения c и зависимость результатов от последовательности поступлений ОТЕ на вход классификатора (т.е. на одном и том же наборе ОТЕ могут быть получены разные варианты классификации, в зависимости от их нумерации). Второй недостаток является общим для всех последовательных процедур.

Метод k-средних. Метод k-средних является одним из самых известных параллельных оптимизационных алгоритмов классификации данных, основанных на описании классов ядрами. Идея алгоритма заключается в постоянном пересчете ядер классов, что позволяет в процессе его работы выйти на реальную структуру сгущений ОТЕ в признаковом пространстве. С формальной точки зрения алгоритм минимизирует суммарный разброс ОТЕ вокруг ядер.

Несомненным преимуществом алгоритма является лучшее, нежели без пересчета ядер классов, качество классификации, способность находить истинные ядра и скопления ОТЕ в признаковом пространстве. Недостаток алгоритма — большое количество вычислений.

Параметрические методы классификации, основанные на модели смеси распределений. Модель смеси распределений в наиболее простом случае конечного числа классов M и однотипности компонент записывается в виде

$$f_0(x) = \sum_{i=1}^{M} p_i f(x, \vartheta_i), \qquad (2.33)$$

где $f_0(x)$ — плотность генеральной совокупности; M — число компонент смеси; p_i — вероятность появления i-й компоненты смеси;

$f(x, \vartheta_i)$ — плотность i-й компоненты смеси; ϑ_i — вектор параметров для i-й компоненты смеси (например, для одномерного нормального распределения $\vartheta_i = (\mu_i, \sigma_i)$).

Модель смеси распределений применительно к задачам классификации подразумевает, что i-й класс полностью характеризуется i-й компонентой смеси и вероятностью ее появления. Задача классификации ОТЕ состоит в определении, в рамках какого из классов появление данной ОТЕ наиболее вероятно.

Самым сложным этапом при классификации на основе модели смеси распределений является процедура идентификации смеси, т.е. алгоритм получения числа классов M и оценок для p_i и ϑ_i, которые необходимы для построения решающего правила. Не все смеси идентифицируемы, т.е. не для всех типов распределений можно найти единственные оценки M, p_i и ϑ_i. Например, смесь нормальных распределений идентифицируема, а смесь равномерных — нет.

Существуют различные подходы к оцениванию по множеству ОТЕ параметров смеси, наиболее распространенным из которых является EM-алгоритм.

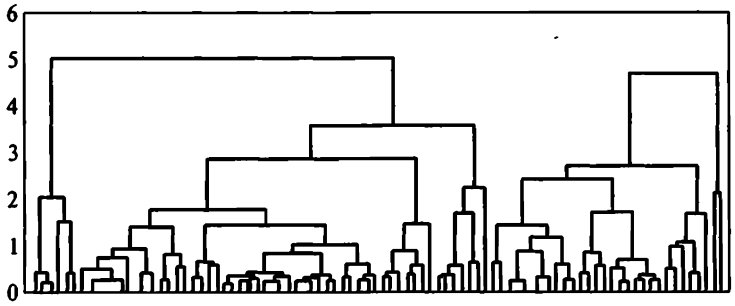
Название EM-алгоритм происходит от сокращений английских терминов Estimation (оценивание) и Maximization (максимизация).

Этот метод для фиксированного числа классов (элементов смеси) K позволяет определять оценки параметров смеси p_i и ϑ_i, $i \in \{1, \ldots, K\}$ путем многократного нахождения очередных приближений к оценкам (шаг Estimation) и максимизации с учетом приближений функции правдоподобия (шаг Maximization).

Иерархические методы классификации. Иерархические методы классификации нацелены либо на последовательное объединение исходных ОТЕ в заранее заданное или незаданное меньшее количество классов, либо, наоборот, на расчленение одного или нескольких классов до нужной степени детализации. Процедуры первого типа носят название иерархических агломеративных алгоритмов классификации, второго — иерархических дивизимных алгоритмов классификации.

Исходной информацией для проведения иерархической классификации обычно служит матрица близостей вида ОТЕ-ОТЕ. Исключением является, например, дивизимный алгоритм на основе метода 2-средних (т.е. метода k-средних при $k = 2$).

Преимуществами иерархических алгоритмов являются возможности их применения без наличия априорной информации о свойствах классов (например, ядер классов или обучающих выборок), модификации для целей географического районирования, применения при неизвестном числе классов и наглядной визуализации хода и результатов классификации на специальном графике, который называется дендрограммой:



На оси x этого графика изображаются ОТЕ (в том порядке, в котором они объединялись или разъединялись), по оси y — либо шаг алгоритма, либо расстояние между вновь объединяемыми или разделяемыми классами. Два объединяемых или разъединяемых класса соединяются П-образной линией. Ее нижние концы упираются в середины двух классов, а длины вертикальных отрезков равны расстоянию между классами.

К недостаткам иерархических процедур следует отнести большую вычислительную стоимость их реализации. Данный недостаток частично компенсируется существованием так называемых «быстрых» (или «пороговых») иерархических алгоритмов.

Агломеративные алгоритмы. Классический агломеративный алгоритм иерархической классификации начинает свою работу с формирования $K_1 = N$ классов (при этом каждая ОТЕ на нулевом шаге представляет отдельный класс) и проводит в общем случае $I = N - 1$ итерацию. На каждом шаге алгоритма происходит объединение двух «ближайших» классов в один, т.е. $K_n - 1 = K_{n+1}$. Последний (N–1)-й шаг алгоритма характеризуется объединением двух сформированных на предыдущих этапах классов в один класс, включающий в себя все имеющиеся (поступившие на вход анализа) ОТЕ. Выбор расстояния настолько влияет на результат классификации, что зачастую оно вносится в название алгоритма (например, «агломеративный алгоритм средней связи»).

Если число классов K, которое нужно получить, известно заранее, достаточно провести $I = N - K$ итераций, в результате которых и будет сформировано ровно K классов. Если количество классов заранее неизвестно, то анализируются либо значения функционала качества разбиения для $K \in \{2, \ldots, K_{max}\}$, либо применяются другие методы (см., например, метод анализа сложности группировочного дерева в работе В. И. Блануца, 1993. — С. 94). Информацию о количестве классов может дать и визуальный анализ дендрограммы.

Необходимо отметить существование так называемых «быстрых» агломеративных алгоритмов. Они основаны на использовании некоторой заранее задаваемой или настраиваемой в процессе клас-

сификации последовательности пороговых значений $c_1, \ldots, c_I$ (при этом вполне возможно, что $c_i = c = \text{const} \quad \forall n \in \{1, \ldots, I\}$).

На очередной итерации алгоритма $n \in \{1, \ldots, I\}$ объединяются те классы, расстояния между которыми не превышают заданного порога c_i. Таким образом, на каждом шаге не требуется искать минимальный элемент в матрице расстояний. При верном выборе пороговых значений такой подход повышает скорость работы алгоритма без потери качества классификации.

Детальное описание процедур агломеративных иерархических классификаций можно найти в работе [М.Жамбю, 1989].

Дивизимный алгоритм. Дивизимный алгоритм иерархической классификации начинает свою работу с формирования единственного класса, содержащего все ОТЕ, и проводит в общем случае $I = N - 1$ итерацию. На каждом шаге алгоритма происходит последовательное разделение одного из классов на два таким образом, чтобы качество получаемой классификации было максимальным. Последний шаг работы алгоритма делит единственный оставшийся нерасчлененный класс, состоящий из двух ОТЕ, на два класса (по одной ОТЕ в каждом).

Дивизимный алгоритм на основе расчленения графа близостей. Дивизимный алгоритм расчленения графа, по аналогии с «быстрым» агломеративным алгоритмом, требует задания последовательности пороговых значений $c_1, \ldots, c_I$. На каждой итерации алгоритма $n \in \{1, \ldots, I\}$ происходит исключение из графа ребер с большими значениями, после чего проверяется, на сколько подграфов (компонент связности) распался исходный граф. Каждый подграф представляет собой отдельный класс.

Методы районирования. Алгоритмы формального районирования направлены на получение территориально нерасчлененных районов, выделяемых по критерию их несхожести в признаковом пространстве с учетом выбранной метрики или матрицы близостей ОТЕ-ОТЕ. Районирование является классической задачей географии, где оно выполняется по логическим правилам и кроме признака несхожести и территориальной нерасчлененности районов зачастую, как, например, в социально-экономической географии, требуется дополнительно наличие ядра районообразования, районообразующих связей и др. Ряд алгоритмов формального районирования, с одной стороны, практически полностью дублирует алгоритмы классификации с добавлением дополнительной процедуры проверки условия на наличие смежности у объединяемых в районы территориальных единиц. С другой стороны, существуют специфические алгоритмы районирования, для которых отсутствуют аналоги в классификации (например, метод барьеров максимальных различий, классические примеры физико-географического районирования).

Для систематизации методов районирования, по аналогии с обычными классификациями, используют несколько оснований.

По сфере применения выделяют природное и социально-экономическое районирование. Именно в этих сферах важна территориальная нерасчлененность районов. Природные признаки априорно распределены непрерывно по территории, а социально-экономическая география является основой территориального управления.

По интерпретации расстояний между объектами в пространстве признаков многие авторы выделяют узловое и однородное районирование. Узловое районирование позволяет формировать районы на основе силы связей между ОТЕ, однородное — на основе «похожести» значений их показателей. С содержательной точки зрения это разные группы методов. С математической точки зрения разница между ними сводится только к различию способов выбора метрики и функционалов расстояний и качества.

По степени охвата районирование можно подразделить на интегральное и отраслевое [В. И. Бланца, 1993. — С. 3]. Например, в случае экологического интегрального районирования оценивается экологическая ситуация в целом, а в случае отраслевого экологического районирования — какой-либо аспект экологической ситуации (состояние воздушной среды, почв, растительного покрова и т.д.). Отраслевое районирование отличается от интегрального только подбором признаков и способом их предварительной обработки.

По динамике изменения характеристик классов ОТЕ в одном из пространств методы районирования подразделяются на нацеленные на выявление районов с разными трендами атрибутивных признаков и на определение тенденции изменения сетки районов.

Методы районирования, основанные на описании районов ядрами. Основной проблемой этого класса методов является выбор ядер районов, которые обязаны быть реальными ОТЕ. После того как ядра районообразования получены, начинается последовательное присоединение к ним максимально «похожих» смежных ОТЕ.

В экологических и географических исследованиях часто применяют для районирования стандартные методы классификации, а после получения классов анализируют их пространственную структуру. Затем, выделив в каждом классе несколько ОТЕ, образующих пространственно-целостный район, полагают их ядрами районов. После этого выделенные ядра расширяются путем доклассификации оставшихся ОТЕ по приведенному выше алгоритму.

Методы районирования, основанные на модели смеси распределений. Параметрические методы классификации на основе модели смеси распределений играют важнейшую роль в прикладной статистике. На основе этих методов разработаны эффективные алгоритмы, которые могут применяться для классификации и экологических, и географических данных.

В работе [C.Ambroise, G.Govaert, 1996] описана модификация EM-алгоритма, которую авторы назвали NEM-алгоритмом (Neighborhood EM-алгоритм). Этот метод позволяет учитывать помимо атрибутивного признакового пространства и любое другое пространство, заданное матрицей близостей ОТЕ-ОТЕ. В данном случае дополнительным пространством будет географическое, а матрица близостей может быть как бинарной таблицей смежности, так и заданной пространственными расстояниями между парами ОТЕ.

По аналогии с EM-алгоритмом, NEM-алгоритм итерационно находит оценки всех параметров, на каждом шаге улучшая их. Оценки апостериорных вероятностей $p_j^{(i)}$ используются для районирования (или нечеткого районирования) точно так же, как и в классическом EM-алгоритме. Недостатком алгоритма является необходимость подбора параметра веса пространства, от значений которого сильно зависит результат районирования.

Иерархические методы районирования. Отличие агломеративных алгоритмов районирования от соответствующих алгоритмов классификации состоит в формировании матрицы пространственной смежности и проверке на каждом шаге граничности объединяемых районов. При этом классические агломеративные алгоритмы классификации можно использовать для районирования при условии, что минимум расстояния между районами (или максимум функции качества при объединении) ищется только для пространственно-смежных районов.

Быстрый агломеративный алгоритм районирования полностью соответствует быстрому агломеративному алгоритму классификации с добавлением этапа проверки на шаге n граничности объединяемых районов, расстояния между которыми в признаковом пространстве меньше константы c_n.

Большинство дивизимных алгоритмов районирования, по аналогии с «ядерными» и агломеративными, получается путем естественной модификации классических методов классификации. Дивизимному алгоритму классификации, основанному на методе 2-средних, соответствует полностью повторяющий его метод районирования на основе алгоритма 2-медоидов. Дивизимному алгоритму, основанному на расчленении графа, соответствует давно описанный в стандартной литературе по прикладной статистике [С.А.Айвазян и др., 1989] метод классификации при ограничениях. Ограничения накладываются на используемую в дивизимном алгоритме матрицу близостей A признакового пространства матрицей пространственной смежности G в соответствии с формулой

$$a_{ij} = \begin{cases} +\infty, & g_{ij} = 0; \\ a_{ij}, & g_{ij} = 1. \end{cases} \qquad (2.34)$$

Это условие соответствует удалению из графа расстояний признакового атрибутивного пространства (соответствующего матрице A) ребер, соединяющих пространственно несмежные ОТЕ. После удаления ребер к полученному графу применяют дивизимный алгоритм на основе расчленения графа, описанный выше.

Помимо стандартных методов разработаны и широко используются специализированные для экологии и географии процедуры районирования, для которых отсутствуют аналоги в классификации. Речь в первую очередь идет о методе барьеров максимальных различий, предложенном М. С. Монмонье [M. S. Monmonier, 1973]. Этот метод применим только к ОТЕ полигонального типа.

Значением барьера для заданного района (содержащего более одной ОТЕ) будем называть максимальное расстояние между двумя пространственно смежными ОТЕ этого района в пространстве показателей, барьером — границу между двумя соответствующими ОТЕ. Обозначать значение барьера i-го района будем символом $B(S_i)$:

$$B(S_i) = \max \{d(o_{ix}, o_{iy}) \mid \ o_{ix},\ o_{iy} \in S_i, g(o_{ix}, o_{iy}) = 1\}. \quad (2.35)$$

Для районирования методом барьеров максимальных различий вычисляются расстояния только между пространственно смежными ОТЕ, а все ОТЕ при инициализации алгоритма относятся к одному единственному району. После этого на каждом шаге происходит деление одного из полученных районов на два (необязательно равных по площади) района. Начинается деление с определения в каждом из уже полученных районов по одному значению барьеров, среди которых отыскивается максимальный. Район, имеющий в своем составе барьер с максимальным значением, подлежит делению. По обе стороны от барьера итеративно проводится граница — до тех пор, пока она не разделит текущий район. Очередная итерация расширяет границу за счет присоединения следующего барьера (который вычисляется без учета пар ОТЕ, уже поучаствовавших в образовании предыдущих барьеров), примыкающего к границе.

Можно ограничить количество итераций алгоритма, либо заранее задавая искомое число классов K, либо вводя некоторый порог c. Поскольку значения барьера максимальных различий уменьшаются с каждым шагом алгоритма, критерием остановки алгоритма является условие

$$B(S_j^n) = \max \{B(S_i^n) \mid i \in 1, \ldots, n\} < c,\ j \in \{1, \ldots, n\}.$$

Большое разнообразие примеров и методик классификации в экологии и географии, среди которых типологические, оценочные и комплексные классификации, классификации «нечетких» систем, проблемы взвешивания показателей, оценка надежности классификаций и другие можно найти в книге [В. С. Тикунов, 1997].

Контрольные вопросы

1. Какие методы расчета расстояний применяют в географии?
2. Охарактеризуйте показатели качества классификаций.
3. В чем различие оценочных и типологических классификаций?
4. В чем различие методов контролируемой и неконтролируемой классификации?
5. В чем смысл «нечетких» классификаций?
6. Для чего нужны нормировки показателей?
7. Что позволяет улучшить «взвешивание» показателей?
8. Охарактеризуйте методы классификации, основанные на описании классов ядрами.
9. Опишите смысл параметрических методов классификации, основанных на моделях смеси распределений.
10. Охарактеризуйте иерархические методы классификации.
11. Перечислите основные методы, применяемые для районирования.

2.2.3. Цифровое моделирование рельефа

Цифровое моделирование рельефа как одна из важных моделирующих функций геоинформационных систем включает две группы операций, первая из которых обслуживает решение задач создания модели рельефа, вторая — ее использование.

Под *цифровой моделью рельефа* (ЦМР) принято понимать **средство цифрового представления трехмерных пространственных объектов (поверхностей или рельефов) в виде трехмерных данных, образующих множество высотных отметок (отметок глубин) и иных значений аппликат (координаты Z) в узлах регулярной или нерегулярной сети или совокупность записей горизонталей (изогипс, изобат) или иных изолиний.**

Первые эксперименты по созданию ЦМР относятся к самым ранним этапам развития геоинформатики и автоматизированной картографии первой половины 60-х годов XX в. С тех пор разработаны методы и алгоритмы решения различных задач, созданы программные средства моделирования, крупные, в том числе национальные и глобальные, массивы данных о рельефе, накоплен опыт решения с их помощью разнообразных научных и прикладных задач.

Создание ЦМР. В проблематику создания ЦМР традиционно входят вопросы оценки источников данных о рельефе (в том числе их точности), выбора моделей пространственных данных для его описания, методы реализации модели применительно к решаемой задаче, верификация полученной модели.

Источники данных для ЦМР. Несмотря на кажущуюся простоту моделируемого объекта — рельефа, хорошо, на первый взгляд, описываемого математически как поверхность или поле, практика предлагает множество способов и технологий создания ЦМР (рис. 17).

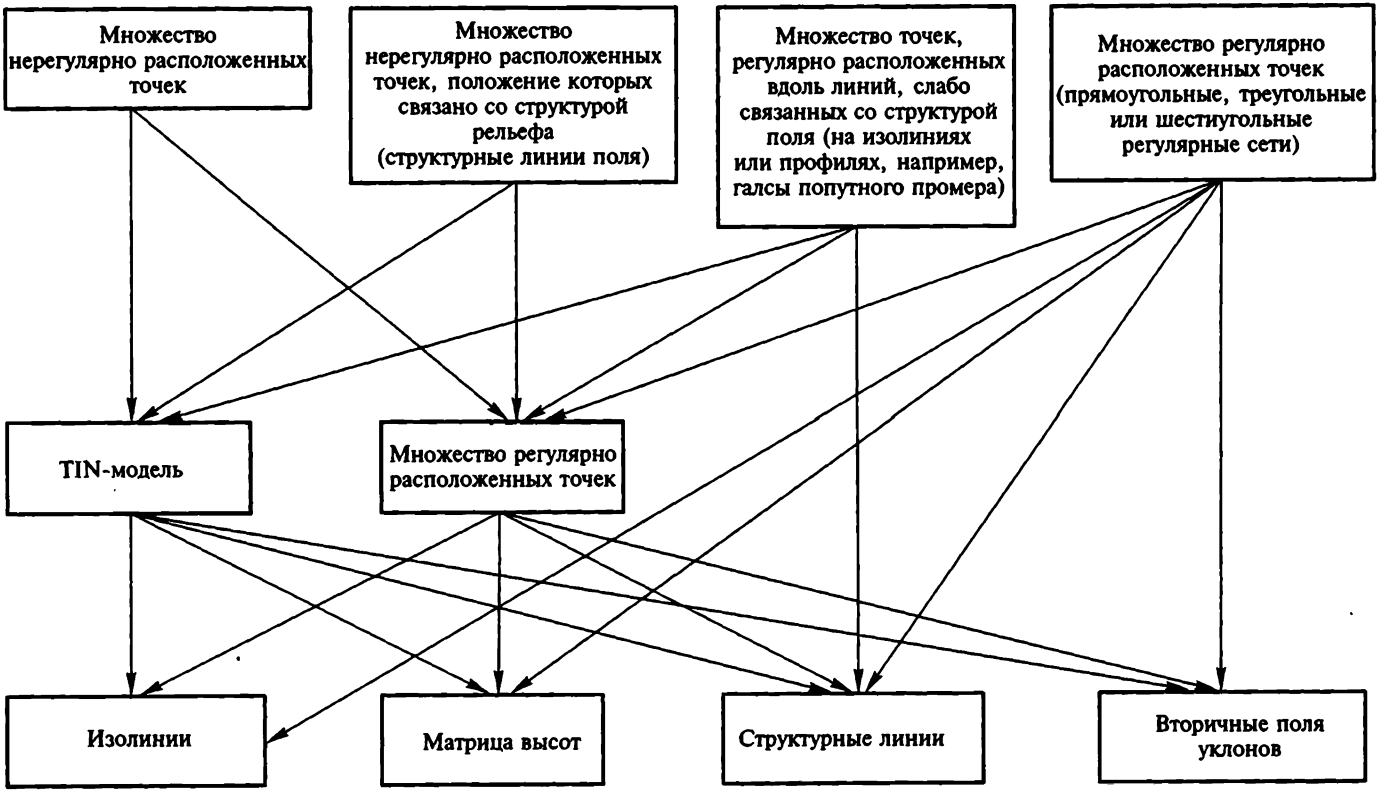


Рис. 17. Общая схема создания ЦМР [О. Р. Мусин, 1998]

Множественность типов источников исходных данных о рельефе вызвана, в свою очередь, многообразием способов получения и организации первичных измерительных сведений и их производных. Среди них геодезические работы и топографическая съемка местности, стереофотограмметрическая обработка фототеодолитных, аэро- и космических снимков, альтиметрическая съемка (рельеф суши), промерные работы и эхолотирование подводного рельефа акваторий океанов и внутренних водоемов, радиолокационная съемка рельефа ледникового ложа и небесных тел. Разнообразны и вторичные источники сведений о рельефе, например топографические карты и планы, роль которых будет подробно изложена ниже.

Пространственная организация исходных данных о рельефе как множестве опорных точек модели (точек с известными высотными отметками) также различна. Их распределение может быть регулярным, структурным и хаотическим. С учетом технологии получения и предобработки (характера фотограмметрической обработки стереомоделей и технологии цифрования карт) можно выделить системы высотных отметок рельефа в случайно расположенных точках — узлах нерегулярной сети (получаемых, например, в результате тахеометрической съемки), в частично упорядоченных множествах точек (инженерные изыскания, эхолотирование), в узлах регулярных решеток (специальные виды площадного нивелирования, цифровая фотограмметрическая обработка, предварительная обработка других моделей), линейно упорядоченные множества точек, получаемые путем цифрования карт (обводом линий или сканированием), полностью или частично упорядоченные множества точек, генерируемые в процессе фотограмметрической обработки стереомоделей местности. На рис. 17 выделены четыре типа исходных множеств:

1) нерегулярно расположенных точек;

2) нерегулярно расположенных точек, положение которых связано со структурой рельефа (структурные линии поля);

3) точек, регулярно расположенных вдоль линий, слабо связанных со структурой поля (на изолиниях или профилях, например галсы попутного промера);

4) регулярно расположенных точек (прямоугольные, треугольные или шестиугольные регулярные сети).

Карта как источник массовых данных для ЦМР. Среди перечисленного выше разнообразия источников данных для моделирования рельефа двум из них — картам и аэрокосмическим материалам — принадлежит особая роль массовых источников.

В отношении данных дистанционного зондирования — материалов аэро- и космосъемок, которые детально будут рассмотрены в соответствующем подразделе, — заметим лишь, что их роль по разным причинам будет расти, а доля и роль карты — снижаться. Это

технологические и технические причины: рост пространственного разрешения систем сканерной космической съемки (≤ 1 м), широкое распространение относительно недорогих и доступных цифровых фотограмметрических станций, в том числе на платформе персональных компьютеров, появление принципиально отличного от стереофотограмметрического метода экстракции высот — интерферометрии, широко известной в приложениях к обработке радиометрических данных. Аэроснимки широко используются для контроля качества и верификации ЦМР. С относительно крупномасштабной стереомодели аэроснимков, принимаемой за условно истинную, берутся контрольные точки со значениями высотных отметок, точность которых заведомо намного выше, чем у верифицируемой модели.

Данные дистанционного зондирования в целом и процедуры их обработки, в том числе экстракции высот, тоже не лишены недостатков. В условиях плотной городской застройки или высокой залесенности (при стопроцентной сомкнутости крон древостоя) полученная цифровая модель в существенной своей части будет отражать геометрию зданий и сооружений или полога леса и требовать вмешательства оператора в автоматизированый процесс ее построения[1].

Так или иначе, пока карта остается бесспорно основным источником данных для ЦМР, что требует более детального ее рассмотрения.

К картографическим источникам принадлежат топографические карты и планы, используемые для создания ЦМР суши, и морские навигационные или топобатиметрические карты для ЦМР акваторий. Типовая технология генерации ЦМР основана на цифровании горизонталей как основной ее составляющей, а также высотных отметок и других картографических элементов, используемых для отображения рельефа, с привлечением данных по другим объектам карты (элементов гидрографической сети). При наличии готовой цифровой топографической или аналогичной ей карты, используются соответствующие им слои.

На современных общегеографических картах суши рельеф представлен композицией трех средств картографической выразительности с разной пространственной локализацией элементов: системой изолиний (горизонталей, изогипс), множеством отметок высот и совокупностью точечных внемасштабных, линейных и площадных знаков, дополняющих изображение рельефа горизонталя-

[1] В зарубежной литературе, посвященной цифровым фотограмметрическим методам создания ЦМР, принято различать собственно «цифровую модель рельефа» (Digital Terrain Model, *DTM*; Digital Elevation Model, *DEM*) и «цифровую модель поверхности» (Digital Surface Model, *DSM*), понимая под последней «рельефоид» — неоткорректированный (нерафинированный) набор высотных данных, отражающих внешнюю поверхность крон деревьев или крыш зданий, а также любых иных «надповерхностных» рельефов.

ми (знаки оврагов и промоин, сухих участков рек, обрывов, бровок, оползней, осыпных участков, скал, карстовых воронок, курганов, наледей, ледников и т.д.).

Как источник данных для ЦМР, топографическая карта, при всех ее достоинствах, не лишена недостатков.

Один из них связан с изображением рельефа горизонталями.

Во-первых, общеизвестно, что две функции горизонталей — соединять точки с одинаковыми высотами и служить средством «правильного», «географически достоверного» описания (передачи) форм рельефа на карте — находятся в трудно разрешимом противоречии между собой. «При пользовании способом горизонталей важно видеть в горизонталях не только математические линии равных высот, но и линии, рисующие формы рельефа. По начертанию горизонталей судят о типе рельефа. Мягким формам рельефа свойственны округлые, плавные горизонтали, резким формам — извилистые и угловатые: каждому типу рельефа свойственен неповторяемо своеобразный рисунок горизонталей» [К.А.Салищев, 1982. — С. 115]. Правила составления и редактирования изображения рельефа, оформленные в инструкциях и редакционных указаниях, обычно предписывают сохранять или даже утрировать эти их свойства.

Баланс между «правильностью» и наглядностью, метричностью и пластичностью, т.е. точностью и достоверностью изображения рельефа горизонталями неодинаков для карт топографического масштабного ряда. «В зависимости от масштаба основные требования к изображению рельефа различаются. Так, для карты масштаба 1 : 200 000 ставится задача обеспечения возможности определения по карте абсолютных и относительных высот любой точки местности» [Л.С.Гараевская, Н.В.Малюсова, 1976. — С. 150—151]. Но даже в этом масштабе «для передачи особенностей форм рельефа и согласования с другими элементами содержания допускается смещение горизонталей до половины величины заложения для горного рельефа и до четверти — для равнинного», а начиная с масштаба 1 : 500 000 «при изображении рельефа... ставится задача правильного отображения географического подобия орографических форм, передачи с возможной точностью планового положения основных структурных линий и точек рельефа — гребней хребтов, тальвегов, перегибов склонов и вершин. ...Для карты масштаба 1 : 1 000 000 характер генерализации определяется следующими требованиями: правильная и наглядная передача морфологических особенностей различных орографических районов, четкое отличие горизонтального и вертикального расчленения равнинных и горных типов рельефа, выявление характерных форм для разных типов рельефа, крутизны и расчлененности склонов» [Л.С.Гараевская, Н.В.Малюсова, 1976]. Изображение рельефа на картах еще более мелких, обзорных масштабов, в том числе на гипсометри-

ческих картах масштабов 1 : 1 500 000 и 1 : 2 500 000, как замечает Ю. А. Мещеряков со ссылкой на К. А. Салищева, отличает «сочетание геометрического принципа с глубоким географическим подходом, заключающимся в изучении геоморфологических особенностей рельефа и в их передаче рисунком горизонталей» [Ю. А. Мещеряков, 1981. — С. 170]. Более того, за пределами топографических масштабов более заметную роль начинает играть наглядность воспроизведения рельефа, его пластичность. Отсюда основной принцип русской гипсометрической школы: «географическое правдоподобие, точность изображения и пластическая выразительность рисунка рельефа» [Т. Г. Сваткова, 1998. — С. 21].

Важный практический вывод, следующий из анализа мелкомасштабных общегеографических карт, заключается в том, что топографические и иные карты суши масштаба 1 : 500 000 и мельче практически непригодны для создания ЦМР.

Во-вторых, как и любой другой элемент картографического изображения, горизонтали проведены на ней с определенной точностью, которая при прочих равных условиях (масштабе, методах съемки или составления карты путем генерализации крупномасштабных картографических источников) зависит от типа, морфологии рельефа. Напомним о допусках точности изображения рельефа горизонталями, приведя фрагмент соответствующей инструкции для карт масштаба 1 : 10 000 — 1 : 25 000, составляемых непосредственно в результате топографических съемок и определяющих аналогичные требования ко всему топографическому масштабному ряду (табл. 2.4).

Принципиально важно, что нормативными документами изначально определено, что карта в части изображения рельефа неравноточна; не менее неравноточна будет ЦМР, созданная на ее основе, с учетом погрешностей, вносимых в процессе ее аналого-цифрового преобразования, т. е. цифрования горизонталей и обработки полученных записей при трансформации в одну из упоминавшихся выше типов моделей.

В-третьих, кроме основных топографические карты содержат дополнительные и вспомогательные горизонтали. Первые из них проводятся на половине высоты сечения и носят также название полугоризонталей и с точки зрения метричности аналогичны основным, вторые же проводятся, согласно инструкциям, на произвольной высоте и, как правило, должны быть надписаны; в противном случае их учет при построении ЦМР невозможен.

В-четвертых, топографические карты лишены изображения рельефа дна внутренних водоемов, а также морских и океанических акваторий. В большинстве случаев формальный выход из этой ситуации состоит в том, чтобы присвоить акватории высотную отметку уреза воды, условно считая ее «плоской». По разным причинам (разновременность создания отдельных номенклатурных лис-

Таблица 2.4

Требования к изображению рельефа горизонталями при выполнении топографических съемок в масштабах 1 : 10 000 и 1 : 25 000 [Инструкция..., 1978. — С. 9]

Районы съемки	Высота сечения рельефа горизонталями, м		Средняя погрешность съемки рельефа (в долях высоты сечения)	
	1 : 10 000	1 : 25 000	1 : 10 000	1 : 25 000
Плоскоравнинные с уклоном местности до 1°	1,0	2,5	1/4	1/3
Равнинные с уклоном местности от 1 до 2°	1,0*; 2,0	2,5; 5,0**	1/3	1/3
Равнинные пересеченные и всхолмленные с уклоном местности от 2 до 6°	2,0(2,5)	2,5***; 5,0	1/3	1/3
Горные и предгорные	5,0	5,0	В долинах — 1/3 сечения, на склонах соответствие числа горизонталей разности высот между перегибами склона	
Высокогорные	—	10,0		

* В районах мелиоративного строительства.
** В залесенных районах.
*** В открытых районах при уклонах до 4°.

тов, погрешности топографических съемок или грубые ошибки составителей), контур одного и того же водоема может сопровождаться разными отметками уреза воды; в этом случае возникает задача приведения зеркала воды к «горизонту».

Как и всякий элемент картографической графики, горизонтали имеют свои графические пределы: при установленной инструкцией толщине линии горизонтали в 0,2 мм и таком же расстоянии между ними один миллиметр карты может содержать их не более трех. Для устранения внутри- и межэлементных графических конфликтов инструкциями допускается искусственное слияние горизонталей в случае, когда величина их заложения не укладывается в установленные графические пороги, т.е. на склонах с крутизной выше некоторого предела, а также их «укладка», т.е. искусственное увеличение расстояния между соседними горизонталями для предотвращения их слияния. Оба приема, допускаемые в отношении изображения рельефа горизонталями на топографических картах, с точки зрения их оценки как основы ЦМР одинаково «вредны»: формально область слияния горизонталей в их цифровой записи должна восприниматься как вертикальная «стенка» (формализмы некоторых конкретных типов моделей могут квалифициро-

вать такую ситуацию как тополого-геометрическую ошибку записи), а искусственно «раздвинутые» горизонтали искажают уклоны и продольные формы склонов. Оба типа картографических артефактов в условиях средне- и высокогорий способны еще более понизить точность ЦМР в сравнении с ее инструктивно определенными значениями.

Отсюда общая рекомендация к программным средствам создания ЦМР: они должны поддерживать контроль геометрической корректности цифровых представлений горизонталей, т.е. соблюдение двух условий: 1) одноименные и разноименные горизонтали не должны пересекаться (сливаться, касаться)[1]; 2) каждая горизонталь должна быть замкнута на самое себя или границу картографического изображения (обычно, рамку карты). Соблюдение первого из условий обеспечивает отсутствие складок (нахлестов) в записи горизонтали и слияния (касания) разноименных (соседних) горизонталей, второго — отсутствие в них разрывов.

Недостатки топокарт в части изображения рельефа горизонталями отчасти могут быть компенсированы другими графическими элементами, используемыми для отображения элементов и форм рельефа, не выражаемых в горизонталях по чисто графическим или содержательным мотивам. К примеру, свод условных знаков топографических карт масштаба 1 : 10 000 содержит более 50 линейных и точечных знаков, часть из которых — высотные отметки, отметки урезов воды, знаки оврагов с указанием их глубины, обрывов, карстовых воронок и других природных образований, а также ряда искусственных форм рельефа — действительно способны существенно улучшить общую метрическую характеристику рельефа и повысить точность создаваемой модели путем ее учета в структурных ЦМР. Напротив, крайне схематичный рисунок высокогорных форм рельефа, включая ледники, снежники и фирновые поля, знаки скал и скалистых обрывов с фрагментами горизонталей, делает невозможным создание на эти участки кондиционной ЦМР, требуя привлечения некартографического первоисточника, например аэроснимка.

Точность ЦМР. Точность как одна из важных характеристик качества модели может быть оценена либо ее соответствием условно-истинному «оригиналу», либо релевантностью тем задачам, которые будут решаться в процессе использования модели. Первый из подходов, как будет показано ниже на реальных примерах, основан на контроле точности ЦМР по выборочным оценкам их среднеквадратических погрешностей и соответствию стандартам

---

[1] Особый, но, к счастью, редкий случай пересечения разноименных горизонталей — отображение нависающих склонов (склонов «отрицательной» крутизны) — не может быть учтен в рамках рассмотренных ниже типов моделей данных для ЦМР, требуя более одной высотной отметки на точку.

качества. Оба подхода одинаково полезны и в случае проектирования вновь создаваемой ЦМР, и при оценке возможностей использования уже существующей. Как и всякая модель, ЦМР не может быть оценена в категориях истинности, но к ней приложимо понятие «работоспособности». Среди факторов, обусловливающих интегральную итоговую точность ЦМР, можно назвать характер и точность источника исходных данных, технологию аналого-цифрового преобразования данных, если используется источник аналогового типа (например карта) со своими погрешностями, точность восстановления функции высоты при преобразовании хаотически упорядоченных множеств высотных отметок в их регулярный набор (например точность процедур *интерполяции*), тип и параметры модели данных, используемой при создании ЦМР (например, шага регулярной модели высот, т.е. ее пространственного *разрешения*). Ниже будут приведены оценки точности некоторых конкретных моделей. Точность ЦМР как функции амплитуды, сложности, расчленности и иных интегральных морфометрических характеристик рельефа, в конечном итоге — их морфологических типов, исследована недостаточно, и в этом видится большой недостаток всей методологии и индустрии создания и использования ЦМР в целом.

Типы цифровых моделей рельефа. Обычно первичные данные существуют или с использованием тех или иных операций приводятся к одному из двух наиболее широко распространенных представлений поверхностей (полей) в ГИС: растровому представлению (модели) и модели TIN.

Растровая модель пространственных данных — разбиение пространства (изображения) на далее неделимые элементы (пикселы) — применительно к ЦМР обозначает матрицу высот: регулярную (обычно квадратную) сеть высотных отметок в ее узлах, расстояние между которыми (шаг) определяет ее пространственное разрешение. Именно таковы ЦМР, создаваемые национальными картографическими службами многих стран (в книге [**Е. Г. Капралов, А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов и др.**, 2004] этот тип моделей проиллюстрирован на примере Национальной ЦМР США в формате DEM). Преимущество такой модели — в удобстве ее компьютерной обработки. Иногда, а в последнее время довольно часто, следуя терминологии программных средств ГИС клона ArcInfo (ESRI, Inc., США), регулярная сеть (решетка) применительно к представлению рельефа именуется «гридом», а операция по пересчету нерегулярных данных в ее узлы — «гридингом», что многими пока признается термином научного жаргона[1].

К растровой, или как ее чаще называют матричной или регулярной модели, путем интерполяции, аппроксимации, сглажива-

[1] Термин «грид» — транслитерация и, одновременно, фонетическая передача англоязычного *grid* (решетка, сетка, сеть).

ния и иных трансформаций могут быть приведены ЦМР всех иных типов, что чаще всего и делается на практике. Для восстановления поля высот в любой его точке (например, в узле регулярной сети) по заданному множеству высотных отметок (например, по цифровым записям горизонталей) обычно применяются разнообразные методы *интерполяции*. Среди них наиболее употребительными считается: метод кригинга, средневзвешенная интерполяция по методу Шепарда, полиномиальное и кусочно-полиномиальное сглаживание.

Суть модели TIN в ее наименовании — «Нерегулярная треугольная сеть» (в английском оригинале — Triangulated Irregular Network). В своем пространственном выражении это сеть треугольников — обычно элементов *триангуляции Делоне* — с высотными отметками в ее узлах, что позволяет представить моделируемую поверхность как многогранную (рис. 18).

Теоретические основы и алгоритмы решения задачи построения триангуляции Делоне на плоскости и тесно связанной с нею задачи построения *полигонов Тиссена* (диаграмм Вороного), изучаемые *вычислительной геометрией* (рис. 19), детально рассмотрены О. Р. Мусиным [О. Р. Мусин, 1999] и А. В. Скворцовым [А. В. Скворцов, 2002]. Кроме всего прочего, ими показано, что с точки зрения практических приложений, в том числе для создания ЦМР, классическая (ортодоксальная) триангуляция Делоне как основа

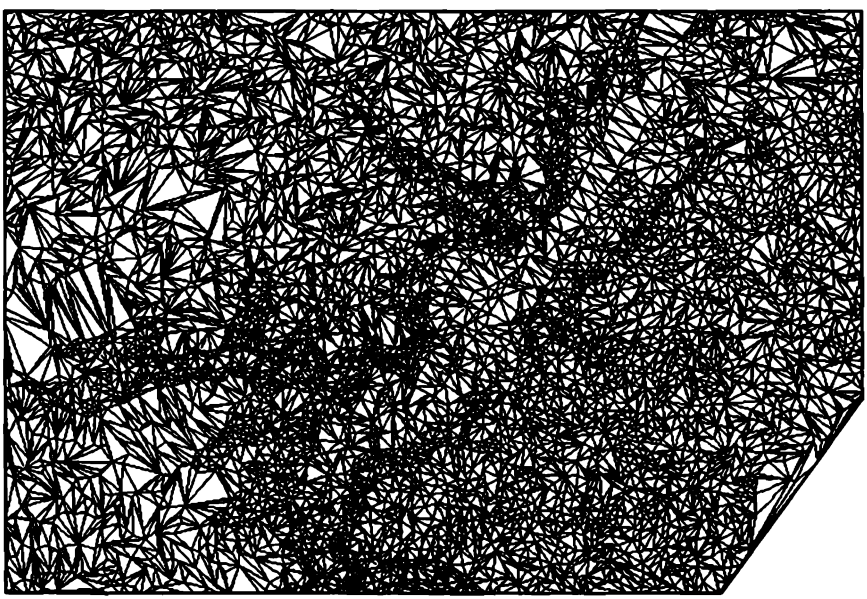
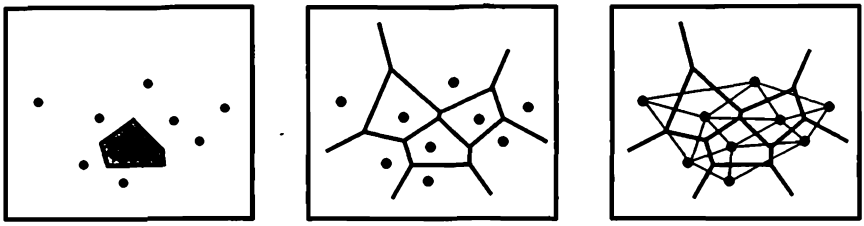


Рис. 18. Триангуляция Делоне на множестве высотных отметок, образованных промежуточными точками цифровых записей горизонталей



а *б* *в*

Рис. 19. Многоугольник Вороного (*а*), диаграмма Вороного (*б*), та же диаграмма Вороного и двойственная ей триангуляция Делоне (*в*) [М.Ласло, 1997. — С. 245]

модели TIN обладает примечательными свойствами, обусловливающими ее оптимальность в трех смыслах: она имеет наименьший индекс гармоничности как сумму индексов гармоничности каждого из образующих треугольников (близостью к равноугольной триангуляции), свойства максимальности минимального угла (наибольшей невырожденности треугольников) и минимальности площади образуемой многогранной поверхности.

Модель TIN поддерживается многими мощными универсальными программными средствами ГИС, модулями обработки и создания ЦМР в их составе. Таков, к примеру, модуль pcTIN в программных средствах ГИС ArcInfo (ESRI Inc., США). Однако ее использование в технологиях создания ЦМР на основе слоя оцифрованных горизонталей цифровых карт, массовое производство которых налажено большинством национальных топографо-картографических служб, вскрыло его существенные недостатки. Основной из них — «эффект террас», выражающийся в появлении морфологических артефактов — плоских участков в заведомо невозможной геоморфологической ситуации (например, по линии днища V-образных тальвегов). Одна из основных причин — малость расстояний между точками цифровой записи горизонталей в сравнении с расстояниями между самими горизонталями, что характерно для большинства типов рельефа в их картографическом отображении. Появление таких морфологических артефактов нарушает морфографию и морфометрию моделируемого рельефа и снижает точность и качество самой модели и ее производных. Один из способов значительного улучшения качества и морфологического правдоподобия ЦМР состоит в расширении модели TIN путем ее структурирования — введения в нее сети тальвегов, водоразделов и линий перегибов и разрывов (бровок, уступов террас и т.п.). В алгоритмическом смысле это означает использование в «настоящих моделях рельефа в ГИС» управляемой триангуляции Делоне вместо классической [В.М.Огарков, 1999]. Возможны и другие подходы, но суть их одна — структуризация (точнее «оструктурирование») ЦМР.

скан
страницы
отсутствует

скан
страницы
отсутствует

$$\min_{a_1,a_2,a_3,\ldots,a_k} ((F(x_1,y_1)-z_1)^2+(F(x_2,y_2)-z_2)^2+\ldots+(F(x_n,y_n)-z_n)^2).$$

Для глобального алгоритма используются все исходные точки, а для локального — некоторые их подмножества, попадающие в заданные области.

Рассмотрим некоторые примеры таких алгоритмов.

Локальный интерполяционный алгоритм, построенный на триангуляции Делоне. Через три точки в пространстве проходит плоскость, уравнение которой является многочленом первой степени по своим переменным.

Уравнение этой плоскости может быть записано через определитель следующим образом:

$$\begin{vmatrix} x-x_1 & y-y_1 & z-z_1 \\ x_2-x_1 & y_2-y_1 & z_2-z_1 \\ x_3-x_1 & y_3-y_1 & z_3-z_1 \end{vmatrix} = 0.$$

Метод скользящего окна (локальный интерполяционный алгоритм). Для получения значения z в точке с координатами x, y выполним следующий алгоритм.

1. Выберем из исходных точек те, которые расположены на плоскости аргументов на расстоянии, меньшем чем заданная величина R от точки с координатами (x,y). Обозначим номера этих точек t_1, t_2, ..., t_i.

2. Если координаты одной из исходных точек, например точки (x_p,y_p), совпадают с координатами (x,y), то положим $z = z_p$.

3. В противном случае вычислим z по формуле

$$z = (z_{t1}d_{t1} + z_{t2}d_{t2} + \ldots + z_{ti}d_{ti})/(d_{t1} + d_{t2} + \ldots + d_{ti}), \quad (2.37)$$

где d_{ti} — вес точки t_i, который может быть равен величине, обратной расстоянию между точкой (x,y) и точкой (x_{ti},y_{ti}).

Метод весового среднего или модифицированный метод скользящего окна (локальный аппроксимационный алгоритм). Для получения значения z в точке с координатами x, y выполним следующий алгоритм.

1. Выберем из исходных точек m те, которые расположены на плоскости аргументов ближе других от точки с координатами (x,y). Обозначим номера этих точек t_1, t_2, ..., t_m.

2. Вычислим z по формуле

$$z = (z_{t1}d_{t1} + z_{t2}d_{t2} + \ldots + z_{tm}d_{tm})/(d_{t1} + d_{t2} + \ldots + d_{tm}), \quad (2.38)$$

где d_{tm} — вес точки t_m, который может быть равен величине, обратной расстоянию между точкой (x,y) и точкой (x_{tm},y_{tm}) или быть некоторой степенью этой величины.

Глобальный интерполяционный алгоритм. Используется для восстановления значений функции в точке (x,y) по множеству всех n исходных точек с использованием многочлена, число членов которого равно числу исходных точек.

В этом случае для определения коэффициентов многочлена необходимо решить систему n уравнений с n неизвестными:

$$a_1 f_1(x_i,y_i) + a_2 f_2(x_i,y_i) + \ldots + a_k f_k(x_i,y_i) = z_i\ ,\ i = 1,\ \ldots,\ n, \quad (2.39)$$

где $f_1(x_i,y_i) = 1$, $f_2(x_i,y_i) = x_i$, $f_3(x_i,y_i) = y_i$, $f_4(x_i,y_i) = x_i^2$, $f_5(x_i,y_i) = y_i^2$ и т. д.

Глобальный аппроксимационный алгоритм. Применяется для восстановления значений функции в точке (x,y) по множеству всех n исходных точек с использованием многочлена, число членов которого (k) не равно числу исходных точек. Коэффициенты определяются исходя из принципа наименьших квадратов:

$$\min_{a_1,a_2,a_3,\ldots,a_k} ((F(x_1,y_1) - z_1)^2 + (F(x_2,y_2) - z_2)^2 + \ldots + (F(x_n,y_n) - z_n)^2)$$

или

$$\min_{a_1,a_2,a_3,\ldots,a_k} \text{Sum}\ (a_1 f_1(x_i,y_i) + a_2 f_2(x_i,y_i) + \ldots + a_k f_k(x_i,y_i) - z_i)^2. \quad (2.40)$$

Решение этой задачи эквивалентно решению следующей системы k линейных уравнений с k неизвестными a_1, a_2, a_3, ..., a_k:

$$\begin{aligned}
&a_1 \text{Sum}\, f_1(x_i,y_i) + a_2 \text{Sum}(f_1(x_i,y_i) f_2(x_i,y_i)) + \ldots + \\
&\qquad + a_k \text{Sum}(f_1(x_i,y_i) f_k(x_i,y_i)) = \text{Sum}(z_i f_1(x_i,y_i)), \\
&a_1 \text{Sum}(f_1(x_i,y_i) f_2(x_i,y_i)) + a_2 \text{Sum}(f_2(x_i,y_i) f_2(x_i,y_i)) + \ldots + \\
&\qquad + a_k \text{Sum}(f_2(x_i,y_i) f_k(x_i,y_i)) = \text{Sum}(z_i f_2(x_i,y_i)), \quad (2.41) \\
&\qquad\qquad \ldots\ldots \\
&a_1 \text{Sum}(f_1(x_i,y_i) f_3(x_i,y_i)) + a_2 \text{Sum}(f_2(x_i,y_i) f_3(x_i,y_i)) + \ldots + \\
&\qquad + a_k \text{Sum}(f_3(x_i,y_i) f_k(x_i,y_i)) = \text{Sum}(z_i f_3(x_i,y_i)).
\end{aligned}$$

Естественно, что здесь приведены только некоторые примеры из большого многообразия алгоритмов, используемых в различных задачах восстановления значений рельефа (функций) по множеству исходных точек, полученных в результате измерений.

Использование ЦМР. Готовая цифровая модель способна обеспечить решение самых разнообразных задач благодаря развитым функциям цифрового моделирования рельефа, которые встроены в современные универсальные полнофункциональные инструментальные программные средства ГИС.

Обычно функционально обособленные модули обработки ЦМР в составе таких программных продуктов поддерживают следующие группы функций:

• расчет «элементарных» морфометрических показателей: *углов наклона* (уклонов) и *экспозиций склонов*;

• оценка формы склонов через кривизну их поперечного и продольного сечений;

• генерация сети тальвегов и водоразделов (сепаратрисс) и других особых точек и линий рельефа, нарушающих его «гладкость»; подсчет положительных и отрицательных объемов относительно заданного горизонтального уровня в пределах границ участка;

• построение профилей поперечного сечения рельефа по направлению прямой или ломаной линии;

• аналитическая отмывка рельефа;

• трехмерная визуализация рельефа в форме блок-диаграмм и других объемных каркасных (нитяных), полутоновых (светотеневых) и фотореалистичных (текстурированных) изображений, в том числе виртуально-реальностных, например путем драпировки поверхности рельефа цифровыми космо- или аэрофотоизображениями;

• оценка зон видимости или невидимости с заданной точки (точек) обзора (*анализ видимости/невидимости*);

• построение изолиний по множеству отметок высот (например, генерация горизонталей);

• *интерполяция* значений высот, другие трансформации исходной модели (например, осреднение, сглаживание, генерация, фильтрация и т. п.);

• *ортотрансформирование* аэро- и космических снимков.

Перечисленные функции стандартного коммерческого программного обеспечения ГИС, разумеется, не исчерпывают всех возможностей обработки данных о рельефе; в экспериментах и специализированных средствах обработки ЦМР они существенно богаче, образуя основу разнообразных приложений технологии цифрового моделирования рельефа. Рассмотрим наиболее практически важные из них подробнее.

Расчет углов наклона и экспозиций склонов. Использование ЦМР обеспечивает расчет разнообразных «частных характеристик» рельефа, под которыми понимаются производные от функции высот значения углов наклона, экспозиций и формы склонов. В первую очередь появились алгоритмы расчета углов наклона и экспозиций, которые параллельно и независимо разрабатывались в самых разнообразных целях, вошли в инструментарий практически всех программных средств ГИС, использовались для решения множества задач. Под *углом наклона* (крутизной ската, крутизной склона) понимается одна из характеристик пространственной ориентации элементарного склона — угол, образуемый направлением ската с горизонтальной плоскостью, выражаемый в градусах или в безразмерных величинах уклонов, равных тангенсам углов наклона, а также в процентах или промилле. *Экспозиция склона* численно равна азимуту проекции нормали склона на горизонтальную

плоскость и выражается в градусах, либо по 4, 8, 16 или 32 румбам (при этом экспозиция плоского склона с нулевой крутизной не определена).

Предложено множество формул и алгоритмов расчета углов наклона и экспозиций склонов, используемых при обработке растровых ЦМР в виде квадратной матрицы высот. Все они основаны на методе скользящего окна размером 2×2 или 3×3 точки с высотными отметками в узлах регулярной квадратной сети. Один из алгоритмов описан, например, в книге [**Е. Г. Капралов, А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов и др.**, 2004].

Классический пример решения задачи, предполагающей расчет углов наклона, — оценка эрозионной опасности, которая рассматривается как функция набора геолого-геоморфологических, включая морфометрические, почвенных и климатических параметров, а также характеристик использования земель с помощью универсального уравнения (модели) эрозии почв USLE (Universal Soil Loss Equation), предложенной В. Уишмайером (W. H. Wischmeier) и Д. Смитом (D. D. Smith) в 1978 г. и с тех пор широко известной в различных версиях ее реализации средствами ГИС:

$$A = RKLSCP, \qquad (2.42)$$

где A — прогнозируемая (расчетная) величина среднегодовой почвенной эрозии в единицах массы на единицу площади; R — показатель количества осадков; K — коэффициент эродированности; L — длина склона; S — угол наклона; C — показатель растительного покрова; P — применяемые противоэрозионные мероприятия. Морфометрические характеристики склона в модели объединяют понятием «склоновый фактор»; для его оценки используют алгоритмы расчета угла наклона и длины (протяженности) склона (в направлении линии наибольшего ската).

Оценка формы склонов. В продолжение анализа геометрических свойств окрестности точки на заданной криволинейной поверхности, соответствующей элементарному склону, можно оценить его форму. Методы такой оценки предлагались неоднократно. К примеру, в работе, посвященной автоматизации построения карт ориентации, формы и относительной освещенности склонов, предлагался алгоритм классификации элементарных склонов по типам их поперечного и продольного профилей в соответствии с подходом к типологии элементарных форм Ю. К. Ефремова [А. В. Кошкарев, 1980]. При этом под профилем склона понималась величина (или знак) радиуса кривизны нормального сечения склона в направлении линии наибольшего ската (поперечный профиль) или в перпендикулярном ему направлении (продольный профиль). С точки зрения формализмов дифференциальной геометрии им будут соответствовать частные производные второго порядка от функции рельефа (градиенты изоградиентной поверхности).

Продолжением линии «элементаризации земной поверхности» следует считать систематику А. Н. Ласточкина, включающую характерные точки и структурные линии рельефа (в том числе линии перегиба продольного и поперечного профилей), а также элементарные поверхности — морфологические элементы, ограниченные морфоизографами (линиями с нулевыми значениями горизонтальной кривизны, отделяющими выпуклые, вогнутые и прямолинейные в плане элементы) и классифицируемые по типам профиля склона и другим морфографическим признакам [А. Г. Зинченко, А. Н. Ласточкин, 2001].

Генерация сети тальвегов и водоразделов. Расчет структурных элементов рельефа, образующих его каркас, т. е. экстракция из ЦМР линейных элементов, обычно называемых линиями тальвегов и линиями водоразделов, а в более общем виде, с учетом не только рельефа суши, но и дна океанов и внутренних водоемов, килевыми и гребневыми, или базисными и вершинными, предполагает моделирование линий поверхностного стока. Для матричной ЦМР направление стока из каждой ее ячейки будет определяться соотношением ее высотной отметки с высотными отметками четырех или восьми соседних ячеек. Таким образом могут быть найдены все ячейки, образующие водосбор, и оконтурена его граница (линия водораздела), а линии стока будут определять эрозионную сеть, примерно соответствующую тальвегам.

Более «изощренные» и эффективные способы выделения линий тальвегов и водоразделов основаны на формализмах дифференциальной геометрии (подобных тем, какие используются в ранее упомянутых алгоритмах расчета кривизны склонов для оценки их формы), позволяя экстрагировать из ЦМР не только тальвеги и водоразделы, но и иные структурные линии, включая бровки, швы, ребра и гребни, небезынтересные с точки зрения морфометрических приложений функций обработки ЦМР.

Аналитическая отмывка рельефа. Автоматизация светотеневой отмывки рельефа — наиболее пластического и широко распространенного способа картографического изображения рельефа на средне- и мелкомасштабных топографических и общегеографических картах в сочетании с гипсометрической его характеристикой или изображением в горизонталях (изобатах) — одна из прикладных задач, поставленных и решенных уже в первых экспериментах по обработке ЦМР в 60-х годах XX в., в условиях использования современных программных средств ГИС стала вполне рутинной процедурой. Ее реализация основана на расчете относительных освещенностей склонов, точнее участков склонов, «элементарных склонов», образованных треугольными гранями модели TIN или плоскостями ячеек матрицы высот. Освещенность вычисляется по формуле

$$I = \cos\varphi, \tag{2.43}$$

где I — относительная освещенность; φ — угол между вектором направления на источник освещения и вектором нормали к плоскости элементарного склона [Ю. Л. Костюк, 2000], или по другой формуле, удобной для вычислений при уже известных значениях угла наклона и экспозиции и пригодной для расчета реального солнечного освещения (инсоляции):

$$I = \sin\beta, \tag{2.44}$$

где β — угол падения луча на плоскость элементарного склона, или

$$I = \sin\{\operatorname{arctg}[\operatorname{tg}\alpha\cos(A_\varepsilon - A_0)] + \beta_0\}, \tag{2.45}$$

где α — угол наклона элементарного склона; A_ε — экспозиция склона, измеряемая истинным (астрономическим) азимутом; β_0 — высота источника света (Солнца) над горизонтом; A_0 — истинный азимут источника света [А. В. Кошкарев, Г. М. Лицукова, Л. А. Смирнова, 1978]. Освещенность принимается равной нулю, если источник освещения находится под плоскостью элементарного склона ($\varphi \geq 90°$ или $\beta \leq 0°$).

Обычно источник помещают на северо-западе, как это принято при ручном исполнении отмывки рельефа. Автоматизированный режим расчета освещенностей и визуализации полученной картины позволяет оптимизировать пространственное положение искусственного источника, сообразуясь с морфологическим типом рельефа и морфологией конкретного участка местности для достижения наглядности и пластичности изображения. Эффект пластичности может быть значительно усилен при использовании двух точечных источников освещения (синтеза эффекта бокового и вертикального освещения), а также путем дополнительной имитации рассеянного освещения. Помимо этого, высокореалистичное (фотореалистичное) изображение рельефа, в особенности высокогорного, в том числе альпийского, требует учета отражательного эффекта склонов, генерации и коррекции теней. Современные методы аналитической отмывки рельефа интерактивны, способны имитировать мельчайшие детали «ручного» ее исполнения, например путем интерактивной локальной коррекции освещенности участка, сообразуясь с его морфологическими особенностями.

Трехмерное представление рельефа в виде светотеневого или нитяного (каркасного) изображения (*блок-диаграммы*) — еще одна из широко распространенных функций обработки ЦМР (рис. 20).

В основе построения таких изображений (по крайней мере, основанных на представлении ЦМР моделью TIN) лежат алгоритмы компьютерной графики, разрешающие проблему удаления невидимых поверхностей при формировании трехмерных сцен и их проецировании на плоскость.

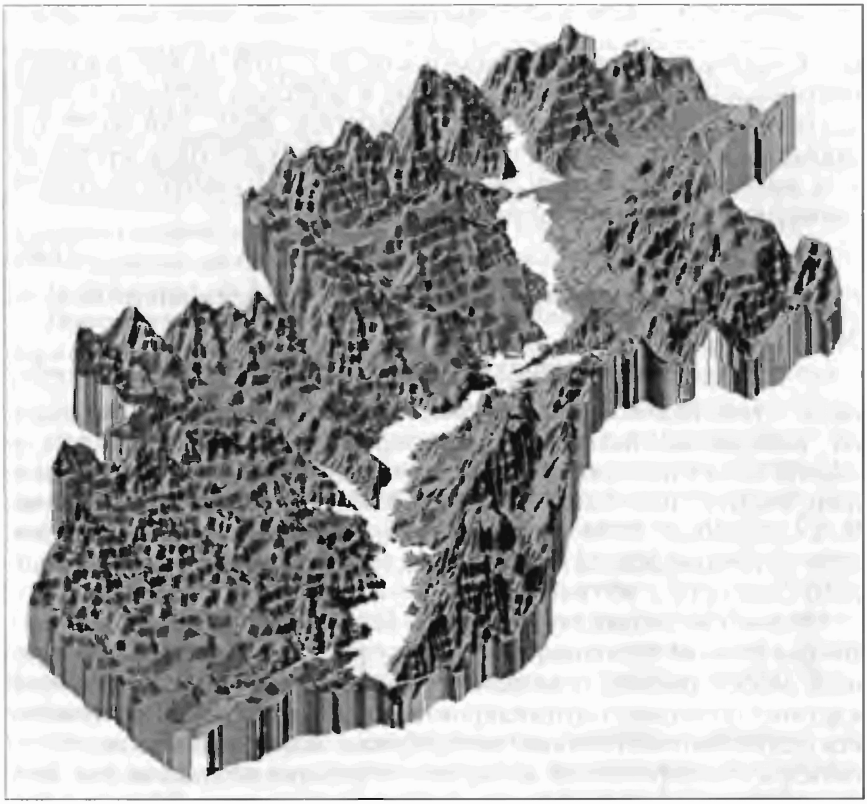


Рис. 20. Трехмерное светотеневое изображение рельефа

Подобные изображения часто называют условным термином «2,5-мерные изображения», подчеркивая их отличие от истинно трехмерных, предназначенных для стереовосприятия объемного изображения или обеспечивающих такое восприятие непосредственно.

В сочетании с «драпировкой» цифровым изображением местности такое трехмерное (точнее, 2,5-мерное) изображение рельефа способно дать ее высокореалистичный вид с высоты «птичьего полета». Динамическая серия таких изображений, имитирующая полет летательного аппарата, принадлежащая к классу виртуально-реальностных изображений, широко используется в оборонных и гражданских приложениях при обучении штурманов авиаэкипажей и морских судов. Технология *виртуальной реальности* уже становится штатной функцией обработки ЦМР в составе коммерческих программных средств ГИС (см. 2.3.3).

Анализ видимости/невидимости. Эта операция обработки ЦМР, практически невыполнимая в неавтоматизированном режиме, обеспечивает оценку поверхности с точки зрения видимости или не-

видимости наблюдателем отдельных ее частей с некоторой точки обзора, расположенной, как правило, «над» наблюдаемой поверхностью. Может рассматриваться случай видимости из множества точек (источников или приемников излучений), заданных их положением в пространстве. Известны многочисленные гражданские приложения этой операции для расчета расположения антенн сотовой и коротковолновой радиосвязи. Многочисленны также оборонные приложения этой операции для оценки маскирующих и защитных свойств местности и выбора мест размещения командных и наблюдательных пунктов. Известен пример ее использования для оценки возможности индикации возникновения лесных пожаров контролируемой территории с наблюдательных вышек на основе ЦМР и лесоустроительных планов, позволивших построить цифровую картографическую модель зон видимости/невидимости при заданной высоте обзора с учетом кривизны земной поверхности, рефракции и экранирующего эффекта лесонасаждений и решить задачу оптимизации их размещения (минимизации числа вышек при заданных конструктивных параметрах и площади, остающейся недоступной для визуального наблюдения).

Современные приложения функции анализа видимости/невидимости связаны с оценкой влияния рельефа (в особенности горного) или «рельефоидов» городской застройки на величину зоны устойчивого радиоприема (радиовидимости) при проектировании и оптимизации размещения радио- и телевещательных станций, радиорелейных сетей и систем мобильной радиосвязи.

Контрольные вопросы

1. Почему для представления рельефа требуются особые модели данных?
2. Является ли множество цифровых записей горизонталей полноценной цифровой моделью рельефа?
3. Каковы основные источники данных для создания ЦМР суши и дна акваторий?
4. Перечислите недостатки топографической карты (плана) как основного источника данных для создания ЦМР.
5. Какие математические алгоритмы применяются для создания ЦМР?
6. Каковы особенности моделей данных, используемых при создании и обработке ЦМР?
7. Какие факторы контролируют качество ЦМР?
8. Охарактеризуйте основные функции обработки ЦМР.
9. Каковы основные области использования ЦМР?

2.2.4. Математико-картографическое моделирование

Математико-картографическое моделирование (МКМ) сформировалось из многочисленных отдельных экспериментов по применению математических методов в тематической картографии в на-

чале 70-х годов XX в. [В.Т.Жуков, С.Н.Сербенюк, В.С.Тикунов, 1973; 1980]. **Под математико-картографическим моделированием понимается органическое комплексирование математических и картографических моделей в системе «создание — использование карт» для конструирования или анализа тематического содержания карт.** Математико-картографические модели могут быть элементарными, выражающимися следующим образом:

исходные данные + математическая модель =

= результат моделирования.

Под словом «данные» могут пониматься сведения, считанные с карты, или результатом моделирования будет тематическое содержание карты. Иными словами, либо на начальном этапе моделирования, либо на конечном, или сразу на этих двух этапах должна присутствовать картографическая модель, в противном случае такое моделирование уже нельзя будет назвать математико-картографическим.

Прежде всего несколько слов следует сказать о составных компонентах математико-картографического моделирования — ***картографических и математических моделях***. Что касается карты, то она представляет собой математически строго определенную формализованную модель, построение которой производится по канонам математической картографии. Моделируемая действительность на карте, как и в математической модели, передается в условной знаковой форме, но карта обладает свойством, отличающим ее от математической и любой другой модели, она визуализирует территориальную конкретность. Именно это свойство обусловливает образную наглядность картографических характеристик территории и объясняет многовековую традицию и разнообразие направлений использования карт в науке и на практике. Карта не только абстрактная знаковая, но также аналоговая модель действительности. Доказательством тому служат многообразие приемов передачи характеристики явлений посредством взаимозаменяемых способов картографического изображения, а также однозначность характеристики конкретных территориальных свойств географической действительности.

Несмотря на различия математической и картографической моделей именно математика послужила одной из важных причин возникновения и развития таких способов изображения, как картограмма или картодиаграмма, точечный или изолиний. Не являются редкостью и приемы математической статистики, издавна используемые в картосоставительской практике при проведении отбора объектов картографирования, построении шкал по количественным признакам, обобщении статистических данных и т.п. Новым для картографии явился углубляющийся процесс внедрения математических методов в формирование тематики и содер-

жания карт, приводящий к более глубокой перестройке методики их создания [В.Т.Жуков, С.Н.Сербенюк, В.С.Тикунов, 1980]. Все это позволяет говорить о возможности органического комплексирования математических и картографических моделей и нецелесообразности их противопоставления, хотя в литературе можно встретить утверждение о превосходстве одной формы моделирования над другой как в одну, так и другую сторону [Геология..., 1967; Л.Л.Ягодина, 1973, В.А.Анучин, 1982 и др.]. В качестве объектов для критики чаще всего используются примеры математического описания пространственных явлений, не имеющих даже сколь-либо глубоко разработанных логических определений. Но ведь совершенно недопустимо математическими формулами описывать то, что еще логически не осмыслено и не представлено в виде, пригодном для математического описания. Критика картографической составляющей направлена на то, что она менее точно по сравнению с математическими моделями описывает явления и др.

Обе отмеченные взаимоисключающие позиции имеют определенную почву под собой. Прежде всего этому способствовали ряд достигнутых успехов на пути математизации, внедрение этих разработок в практику, широкое распространение компьютеров и другие причины, а также упрощенное описание сложных пространственно распределенных явлений без достаточного понимания их сути, применение математических алгоритмов без учета накладываемых ими ограничений, игнорирование методов, традиционных для наук о Земле, и т.д. Иногда требовалось просто невозможное как, например, решение задачи всесторонней математической имитации сложных комплексов с учетом большого числа взаимосвязей между отдельными их компонентами и т.п. Стоит ли в этих случаях применять модели? Нет. Явление во всем его многообразии лучше изучать в натуре, чем на модели. Модель ведет к упрощениям (в разумных рамках), позволяет выявить главные типичные черты, а тем самым дает и новое знание о явлении — и в этом ее сила. Любому моделированию свойственны формалистичность построений и стремление использовать ее сильные стороны. Не подмена одних методов другими, а их взаимное дополнение с учетом сильных сторон математического и картографического методов — наиболее рациональный путь.

Сочетание математических и картографических моделей может быть самым разнообразным и выражаться как в простых формах, так и в виде сложного многостадийного процесса. Последний строится как бы из этих моделей-звеньев, которые могут быть классифицированы [В.С.Тикунов, 1979]. Математико-картографическая модель как бы синтезирует математический и картографический элементы вместе. В связи с этим отпадает необходимость классифицировать элементарные математико-картографические модели по типам применяемых в них карт или по математическому аппарату.

Такая классификация особенно интересна, поскольку и в картографии, и в математике уже существуют их деление и соответственно классификации.

В нашем случае ни картографическая, ни математическая компоненты по отдельности не определяют вид МКМ. Образно говоря, математический аппарат подобен мясорубке, которая лишь перекручивает, перерабатывает данные и представляет их в более удобном для анализа виде, вскрывает затушеванные закономерности и т.д., чаще всего фиксируемые на картах. Основываясь на данных положениях, была разработана классификация ***элементарных математико-картографических моделей.***

А. Модели структуры явлений.

I. Модели структуры пространственных характеристик явлений.

II. Модели структуры содержательных характеристик явлений.

В. Модели взаимосвязей явлений.

I. Модели взаимосвязей пространственных характеристик явлений.

II. Модели взаимосвязей содержательных характеристик явлений.

С. Модели динамики распространения (развития) явлений.

I. Модели динамики пространственного распространения явлений.

II. Модели динамики содержательного развития явлений.

Несмотря на различие моделей пространственных и содержательных характеристик, здесь нет разрыва диалектического единства пространства и содержания, но в одном случае на первый план больше выступает первое свойство, а в другом — второе. Обратимся к конкретным примерам конструирования элементарных моделей. Это позволяет уяснить необходимость подразделения моделей структуры, взаимосвязей и динамики на два подвида. Например, создание моделей потенциала поля расселения, равномерности размещения населенных пунктов, аппроксимации статистических поверхностей (модели структуры); модели согласованности контуров объектов между собой, корреляции пространственного варьирования характеристик двух явлений (модели взаимосвязей); модели пространственного распространения эпидемий или диффузии загрязнения, миграций населения (модели динамики) невозможно осуществить без учета в процессе математической формализации пространственного аспекта, без привлечения пространственных координат, фиксирующих положение явлений. Необходимость использования пространственных координат явлений заложена в строении данных алгоритмов.

С другой стороны, при многомерной группировке территориальных единиц по комплексу показателей в однородные группы (модели структуры); при моделировании соответствия распределения занятых в отраслях хозяйства по стране в целом и по едини-

нам ее административного деления (модели взаимосвязей); при прогнозировании роста городов по данным за ряд предыдущих лет (модели динамики) сведения о пространственном положении явлений в процессе математического моделирования не учитываются. Ставится задача проанализировать структуру, взаимосвязи или динамику явлений любой территориальной единицы по сравнению с другими, вне зависимости от того, где они расположены. Однако зачастую результаты математического моделирования содержательных характеристик явлений наносятся на карту, что придает им пространственную определенность. Это позволяет анализировать полученные результаты по отношению друг к другу в пространстве и дает им дополнительные преимущества перед другими формами представления результатов моделирования, например таблицами, списками, что также часто встречается в географии и экологии. Примеры конструирования элементарных моделей всех пунктов приведенной классификации представлены в работе [В.С.Тикунов, 1985; 1997].

Используя возможность комбинации отдельных звеньев — элементарных моделей в процессе поэтапного моделирования — можно решать задачи большой сложности поблочно, расчленяя их на частные задачи, не требующие применения объемных математических расчетов. При этом сложность конструктивного решения каждого элемента моделирования также определяется характером исходных данных, средствами и путями моделирования. Правда, в настоящее время в большинстве случаев процесс моделирования ограничивается формированием единственной первичной ячейки. Такое положение соответствует случаям решения частных задач исследования при изучении относительно простых пространственных явлений. Если же исследование планируется более разносторонне, то с помощью подобных элементарных моделей реализовать это вряд ли удастся. В этом случае возникает необходимость создания и практического применения комбинационной системы моделей — ***сложных математико-картографических моделей*** — и зачастую процесс моделирования реализуется в интерактивном режиме.

Наиболее распространенным видом таких моделей стали цепочкообразные построения, в которых каждый новый элемент создается на основе результата реализации предыдущего элемента — элементарного звена. В литературе можно найти ряд примеров создания цепочкообразных моделей [В.С.Тикунов, М.А.Флоринский, 1981; Е.А.Сиголаева, В.С.Тикунов, 1986; К.Н.Дьяконов, Н.С.Касимов, В.С.Тикунов, 1996; В.С.Тикунов, 1997]. Укажем здесь на исследование по типологии пахотных почв [В.С.Тикунов, М.А.Флоринский, 1981], которое в классическом виде воспроизводит этапы конструирования типичной цепочкообразной модели. Так, на основе карты рельефа был реализован алгоритм

вычисления углов наклона и экспозиции склонов, а также по исходным данным созданы карты аппроксимации всех остальных исходных показателей, что определило первое звено цепочки. Этот этап послужил основой для построения второго звена, когда на базе корреляционной модели были созданы корреляционные карты. Компонентный анализ и карты первых главных компонент образовали третье звено и, наконец, алгоритм дифференциации территории и соответствующая карта обозначили последнее звено сложной модели. Такое конструирование многоступенчатой модели позволило на каждом этапе при построении карт корректировать набор показателей (например, из расчетов был исключен показатель экспозиции склонов) и производить определенный анализ, необходимый для познания всего явления, характеризуемого целым набором показателей в их взаимной связи.

Примером другой формы комплексирования моделей могут служить сетевые комбинации, когда на единой информационной базе параллельно реализуется ряд алгоритмов, из которых на завершающей стадии формируется один окончательный картографический результат. Конструирование сетевой модели можно проиллюстрировать примером количественного определения уровней развития отраслей обрабатывающей промышленности по префектурам Японии [В.Я. Росин, В.С. Тикунов, 1982]. Для обработки системы из 12 исходных показателей по 46 префектурам применялось три алгоритма, позволивших получить количественные синтетические оценки уровней развития обрабатывающей промышленности в префектурах. Использованные методы дали близкие, но не идентичные результаты, поэтому полученные оценки прежде всего были закартографированы для содержательного анализа, а потом было принято решение их осреднить. Заметим, что результаты классификаций картографировались с использованием бесступенчатых шкал, передающих конкретные значения синтетических характеристик размером отстояния штриховок друг от друга. Для того чтобы шкалы штриховок на всех трех картах были сопоставимы друг с другом, независимо от полученных абсолютных значений оценки, они стандартизировались. Далее, если по каждой префектуре на основе трех значений отстояния штриховок вычислить их среднеарифметические значения, то полученная карта будет аккумулировать в себе результаты реализации всех использованных моделей, условившись считать все три способа моделирования равноценными. Созданием данной карты завершается конструирование сетевой модели. Однако возможности предложенной методики позволяют также оценить близость каждого варианта к осредненному и даже закартографировать эти отличия.

Третий вид сложных моделей — древовидные комбинации, при которых на основе одной математической модели создается серия карт одной тематики. Конструирование сложных древовидных мо-

делей позволяет отображать явления в многообразии их сторон, в чем проявляется одно из свойств этих моделей. Осуществляется это через возможность многоплановости раскрытия сюжета на картах. Получение серий карт сходной тематики на конечных стадиях моделирования особенно важно, так как именно эти карты, в отличие от рабочих, промежуточных карт позволяют оценить точность всего процесса моделирования и представляют его результаты. В качестве конкретного примера реализации такого вида моделей можно привести опыт создания корреляционных карт урожайности картофеля в европейской части России за 1947—1975 гг. [В. С. Тикунов, 1985]. Вначале были сформированы временны́е ряды урожайности по 52 областям, а также аналогичные ряды в среднем для территории бывшего СССР, России, экономических районов и однородных групп областей. Ряды урожайности имели пропуски, которые восстанавливались по алгоритму Р. А. Фишера [1957], ранее опробованному в ряде исследований [С. Н. Сербенюк, 1970; В. Т. Жуков, С. Н. Сербенюк, В. С. Тикунов, 1980 и др.]. Для проверки полученных данных их целесообразно закартографировать и проанализировать, не противоречат ли восстановленные данные территориальным закономерностям, что может позволить выявить возможные грубые ошибки и исправить их на данном этапе моделирования. Одновременно оказывается полезным составлять аналитические карты урожайности не только за отдельные годы, но и по среднемноголетним данным. Алгоритм восстановления данных, определяющий первый этап сложной модели, позволил получить статистические сведения, пригодные для последующей реализации Q-схемы корреляционного анализа. Были прокоррелированы между собой ряды урожайности за 29 лет, соответствующие бывшему СССР в целом и 52 областям, включенным в анализ. Это позволило через величину коэффициентов выразить степень статистического сходства динамики урожайности картофеля каждой из областей по отношению к средним по стране данным. Картографирование вычисленных коэффициентов корреляции дает возможность проследить их пространственное варьирование. Однако известно, что расчет коэффициентов корреляции по динамическим рядам затруднен, так как они имеют тренд, который искажает значения коэффициентов. Поэтому был еще этап элиминирования этого тренда. Аналогично коррелировались и картографировались ряды областей и России в целом, экономических районов, результатов классификаций областей. Все это вылилось в создание большой серии однотипных карт. Построенная модель позволяет отобразить одно и то же явление как бы под разными углами зрения и избежать односторонности получаемых по карте выводов. Таким образом, проведенное исследование в классическом виде воспроизводит этапы конструирования древовидной модели.

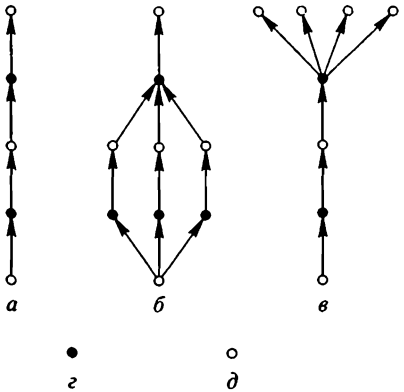


Рис. 21. Варианты конструирования сложных моделей:

а — цепочкообразных; *б* — сетевых; *в* — древовидных. Элементы моделей: *г* — математические; *д* — картографические

Общий вид типичных сложных моделей приведен на рис. 21. Основные выводы из работ по конструированию сложных моделей сводятся к следующим положениям. Прежде всего выделенные типовые схемы сложных моделей ориентированы на различные пути изучения географических явлений — путь последовательного исследования элементов явления (цепочкообразные модели); путь сравнительного их изучения (сетевые модели) и путь многопланового отображения и изучения различных сторон явлений (древовидные модели). В картографическом плане это соответственно сводится к созданию набора последовательно взаимосвязанных в технологическом, но не в содержательном аспекте карт; различных вариантов одной и той же карты; серии карт одной содержательной тематики. При конструировании сложных моделей из элементарных звеньев, требующих различных исходных данных и приводящих к созданию различных типов карт, невозможно определить их типичное информационное и математическое обеспечение и вид результирующих изображений.

Естественно предположить возможность комбинирования данных форм моделей в другие смешанные или найти какие-то новые виды конструирования сложных моделей. Однако приведенные формы моделей, на наш взгляд, вызваны к жизни потребностями практики и типичны для широкого круга задач. Детально описанные примеры построения сложных моделей можно найти в работе [В. С. Тикунов, 1985; 1997].

Комплексирование сложных моделей во всех указанных формах таково, что каждое ее элементарное звено генетически связано с другими звеньями, а их совокупность образует процесс, единый в технологическом, информационном и многих других отношениях. В этом случае результат каждого этапа моделирования зачастую представляется в виде карты, однако картографическая компонента может полностью выпускаться из отдельных элементарных промежуточных звеньев. На различных этапах сложного процесса моделирования естественно допускается привлечение дополнительной информации.

Любое моделирование непременно завершается оценкой ***надежности*** полученных результатов. Надежность зависит от всех этапов моделирования, начиная с анализа различных подходов при фор-

мулировке задачи и целей исследования, информационного обеспечения и методов моделирования, а также способов представления результатов моделирования [В.С.Тикунов, 1982]. Иными словами в связи с большой сложностью географических явлений их моделирование можно будет считать действительно надежным, если подходить к нему комплексно, четко определив тип решаемой задачи, правильно оценив информационную обеспеченность и выбрав наиболее подходящий алгоритм моделирования, а в заключение проведя оценку получаемого результата.

Влияние каждого из перечисленных этапов моделирования на его надежность показана в книге [**В.С.Тикунов**, 1997]. Здесь остановимся на центральном моменте всего процесса моделирования — оценке надежности математических алгоритмов. Простейший, но достаточно эффективный подход — визуальное сравнение результатов моделирования на основе ряда алгоритмов и их содержательно-географический анализ. Такой эксперимент проведен нами при создании карты оценки природных условий для жизни населения Забайкалья [С.Н.Сербенюк, В.С.Тикунов, 1974; В.С.Тикунов, 1985]. Однако в некоторых случаях бывает не просто сформулировать критерии сравнения различных вариантов при моделировании географических явлений. Поэтому вполне возможно также обсуждать достоинство полученных результатов на уровне их логического анализа. Например, предлагается использовать метод экспертных оценок — метод коллективного опыта [Ю.Г.Симонов, И.И.Невяжский, 1978].

Иногда возможно не только качественно, но и количественно оценить степень надежности того или иного алгоритма моделирования. Например, при вычислении углов наклона и экспозиции склонов оказалось возможным как бы на модельной полусфере «теоретически точно» вычислять углы наклона и экспозиции склонов и сравнивать их с результатами, которые дают разработанные алгоритмы. Это позволяет подсчитывать среднеквадратические отклонения и суммы квадратов разностей между теоретически определенными углами и найденными с помощью разработанных алгоритмов и после этого выбрать лучший из них [Л.Коэ, В.С.Тикунов, Л.Торп, 1981]. Визуальное сравнение карт углов наклона и экспозиций склонов, созданных на основе реализации разных алгоритмов, такой выбор наилучшего алгоритма для моделирования сделать не позволяет.

На наш взгляд, возможна также методика предварительного опробования модели для получения результатов, которые известны заранее, с последующим ее применением для решения других аналогичных задач. Например, метод восстановления пропущенных данных Р.А.Фишера [1957], опробованный на модельном примере [С.Н.Сербенюк, 1970; В.Т.Жуков, С.Н.Сербенюк, В.С.Тикунов, 1980], что позволило количественно сравнить условно недостающие и восстановленные данные, в дальнейшем использо-

вался для заполнения пропусков в динамических рядах урожайности картофеля, когда проверить качество работы алгоритма уже сложно. Известны и другие пути оценки надежности моделирования [В.С.Тикунов, 1985], в частности математическое сравнение алгоритмов [Д.А.Гриффит, В.С.Тикунов, 1990].

Одним из перспективных свойств математико-картографического моделирования можно считать его ***многовариантность***. Аналогично надежности, пути проявления многовариантности разнообразны и также охватывают все стадии моделирования, начиная с анализа различных подходов при формулировке задачи и целей исследования, многообразия информационных описаний объектов, методов моделирования, разнообразных результатов реализации алгоритмов, способов их представления, что показано в статье [В.С.Тикунов, 1990].

Так, например, на этапе информационного обеспечения возможно использование различных массивов данных для характеристики одного и того же явления. Особенно это важно для моделирования абстрактных синтетических характеристик, таких как уровень социально-экономического развития стран и др. Возможно использование различных систем исходных показателей, обрабатываемых по одному алгоритму, с однотипным представлением результатов моделирования для того, чтобы надежность итоговых выводов зависела только от информационного обеспечения моделирования.

Другое проявление многовариантности может быть связано с возможностью обработки одного информационного массива по различным алгоритмам. В данном случае надо следить за тем, чтобы все алгоритмы правильно отображали сущность моделируемых явлений. Необходимо также учитывать точность получаемых результатов при использовании всех алгоритмов, которая должна быть примерно одинаковой, что важно для получения единого окончательного результата. В противном случае к результатам придется относиться с различной степенью доверия, учитывать их с различным «весом», хотя такая оценка сама по себе зачастую непроста и трудновыполнима. Параллельное использование ряда математических методов для получения одного окончательного варианта становится все популярнее, чему в немалой степени способствует широкое распространение вычислительной техники и совершенствование библиотек программ.

Многовариантность может быть связана с отображением результатов моделирования, зачастую в виде картографических изображений, хотя это, естественно, далеко не единственная форма. Язык карты столь богат и гибок, что, несмотря на многовековую историю его использования, появляются все новые разновидности отображения явлений на картах и процесс этот, несомненно, будет продолжаться. Определенный скачок в разработке новых способов

изображения связан с автоматизацией воспроизведения картографических изображений. Технические средства позволили использовать такие способы, реализация которых ранее была трудоемка или неэффективна, например, бесступенчатые картограммы. Разнообразие способов представления результатов моделирования позволяет выбрать окончательный вариант, наилучшим образом передающий сущность явлений, наглядность изображений, целесообразность технологии воспроизведения и размножения карт. Здесь важна также форма представления окончательного результата в виде традиционных карт на бумаге, награвированных изображений на пластике, фотокопий, микрофильмов и т.д.

Многовариантность, проявляющаяся в возможностях параллельного использования информационных массивов, математических алгоритмов и способов отображения результатов моделирования, приводит к повышению надежности окончательного результата. Этот вывод можно сделать, опираясь на работу [Б. Б. Серапинас, 1983], где показано, что при двух независимых вариантах решения с надежностью каждого, например, 0,684 надежность окончательного результата повышается до 0,900. В этом случае вероятности получения надежных результатов определяются по формуле

$$P = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - P_i), \qquad (2.46)$$

где P_i — вероятности того, что погрешности не превышают допустимых пределов в каждом варианте исследования (если считать погрешности независимыми) [К. Капур, Л. Ламберсон, 1980], хотя с ростом числа вариантов замедляется рост надежности окончательного результата. Многообразие проявлений многовариантности при моделировании географических явлений показано на примере оценки уровней социально-экономического развития стран Азии, Африки, Латинской Америки и Океании [**В. С. Тикунов**, 1997].

В заключение подведем наиболее значимые итоги практической целесообразности использования математико-картографического моделирования. Вначале констатируем, что этот вид моделирования еще не нашел должного внедрения в геоинформатике и поэтому такой анализ необходим, т.е. прежде всего нужны теоретические обобщения, выявление и характеристика соотношения формальных и эвристических компонент моделирования на основе целенаправленного системного подхода. Основная тенденция в области математико-картографического моделирования — переход от его развития по эмпирическому пути на рельсы теоретического обоснования. В процессе этой эволюции моделированию на первых порах приписывались неограниченные возможности, в том числе в области имитации сложных явлений, изучаемых во всем их многообразии. Далее опыт исследований и ряд неудач охладили интерес к вопросам моделирования как к модному увлечению,

«опустили его на землю». Это, по-видимому, послужило импульсом к необходимости теоретических разработок, к определению области рационального использования методов математико-картографического моделирования.

Данное моделирование в настоящее время применяется как в картосоставлении, так и картоиспользовании, образуя единое ядро в пределах системы «создание — использование карт». Например, математические модели, пригодные для моделирования тематического содержания карт, находят применение при использовании карт в географических и экологических исследованиях, и наоборот. В настоящее время можно говорить о формировании единого методического аппарата, охватывающего оба крыла тематической картографии. Комплексирование математических и картографических моделей позволяет использовать их сильные стороны, а сам процесс реализации моделирования становится диалоговым. Здесь результаты математических построений зачастую представляются в виде карт, что позволяет производить поэтапную оценку результатов, находить ошибки, исправлять их, корректируя дальнейший процесс моделирования, и т.д.

Все большее внимание ученых привлекает перспективность комплексирования карт с аэро- и космическими материалами. В науках о Земле некоторые графические и статистические приемы, разработанные применительно к созданию карт, переносятся на преобразованные аэро- и космические изображения для нужд картографии. Появляется возможность моделирования быстро меняющихся явлений, таких как снежный покров, состояние сельскохозяйственных посевов, загрязнение акваторий, распространение лесных пожаров и многое другое.

Все острее встает задача создания проблемно-ориентированных библиотек для решения картографических задач в среде ГИС. Однако своеобразие и даже уникальность многих пространственно-распределенных явлений в значительной мере препятствует разработке стандартных вычислительных программ и типовых схем, не изменяемых в каждом конкретном случае в зависимости от содержательных особенностей явлений. Для создания карт, наилучшим образом отражающих исследуемые стороны действительности, в ближайшей перспективе видимо придется экспериментально подбирать математические модели, отрабатывать рациональные пути имитационного моделирования, искать оптимальные варианты карт.

Следует также обратить внимание на выработку путей оптимизации построения моделей. Главная задача здесь видится в целенаправленном, обоснованном отборе и трансформации математических алгоритмов для наиболее точного и адекватного описания исследуемой реальности.

Наконец, представляется существенным подчеркнуть опасность гипертрофирования технических аспектов моделирования. Имен-

но такая гипертрофия приводит иногда к сугубо техническому взгляду на моделирование. Создается впечатление, что можно развивать технику моделирования безотносительно к конкретному содержанию исследуемых явлений. Узкотехнический подход, который нередко прикрывает неспособность вникнуть в существо моделируемых явлений, недостаточен для правильного решения проблем картографии и геоинформатики. Успех моделирования определяется рядом условий, в том числе правильной постановкой задачи, исходя из существа отображаемых явлений, обоснованным подбором исходной информации и алгоритмов, соответствующих задачам исследования и реализуемых с использованием современных средств геоинформатики.

Контрольные вопросы

1. В чем отличие математико-картографического моделирования от других видов моделирования, реализуемых в геоинформационной среде?
2. Охарактеризуйте элементарные и сложные математико-картографические модели.
3. Как классифицируют элементарные модели?
4. Назовите различия и общие черты картографической и математической компонент в МКМ.
5. Укажите роли основных составляющих элементов математико-картографического моделирования в процессе их конструирования.
6. В чем заключается специфичность построения цепочкообразных математико-картографических моделей?
7. Каковы особенности конструирования сетевых математико-картографических конструкций?
8. Что такое древовидные модели и как они могут быть реализованы?
9. Дайте краткую характеристику многовариантного математико-картографического моделирования.
10. Охарактеризуйте возможности оценок достоверности моделирования.
11. Каким образом может проявляться многовариантность моделирования?
12. В каких областях своей работы вы могли бы использовать методы математико-картографического моделирования?
13. Обоснуйте перспективы математико-картографического моделирования.

2.3. Визуализация данных

2.3.1. Картографическая визуализация

Невозможность непосредственного восприятия человеком цифровых моделей, представляющих пространственные данные в ГИС, и использование их исключительно в среде компьютера обуслов-

ливает необходимость *визуализации* данных. Не всякая визуализация цифровых данных может удовлетворить пользователя ГИС. Просмотр на экране компьютера списков координатных пар, описывающих линейные объекты — занятие не только скучное, но и бессмысленное. Другое, казалось бы, дело — таблицы атрибутов пространственных объектов. Их создание, редактирование, обновление, корректура, верификация — необходимые операции подготовки данных как основы информационного обеспечения системы. Однако целостного представления о пространственных данных, полностью адекватного их пространственной сути, ни текст, ни таблица дать не могут. Его может дать только графическая визуализация данных, выражающая и отображающая данные в единстве их позиционной и непозиционной составляющих. На практике графическое воспроизведение данных приобретает черты картографического изображения, поэтому почти всегда, говоря о визуализации данных в ГИС, имеется в виду их картографическая визуализация. Ее объект чаще всего не сами данные (цифровые модели), а описываемые ими реальные пространственные объекты. Исключения немногочисленны, и из немногих примеров визуализации собственно данных можно назвать графику, иллюстрирующую результаты создания топологии, объектами отображения которой являются дуги, узлы, псевдоузлы, висячие линии, дубликаты линий и другие артефакты — абстрактные конструкции, не имеющие прообраза в реальности (на местности).

Графика в ГИС становится собственно картографической с введением в нее математической основы и традиционной для карт символики. Назначение картографической графики в ГИС различно. Бóльшая ее часть генерируется пользователем в утилитарных целях реализации геоинформационного проекта и служит рабочим материалом для разработчиков и пользователей. Главная функция картографической графики в ГИС — служить *интерфейсом* между человеком и машиной. Это своеобразный картографический интерфейс, дополняющий *графический интерфейс пользователя*, обычный для любого программного продукта, включая программные средства ГИС. Наращивание функциональности современных программных средств ГИС привело, однако, к тому, что их визуализационно-картографические возможности приблизились к возможностям специализированных средств *автоматизированного картографирования*, *автоматизированных картографических систем* (АКС), например систем настольного картографирования. Блок картографической визуализации в ГИС стал использоваться не только как средство документирования ее результатов, но и как один из инструментов автоматизированного картографирования.

Спектр взаимодействия картографии и геоинформатики в части разработки новых типов карт и других *геоизображений*, существующих в цифровой среде или порождаемых ею, чрезвычайно

широк; речь о них уже шла при характеристике *цифровых* (см. 2.1.3) и *электронных* карт. Так, ранее говоря о цифровых картах, мы имели в виду, что и сами эти карты, а вернее цифровые модели карты и технология их создания и использования принадлежат области картографии, а именно, картографии цифровой, а в еще более общем смысле — *автоматизированной картографии.*

Электронные карты (ЭК) — это картографические изображения на *видеоэкране* компьютера как результат визуализации некоторых цифровых данных. Такое толкование опирается на исторически сложившееся в научной литературе по геоинформатике и автоматизированной картографии разделение двух типов картографических изображений, генерируемых компьютером, на бумажные *компьютерные карты* (и атласы), в изобилии производившиеся с помощью разного рода устройств компьютерной графики еще в 70—80-е годы XX в. и электронные видеоэкранные карты, которыми стали обозначать изображения, генерируемые тем же компьютером не на «твердом» материале (преимущественно бумаге), а на экране дисплея (монитора, видеомонитора), т.е. на видеоэкране. Англоязычная традиция закрепила обозначение этих типов изображений (не только картографических), «бумажных» и «безбумажных», в терминах «hardcopy» и «softcopy» соответственно. Происхождение термина «электронная карта» принято связывать с наименованием главного конструктивного элемента видеоэкрана того времени — электронно-лучевой трубки (ЭЛТ; от *англ.* cathode ray tube, CRT), с термином, в свое время употреблявшемся как синоним дисплея. Электронные карты, в том числе организованные в виде электронных атласов, — сфера обоюдных интересов и картографии, и геоинформатики.

Генерация электронных карт поддерживается более или менее многофункциональным программным средством типа картографических *визуализаторов* и *браузеров* (броузеров, просмотровщиков, обозревателей), а также визуализационными модулями систем настольного картографирования или ГИС. Поэтому производители продукции электронного картографирования — ЭК или *электронных атласов* (ЭА) как систем, поддерживающих генерацию ЭК для внешнего использования вне программной среды их создания (в том числе при тиражировании коммерческих ЭК и ЭА), а следом и пользователи этой продукции стали понимать под ними не сами актуально визуализированные данные (изображения), а цифровые записи, предназначенные для их картографической визуализации, вместе с программным средством, ее обеспечивающим. С этой точки зрения, как продукт, тиражируемый в настоящее время обычно на компакт-дисках, ЭК являются средством генерации электронных карт в приведенном выше смысле слова, цифровыми записями, которые, если иметь соответствующие аппаратно-программные средства (привод CD-ROM и какое-либо сред-

ство визуализации, картографический визуализатор, как правило, прилагаемый к записям), потенциально могут быть воспроизведены на дисплее (или, при необходимости, и на «бумаге»).

Два значения сути ЭК как изображения и как электронного произведения (электронного издания) может быть объединено в их определении, утверждающем, что электронная карта это:

1) картографическое изображение, визуализированное на *дисплее* (видеоэкране) *компьютера* на основе данных *цифровых карт* или *баз данных* ГИС в отличие от *компьютерных карт,* визуализируемых невидеоэкранными средствами графического вывода;

2) картографическое произведение в электронной (безбумажной) форме, представляющее собой цифровые данные (в том числе *цифровые карты* или *слои* данных ГИС), как правило, в записях на диске *CD-ROM,* вместе с программными средствами их *визуализации,* обычно картографическим *визуализатором* или картографическим браузером (map browser), предназначенное для генерации электронных карт.

Различные толкования ЭК основаны, по существу, на двух значениях слова «электронный» в составе аналогичных терминов «электронный офис», «электронный документ», «электронные средства связи», «электронное цветоделение» и т.п.: это альтернатива «бумажного» и синоним «компьютерного». Как произведение, публикуемое нетрадиционными средствами, ЭК (и электронные атласы) принадлежат к типу электронного издания, которое толкуется как «издание, представляющее собой электронную запись информации (произведения) на магнитном диске, компакт-диске и т.д., рассчитанную на использование с помощью электронных технических устройств» [А.Э.Мильчин, 1998].

Анализируя картографические возможности ГИС-пакетов, можно отметить, что в них реализованы далеко не все известные картографические способы изображения. В одной из наиболее развитых в этом отношении ГИС ArcView реализованы способы, названные в мастере тематического картографирования отдельным символом, цветовой шкалой, уникальным значением, локализованной диаграммой, плотностью точек (для полигональных слоев), масштабируемым символом (для точечных и линейных слоев). Если перевести этот перечень с языка деловой графики на язык классификации способов, принятый в отечественной картографии, то получим картограммы, картодиаграммы, локализованные диаграммы, линейные знаки, значки, точечный. Использование описанных далее функций зонирования, районирования, оконтуривания и построения изолиний позволяет добавить также способы ареалов, изолиний, псевдоизолиний, качественного и количественного фона.

Большое значение при реализации способов имеет возможность перехода от непрерывных шкал количественных характеристик к

дискретным шкалам с разным числом градаций и различными методами определения границ интервалов дискретных шкал. Например, в ArcView GIS 3.2 это пять методов: равноплощадной, равных интервалов, естественных границ, квантилей и стандартных отклонений.

Равноплощадной метод позволяет классифицировать полигоны по интервалам в значениях атрибутов так, чтобы общая площадь полигонов в каждом классе составляла примерно одну и ту же величину.

Метод равных интервалов позволяет выделить интервал, в пределах которого находятся значения атрибута, делящийся на равные части.

В методе квантилей границы интервалов атрибутов определяются таким образом, чтобы в каждый из них попало равное количество объектов.

В методе стандартных отклонений построение интервалов начинается со среднего значения атрибута, а значение интервалов выражается в долях стандартного отклонения (корень из дисперсии) в зависимости от числа интервалов.

Мастер построения тематических карт в системе MapInfo Professional предлагает семь способов картографического изображения диапазонов, столбчатых и круговых диаграмм, значков, точечный, отдельных значений и поверхностей.

Все способы кроме последнего аналогичны подобным для системы ArcView GIS. Так же, как в ArcView GIS, переход от непрерывных шкал количественных характеристик к дискретным может происходить по нескольким алгоритмам; равное количество записей, равный разброс значений, естественные группы, на базе дисперсий и квантилей. Есть отличия как в наборе алгоритмов, так и в сути способов, имеющих одинаковое наименование.

Особого внимания заслуживает способ поверхностей или растровых поверхностей. По точечным данным исходной таблицы выполняется интерполяция значений в центрах ячеек регулярной сетки одним из предлагаемых программой способов. Полученный файл сетки отображается в окне карты. Естественно, что этот способ используется преимущественно для показа явлений, имеющих непрерывное распространение на картографируемой территории.

MapInfo содержит модули, которые предусматривают чтение некоторых файлов поверхности, например: DEM-USGS Text (*.dem), DTED-levels 1,2,3 (*.dt0, *.dt1, *.dt2), GTOPO30 (*.dem).

В MapInfo Professional включены два алгоритма интерполяции для создания GRID-поверхностей: IDW (средневзвешенная интерполяция с весами, обратно пропорциональными n-й степени от расстояния) и TIN (линейная интерполяция по нерегулярной триангуляционной сети).

IDW-метод, для которого значение показателя T в точке с координатами a и b выполняется по формуле

$$T = \frac{\sum T_i P_i}{\sum P_i}, \tag{2.47}$$

где $P_i = 1/\rho^n(x_i, y_i, a, b)$ — вес, обратный n-й степени расстояния от точки с координатами x_i, y_i до точки с координатами a, b; T_i — значение показателя T в точке с координатами a, b.

Усреднение производится по всем исходным точкам, попавшим в круг заданного радиуса с центром в точке с координатами a, b.

Для обработки неоднозначных ситуаций задаются расстояние, на котором исходные точки считаются совпадающими, и метод обработки совпадающих исходных точек (минимум, среднее, сумма и т.п.).

TIN-метод предполагает строительство нерегулярной триангуляционной сети на базе исходных точек. Далее для любой точки с координатами x, y значение показателя T может быть вычислено по значениям показателя в вершинах того треугольника сети, в который попадает эта точка, и координатам этих вершин (T_1, x_1, y_1), (T_2, x_2, y_2), (T_3, x_3, y_3) по формуле линейной интерполяции:

$$T = (S_1 T_1 + S_2 T_2 + S_3 T_3)/S, \tag{2.48}$$

где S — площадь треугольника с вершинами в точках (x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3); S_1 — площадь треугольника с вершинами в точках (x, y), (x_2, y_2), (x_3, y_3); S_2 — площадь треугольника с вершинами в точках (x, y), (x_1, y_1), (x_3, y_3); S_3 — площадь треугольника с вершинами в точках (x, y), (x_2, y_2), (x_1, y_1).

На базе GRID-моделей реализовано построение 3D-изображений, которые можно вращать, сдвигать, менять точку наблюдения, масштабировать, включать режим освещения, «натягивать на них» другие слои. Само визуальное представление может иметь вид обычной поверхности и каркасной модели (см. 2.3.3).

В MapInfo Professional реализован еще один эффектный метод представления информации, который назван **«карта-призма»**. В картах-призмах высота создаваемых на полигонах, как на основаниях, призм зависит от показателя в выбранном столбце таблицы базы данных. На карте-призме можно цветом отобразить изменение еще одного показателя. Такое изображение составители документации назвали бивариантным.

Часто ГИС рассматривают лишь как средство автоматизированного построения карт и, соответственно, переносят на геоинформатику все требования и понятия картографии. Конечно, геоинформатика позаимствовала многое из картографии, однако, с одной стороны, возможности ГИС во многих элементах существенно

превосходят возможности традиционного создания и использования карт, а, с другой, отношение к цифровым данным у пользователей ГИС гораздо более строгое, чем к аналоговой информации у пользователей традиционных карт.

С учетом изложенных выше представлений об электронной карте под ***электронным атласом*** **понимается система, включающая цифровые данные и средства генерации электронных карт**. Это аппаратно-программное средство генерации ЭК, а также иных некартографических элементов, образующих содержание ЭА в составе систем автоматизированного картографирования и/или ГИС на основе цифровых моделей карт или цифровых представлений (моделей) пространственных объектов в виде самостоятельных продуктов (произведений) электронной картографии (электронного картографирования).

Прообразом всех электронных атласов считают широко известный в свое время британский проект «Domesday» — электронную энциклопедию Великобритании на оптических носителях с разнообразными картографическими материалами, изданную во второй половине 80-х годов XX в.

Первым ЭА, получившим широкий международный резонанс, в том числе и на Международной картографической конференции в Мексике (1987), был Атлас Арканзаса. По содержанию он мало отличался от традиционных комплексных атласов штатов США (мы бы назвали его «комплексным региональным»), включал около 100 карт, объединенных в 16 глав и отражающих физико-географические, социально-экономические и историко-географические характеристики штата, выполняя обычные справочные и обучающие функции. Однако этим схожесть с традиционным атласом ограничивалась. С точки зрения пользователя он представлял собой совокупность видеоэкранных изображений, разбитых на страницы и сюжетные группы, «перелистываемые» и просматриваемые командами с клавиатуры. Других функций первое издание ЭА не предусматривало. Вполне ординарные аппаратно-программные средства, необходимые для работы с ним, делали его общедоступным. Предполагалось, что обновленная электронная версия атласа будет изготовляться ежегодно, а параллельная ей бумажная — один раз в три года. Создатели приводят один из главных аргументов в пользу ЭА как основного продукта (наряду с очевидными преимуществами в оперативности создания и, в особенности, обновления) — малозатратность. Расходы на подготовку ЭА не превысили 118 тыс. долл., в то время как затраты на «бумажный» атлас штата составляли от 500 тыс. до 1 млн долл.

В настоящее время ЭА и другие произведения и издания на компакт-дисках и в Интернете, существенный элемент содержания которых составляют электронные карты, вполне обычны. Совре-

менное разнообразие продукции ***электронного атласного картографирования*** требует ее анализа и классификации.

Классификация ЭА может быть проведена по двум основаниям.

Во-первых, по их содержанию, назначению и территориальному охвату, т.е. по традиционным принципам, сформировавшимся в атласном картографировании; это классификация атласов как «бумажных» изданий.

Во-вторых, по функциональным особенностям и возможностям ЭА, которые отличают их от традиционной бумажной продукции. В основе второй классификации лежат функции программных средств, поддерживающих визуализацию цифровых записей в форме электронных карт, а также дополнительные функции, присущие современным средствам типа картографических визуализаторов или браузеров с возможностями, дублирующими некоторые операции полномасштабных программных средств ГИС.

Нетрудно заметить, что электронные атласы копируют все типы продукции бумажного атласного картографирования. Электронные издания, воспроизводя набор свойств, традиционных для атласного картографирования, добавляют к нему множество функциональных возможностей, которые могут быть реализованы исключительно в цифровой среде. Поэтому типологию ЭА разумно строить, исходя из их функций. Одна из функциональных классификаций предложена Ф. Ормелингом в виде трехмерной матрицы классификации «***атласных информационных систем***», выделяющих **визуализационные**, **интерактивные** и **аналитические функции** и **соответствующие им типы ЭА** [F. Ormeling, 1995].

В более широком смысле функциональные рубежи, которые могут использоваться при типологии, связаны с форматами ЭК (как правило, растровыми и векторными), интерактивностью/неинтерактивностью работы с ними, возможностью/невозможностью оперирования атрибутивной частью данных, ввода новых пространственных объектов и их атрибутирования, встраивания некартографических элементов содержания ЭА (поддержки многосредности), генерации нефиксированного (произвольного) набора карт по множеству исходных данных с использованием развитых средств их графического оформления, использования операций пространственного анализа. Функциональная классификация ЭА может быть представлена набором их типов, отражающих богатство функций, обслуживающих их использование, включая визуализацию картографической и иной графики, а также доступ к неграфическим формам данных (статистическим таблицам, БД, тексту, элементам *мультимедиа* — см. 3.4), поиск информации и обработку запросов к БД, организацию интерфейса пользователя, возможности дополнения тополого-геометрической и атрибутивной части данных данными пользователя, импорта данных из иных программных средств, генерации карт произвольного содержания

с использованием широкого набора графических средств (в отличие от жестко регламентированного их набора в виде растровых копий ЭК или композиций векторных карт), аналитические операции с атрибутивной частью данных (расчет производных статистик) или пространственно-аналитические возможности, сближающие ЭА с программным средством ГИС, настраиваемость на требования пользователя и дополняемость функций с помощью встроенных макроязыков программирования.

Опираясь на известные примеры ЭА, можно выделить пять типов, соответствующих ступеням практически непрерывного ряда расширения функциональных возможностей ЭА (предполагается, что старшие типы наследуют или могут наследовать функции младших типов; из-за невозможности поставить каждому из них сколько-нибудь краткий термин, они пока попросту пронумерованы) [**А. В. Кошкарев**, 1999]:

Тип 1. Фиксированные наборы видеоэкранных копий («слайдов»), или иной растровой картографической графики в широко распространенных форматах графических файлов (GIF, TIFF, bitmap и др.), «пролистываемые» постранично с помощью простого *браузера*, обычно из меню с перечнем сюжетов карт (оглавлением атласа). Наиболее примитивный тип ЭА, к которому принадлежали первые экспериментальные ЭА, включая хрестоматийный пример атласа Арканзаса, о котором упоминалось выше.

ЭА этого типа может дублировать содержание издаваемой параллельно бумажной версии атласа, допускает ускоренное и малозатратное обновление содержания в новых версиях по сравнению с атласами, изданными традиционными полиграфическими средствами. Электронная версия атласа в столь незамысловатом, дешевом, но крайне ограниченном функционально исполнении может временно заменять более функционально богатый его вариант. ЭА такого типа не требуют специализированных программных средств для его использования (просмотр обеспечивает обычно примитивный браузер собственного изготовления или общедоступные средства подготовки демонстраций или презентационной графики).

Тип 2. Средство генерации масштабируемых векторных карт, чаще всего их фиксированных наборов, подготовленных на основе цифровых карт или набора слоев ГИС, с визуализаций фиксированного перечня элементов содержания (возможно с их разгрузкой). Средства просмотра допускают масштабирование изображения и его центрирование, *скроллинг*; средства навигации включают возможность визуализации искомого фрагмента карты по иерархическим рубрикаторам (спискам объектов политико-административного деления, населенным пунктам, аэропортам, объектам туристического бизнеса и т. п.). Обычно содержат крайне ограниченный набор атрибутов (площади территориальных единиц, людность населенных пунктов, таблицы расстояний и т. п.), некото-

рые картометрические средства (расчет расстояний между указанными пунктами или по маршруту движения), текстовые комментарии к картам или текстовую часть с вербальными характеристиками объектов. Как правило, не содержат средств доступа к атрибутивной части данных, возможностей ее дополнения иными данными, в том числе производными на основе исходных или данными пользователя.

Типичным примером подобных атласов могут служить ЭА мира на CD-ROM. Сюда же могут быть отнесены фиксированные наборы растровых ЭК, используемые в качестве основы для векторных (обычно — точечных) атрибутированных элементов тематической нагрузки. Программные средства ЭА такого типа: картографические визуализаторы/*вьюеры* с ограниченными возможностями (обычно общедоступные типа public domain или намеренно функционально усеченные версии программных средств настольного картографирования, картографических визуализаторов или ГИС, программные средства собственной разработки под функции конкретного электронного продукта).

Тип 3. ЭА второго типа с дополнительными возможностями, включающими доступ к атрибутивной части данных, ее дополнение данными пользователя, введение новых (обычно точечных) объектов и их атрибутирование, а также визуализация, что обеспечивается доступом к графическим средствам (библиотекам картографических символов) или средствам их проектирования. В отличие от ЭА второго типа программные средства их использования должны включать простые функции графического (картографического) редактора.

Тип 4. Гибридные ЭА, обеспечивающие визуализацию и навигацию в разнородных графической и неграфической средах. Основное содержание ЭА этого типа составляют фиксированные композиции векторных карт с возможностью дополнения их объектами пользователя в избранной им схеме символизации атрибутов и значительная некартографическая сопроводительная информация в форме текстовых описаний карт и их объектов, табличной статистики, дублирующей или дополняющей содержание генерируемых карт, «слайдов» с фотографиями объектов, космическими снимками, деловой графикой, иллюстрирующей обобщенную по территории статистику. В наиболее совершенной форме этот тип ЭА может включать традиционные элементы мультимедиа (анимацию, цифровое видео, звук — см. 3.4). Картоцентрическая мультимедийная организация картографической и некартографической составляющих содержания ЭА — не единственный из применяемых подходов, аналогичная многосредность может поддерживаться средствами гипертекста, где организующим началом материала служит текст с перекрестными ссылками на элементы иного типа, включая ЭК (типичный пример — картографические страницы

Интернета). Рекомендуемое программное средство для пользования атласом этого типа — достаточно многофункциональный картографический визуализатор с мультимедийными возможностями или гипертекстовый браузер.

Тип 5. Аналогичен четвертому типу ЭА, дополненный возможностями проектирования и создания картографических изображений, близкими или идентичными полнофункциональным картографическим визуализаторам. Содержит набор слоев, визуализируемых средствами создания композиций карт, включая выбор картографических проекций, выбор визуализируемых слоев с заданным порядком графической композиции, средств картографического изображения из достаточно полного их набора (картодиаграмма, картограмма, масштабируемые значки и т.п.) с палитрами графических средств (штриховка, цветовая заливка полигональных объектов; стиль, цвет и толщина линий для линейных объектов; векторные масштабируемые значки для точечных объектов и т.д.), автоматическое или интерактивное размещение географических названий, шкалирование диапазона изменчивости количественных характеристик, проектирование легенды карты в целом, компоновка картографического изображения (название карты, легенда, численный и графический масштаб, стрелка «север-юг», карты-врезки, иное текстовое и графическое дополнительное оснащение и т.п.). Такой ЭА представляет собой по существу инструмент проектирования ЭА произвольного содержания самим пользователем, «виртуальный» ЭА, потенциально заложенный в исходных данных и тематически определенный множеством объектов с их атрибутами (которые, к тому же, могут быть отредактированы, дополнены, изменены и актуализированы, по крайней мере в своей атрибутивной части) и доступными операциями обработки. Может рассматриваться в качестве одного из результатов реализации геоинформационного проекта с использованием многофункционального программного средства ГИС или средства настольного картографирования. Среда пользователя — полнофункциональный картографический визуализатор, в том числе в составе программного средства ГИС, обычно с некоторыми функциями пространственного анализа (это интерактивный аналитический ЭА).

Пятая и последняя группа ЭА функционально не ограничена, приближаясь по своим возможностям к ГИС. Атласные информационные системы (АИС) имеют развитые моделирующие функции, могут включать в себя экспертные системы и оформляться как полномасштабные мультимедийные конструкции (см. 3.4 и 5.3).

В условиях функционального сходства интерактивных аналитических ЭА высокого уровня с ГИС, один из их отличительных признаков видится в том, что электронному атласу, в отличие от ГИС, присуща повествовательная, а не диалоговая парадигма структурной организации.

Контрольные вопросы

1. Является ли визуализация необходимым атрибутом картографического изображения?
2. В чем различие электронной карты и электронного атласа?
3. Что могло бы означать понятие «электронного глобуса», если бы такой продукт был создан?
4. Каковы критерии классификации ЭА?
5. Какими возможностями располагают ЭА по сравнению с традиционной (бумажной) атласной продукцией?
6. Не заменят ли (в перспективе полностью) бумажные атласы их электронные аналоги?
7. Где грань, разделяющая многофункциональные ЭА и ГИС информационно-справочного назначения?
8. В чем различия способов описания реального мира, используемых в традиционной картографии и геоинформатике?

2.3.2. Изображения в неевклидовой метрике

Изображения в неевклидовой метрике составляют небольшую часть, например по сравнению с картографическими изображениями графических моделей, применяемых в географии и экологии. Среди них выделяются картоиды, «мысленные» изображения и анаморфозы. ***Картоиды*** — абстрактные графические изображения, при построении которых бывают не важны конкретные пространственные отношения, но показываются некоторые содержательные характеристики — основная сущность явлений, закономерности в размещении, развитии явлений и причин, их определяющих, например, «идеальный материк», «типичные формы рельефа», «инверсионный картоид системы расселения в Африке» (по С. В. Рогачеву), «причины возвышения Москвы в Русском государстве» (по Ю. Г. Саушкину и Б. Б. Родоману), «поляризованный ландшафт» (по Б. Б. Родоману) (рис. 22) и др.

«Мысленные» изображения — графические представления образов, формирующихся в мозгу человека о пространственных объектах. Они создавались каждым из нас, когда мы чертили схемы, например, объясняя кому-либо как найти интересующее его место в городе. Можно осреднить такие представления и получить некоторый собирательный мысленный образ. Множество таких примеров, как например, характеристика различных мест Лос-Анжелеса в глазах представителей среднего класса белого, чернокожего и испаноговорящего населения, представление лондонцев о Севере или изображение мира, как он видится из деревни Ван Хорнсвилл, США (с указанием таких «периферийных» центров, как Нью-Йорк, Вашингтон, Лондон или Москва), можно найти в книге [P. Gold, R. White, 1974]. Напомним также карту мира, созданную по представлению о нем бывшего американского президента Р. Рей-

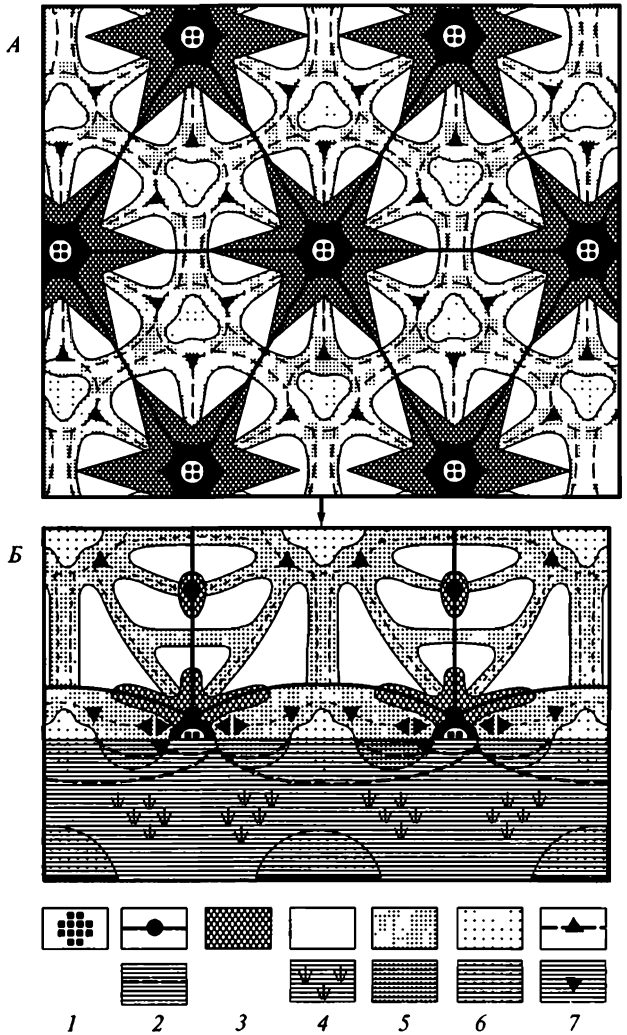


Рис. 22. Сетевой поляризованный ландшафт на суше и на море.

Функциональные зоны и пути сообщения: *А* — для однородной равнины в глубине континента, *Б* — для побережья. В верхнем ряду легенды — на суше, в нижнем — на море; *1* — городские историко-архитектурные заповедники; *2* — общественное обслуживание и утилитарные пути сообщения; *3* — постоянные городские жилища и обрабатывающая промышленность; *4* — сельское хозяйство высокой и средней интенсивности; *5* — естественные луга, пастбища, лесная промышленность, охота, загородные рекреационные парки; *6* — природные заповедники, *7* — рекреационные жилища и туристские дороги

гана, оценку балтийских пляжей жителями северной и южной Европы, размера озер вокруг г. Эсбю (Швеция) в представлении

Рис. 23. США в представлении нью-йоркцев

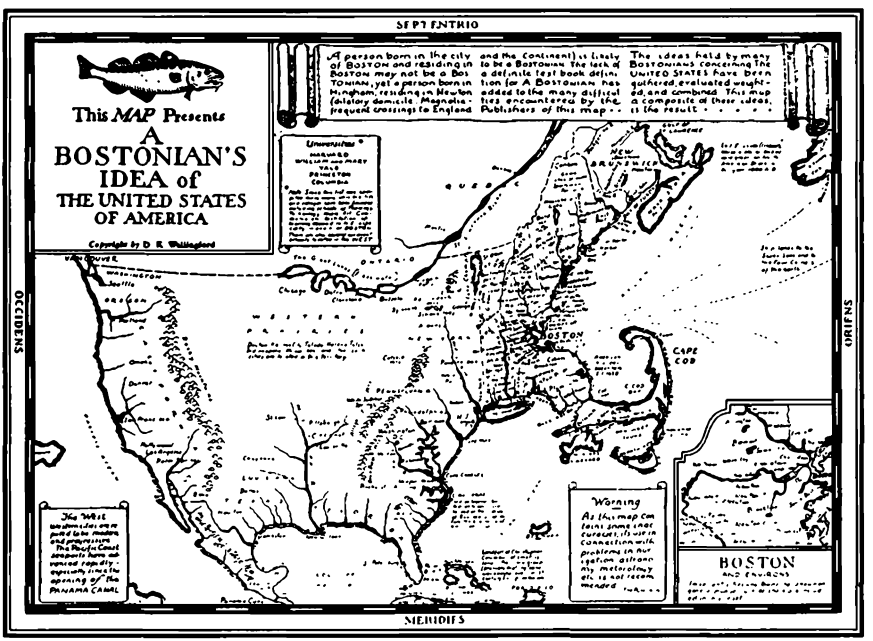


Рис. 24. США в представлении бостонцев

студентов и т.д. В качестве иллюстрации приведем одни из самых известных иллюстраций территории США в представлении нью-йоркцев и бостонцев, рис. 23 и 24 (по Д. Валлингфорду).

Анаморфозы можно определить, как графические изображения, производные от традиционных карт, масштаб которых трансформируется и варьирует в зависимости от величины характеристики явлений на исходной карте. В англоязычном мире для обозначения анаморфоз используются термины transformed maps, pseudo-cartograms, cartograms, topological cartograms и др. Здесь остановимся на термине анаморфоза, а процесс их создания будем называть анаморфированием (от греческого anamorphóō), что более точно отображает суть, связанную с изменением пропорций изображений. Кроме того, подчеркнем, что эти термины распространены в ряде стран, прежде всего Восточной Европы. Среди анаморфированных изображений можно выделить линейные, площадные и объемные.

Линейные анаморфозы напоминают изображения графов, длина ребер которых позволяет изменять взаимную удаленность отображаемых объектов в зависимости от величин характеристик явлений, закладываемых в основу анаморфоз. Примеры линейных анаморфоз — удаленность магазинов, выраженная в затратах времени, от любой, например центральной точки города, экспортно-импортные связи бывшего СССР со странами Европы и др. [С. М. Гусейн-Заде, В. С. Тикунов, 1999]. Причем в этих примерах соблюдаются пространственные отношения, в противном случае изображение не может быть отнесено к анаморфозам (как, например, статистические графики объема экспортно-импортных связей, выраженные в виде столбиков различной высоты и т.д.).

Первые линейные анаморфозы появились в середине XX в. и строились главным образом на основе масштаба времени. Увеличение передвижений между местами жительства и местами работы в сочетании с модернизацией транспортных средств изменил наше представление и восприятие пространства. Расселение ориентируется не на геометрические расстояния от места жительства до мест постоянного приложения труда, а на время, которое необходимо при наличных транспортных средствах затратить на преодоление этих расстояний. На вопрос: «Далеко ли вы живете от места работы?» — горожанин чаще всего ответит, что он живет, например, в 20 мин езды, а не в 7 км и т.д. Пространство расселения носит гораздо более сложный характер, и жители городов воспринимают пространства, которые существенно отличаются от изображаемых традиционной картой или планом города.

Проблему графического показа трансформаций (сжатие одних частей городского пространства и растяжение других), вносимых концентрацией транспорта, искусственными и естественными препятствиями, в настоящее время пытаются разрешить многие исследователи. Иногда анаморфирование осуществляется на базе

окружностей, построенных по логарифмическим, гиперболическим, параболическим и другим закономерностям. К настоящему времени разработан целый спектр методик трансформации масштаба длин. В качестве примера приведем линейные анаморфозы (рис. 25, 26), показывающие изменения взаимной транспортной удаленности регионов России [Д. В. Малиновский, В. С. Тикунов, А. И. Трейвиш, 2002]. На них от центра (Москвы) проведены условные прямые (азимутальные) линии, соединяющие столицу с каждым центром субъекта Федерации (а также Сургутом), имеющим железные дороги. Затем величина «ценового расстояния»[1] до Москвы (см. рис. 25) и от нее (см. рис. 26) в 1985 и 2001 гг. отложена на этих прямых в избранном масштабе. В итоге получаются линейные анаморфозы, отображающие не только «ценовую» удаленность, но и ее изменения.

Площадные анаморфозы получили наибольшее распространение. Они позволяют выравнивать в пространстве какие-либо характеристики (например, плотность населения, территориальное распределения доходов, потребление некоторого продукта и т. д.), т. е. в этом случае площади изображаемых территориальных единиц становятся пропорциональными соответствующим им величинам закладываемого в основу анаморфозы показателя. При этом от анаморфированных изображений требуется максимально возможное сохранение взаимного расположения территориальных единиц, их формы и др. Среди созданных анаморфоз наиболее часто встречаются эквидемические изображения, на которых размеры площадей пропорциональны численности населения, проживающего на них. Реже встречаются анаморфозы, в основу которых заложены величины доходов населения, урожайность сельскохозяйственных культур, валовой национальный продукт и т. д.

История создания площадных анаморфоз насчитывает несколько десятилетий. Первая известная нам попытка трансформации картографического изображения относится к началу XX в. В Германии появилось оригинальное картографическое произведение, автором которого был немецкий картограф Г. Вихель [Kartogramm..., 1903]. Он подготовил анаморфозу для иллюстрации результатов голосования по выборам в рейхстаг. На этом изображении суммы площадей, выделенных определенными цветами, соотносились как численность голосов, поданных за того или иного кандидата.

---

[1] «Ценовое расстояние» между центрами субъектов РФ — отношение тарифов к размерам доходов населения за 1985 и 2001 гг., которые отражают относительную дороговизну билетов для среднего гражданина, а значит и гипотетическую возможность поездок жителей из центра того или иного региона России в другие регионы по железной дороге. То есть расстояния от Москвы до Владивостока и от Владивостока до Москвы не равны, так как средний доход москвичей выше, чем у владивостокцев. Аналогично можно рассчитывать «ценовые расстояния» для различных групп населения — бизнесменов, пенсионеров и др.

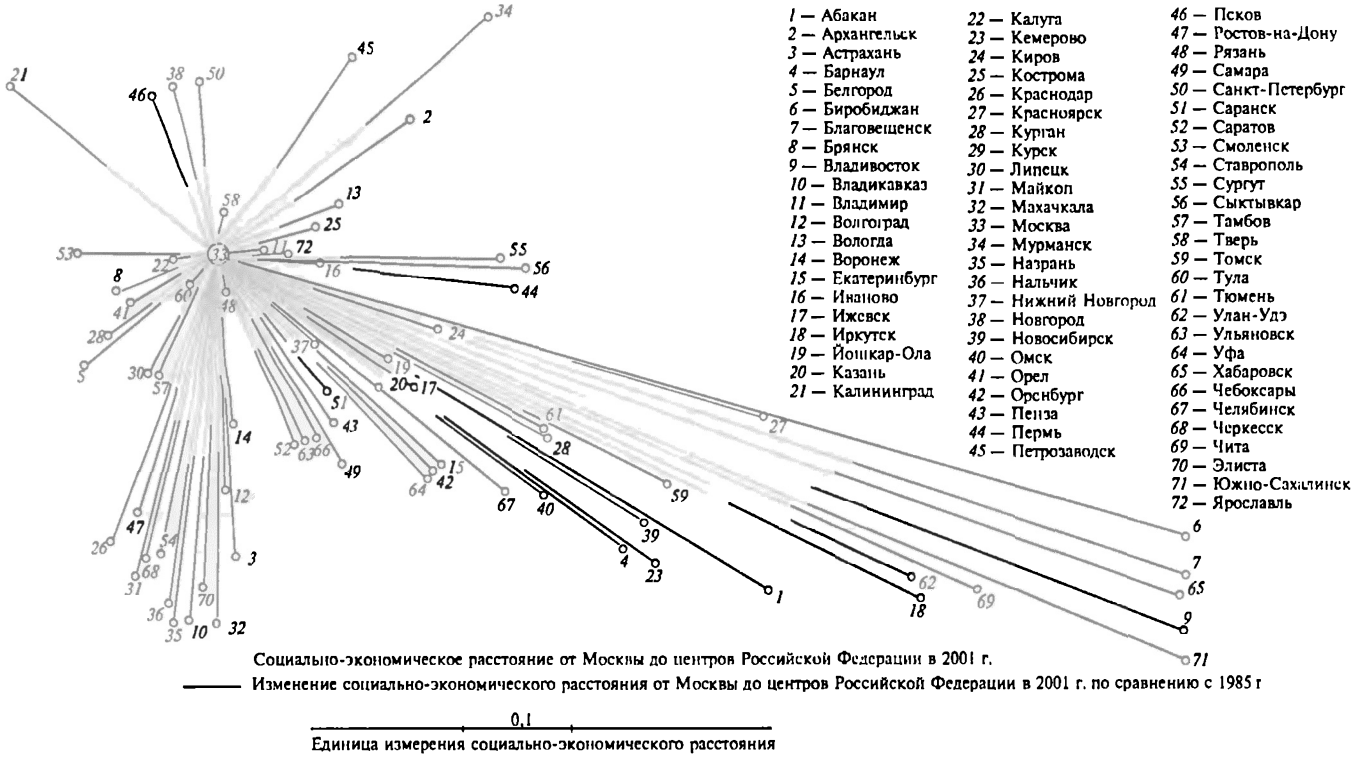


Рис. 25. Линейная анаморфоза изменения социально-экономического расстояния от Москвы до центров Российской Федерации в железнодорожном пассажирском сообщении в 1985 и 2001 гг.

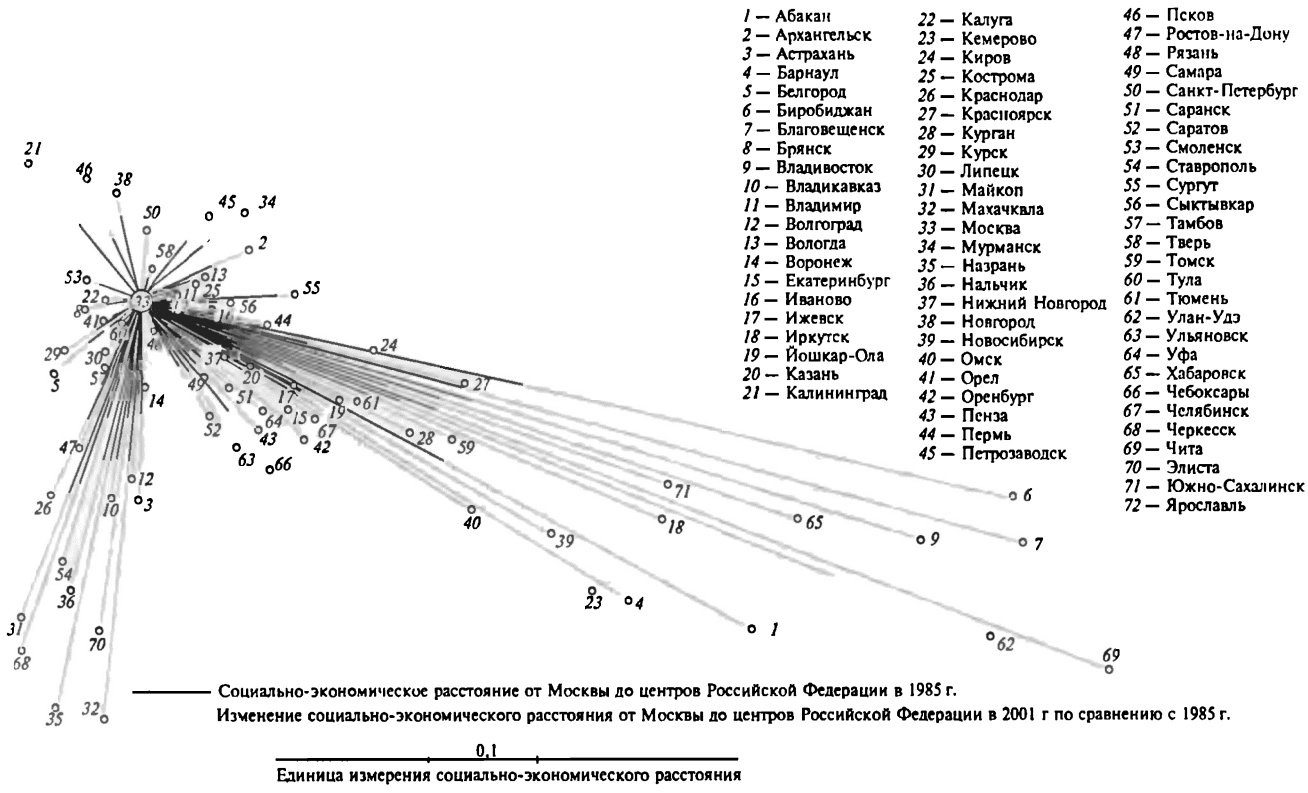


Рис. 26. Линейная анаморфоза изменения социально-экономического расстояния от центров Российской Федерации до Москвы в железнодорожном пассажирском сообщении в 1985 и 2001 гг.

М. Эккерт сущность подобной трансформации изображения образно описал следующим образом: «рельефный макет плотности населения, высота которого в каждой точке соответствует плотности населения, «прокатывается» до тех пор, пока не расплющится в гладкий лист одинаковой толщины, равной средней плотности населения. Участки макета с большей высотой, соответствующей большей плотности населения, раздвинутся горизонтально. Тем самым соседние участки, соответствующие менее густо населенным областям, во-первых, также сдвинутся и, во-вторых, под действием горизонтального сжатия будут доведены до высоты, соответствующей средней плотности населения. В результате расплющивания и сдвигов получается картограмма с плотностью населения, одинаковой во всех ее частях». Далее Макс Эккерт подводит пессимистический итог: «метод не нашел подражания. Восторг, вызванный появлением карт Вихеля, уже прошел» (цитируется по статье [Л. И. Василевского, 1970]). Однако последователей у Г. Вихеля оказалось немало, причем из самых разных стран: Австралии, Израиля, Китая, Новой Зеландии, Польши, России, США, Чехословакии, Швейцарии и др.

Тем не менее, большинство известных анаморфоз, начиная с «картограмм людности» Г. Вихеля и вплоть до 80-х годов, в основном строилось вручную. Полученные изображения назывались «статистическими картограммами». Применение этого способа, хоть и редко, но встречается до сих пор, когда элементы анаморфозы создаются вручную путем уменьшения или увеличения квадратиков или трансформацией «на глаз». Слабость методики состоит в том, что решению сопутствует субъективизм составителей, ибо решение достигается подгоном элементов границ. Близка по смыслу и методика механических аналогий, когда элементы изображения моделируются из деревянных кубиков, площади заполняются металлическими шариками и т. д. Более совершенен, по сравнению с механическими аналогиями, метод, основанный на применении электрического моделирования. В арсенале географов имеется также фотографический способ создания анаморфированных изображений. Наверное, каждый из нас может вспомнить фотографии, на которых протянутые к фотоаппарату ладони человека становятся непропорционально большими. Этот эффект может быть использован для получения анаморфоз.

Численные методы построения анаморфоз предназначены в основном для реализации их на компьютере. Первая проблема, которая встречается при построении анаморфозы таким способом, состоит в методе описания исходной информации, т. е. исходного картографического изображения и плотности распределения рассматриваемого показателя. Существует несколько способов построения площадных анаморфоз. Все вышеперечисленные аналоговые и численные методы подробно описаны в книге [С. М. Гусейн-Заде,

В.С.Тикунов, 1999], к которой рекомендуем обратиться для детального ознакомления с методами построения анаморфированных изображений.

Поскольку трудно надеяться получить преобразование, дающее требуемую анаморфозу явно, за один шаг, естественно пытаться строить итерационные алгоритмы, которые на каждом шаге учитывают отклонение плотности от постоянной на всем картографическом изображении (или от требуемой постоянной в одной из территориальных ячеек) и подправляют ее подходящим образом. Здесь обратимся к наиболее совершенному способу их построения [С.М.Гусейн-Заде, В.С.Тикунов, 1990, 1992].

Предположим, что на области $\mathfrak{D}$ (картографическом изображении территории) имеется положительная функция плотности $p(z) = (x, y)$ — точка плоскости. Определим функцию $p(z)$ на всей территории, полагая ее вне $\mathfrak{D}$ равной некоторой постоянной p (например, ее среднему значению $\bar{p}$ на области $\mathfrak{D}$). Нашей целью является построение преобразования $h : \mathrm{R}^2 \to \mathrm{R}^2$, выравнивающего плотность $p(z)$, т.е. такого, что $\det(dh)(z) = p(z)/\bar{p}$ (в частности, вне $\mathfrak{D}$, где $p(z) = \dot{p}$, преобразование h должно сохранять площадь). Здесь dh — дифференциал преобразования h, если h задается формулами $u = u(x, y)$, $v = v(x, y)$, то $\det(dh) = \dfrac{\partial U}{\partial x}\dfrac{\partial V}{\partial y} - \dfrac{\partial U}{\partial y}\dfrac{\partial V}{\partial x}$. При этом конструкция должна быть по возможности инвариантной (в частности, по отношению к выбору декартовой системы координат на плоскости R^2).

Следует заметить, что при практическом построении анаморфозы распределение рассматриваемой величины по территории обычно определяется ее значениями для единиц некоторого территориального членения. Например, распределение населения по территории США может определяться численностями населения штатов. Плотность размещения $p(z)$ считается постоянной в пределах рассматриваемых территориальных единиц. В этом случае при доопределении на всю плоскость R^2 функция плотности $p(z)$ не обязательно полагается равной одной и той же постоянной $\bar{p}$ вне рассматриваемой территории $\mathfrak{D}$. Такое определение может оказаться неудобным для компонент дополнения, лежащих внутри рассматриваемой территории (например, для озер, внутренних морей, территорий, не принадлежащих рассматриваемому государству). В этом случае на такой компоненте дополнения функция $p(z)$ может полагаться равной какой-либо другой постоянной, например, средней плотности населения территориальных единиц, граничащих с ней. Для того чтобы не оговаривать эту ситуацию специально, будем считать, что все компоненты, на которых $p \neq \bar{p}$, включаются в $\mathfrak{D}$.

Идея построения требуемого преобразования h состоит в следующем. Ищется семейство преобразований h_t ($t \in [0, 1]$) плоско-

сти, начинающееся с тождественного преобразования $h_0 = id$ и заканчивающееся требуемым преобразованием: $h_1 = h$. При этом семейство h является решением дифференциального уравнения

$$\frac{d}{dt} h_t(z) = \bar{\psi}_t(z), \tag{2.49}$$

где $\bar{\psi}_t(z) = (\alpha(z), \beta(z))$ — векторное поле, которое строится по функции $p_t(z)$ плотности рассматриваемой величины после применения преобразования h_t.

Опишем сначала построение векторного поля $\bar{\psi}_t(z)$, которое определяется начальным распределением плотности $p(z)$. Для этого разобьем рассматриваемую область $\mathfrak{D}$ на большое число очень мелких ячеек. Рассмотрим одну из таких ячеек площадью Δs. Значение функции $p(z)$ на этой ячейке можно считать постоянной и равной $p' = p(z')$, где $z' = (x', y')$ — какая-либо точка ячейки. Для такой ячейки определим инфинитезимальное (бесконечно малое) преобразование, сводящее к постоянной p плотность, равную p' внутри ячейки и p — вне ее. Оно переводит рассматриваемую ячейку в ячейку площадью $\Delta\tilde{s} = p'\Delta s / \bar{p}$. Такое преобразование определяется сдвигом на некоторое (тоже бесконечно малое) векторное поле. Значение $\bar{\psi}_0(z_0)$ векторного поля $\bar{\psi}_0$ в точке $z_0 = (x_0, y_0)$ определим как сумму векторов сдвига точки z_0, соответствующих всем рассматриваемым ячейкам. В пределе (при стремлении размеров всех ячеек к нулю) вектор $\bar{\psi}_0(z_0)$ как сумма бесконечно большого числа бесконечно малых слагаемых будет записываться в виде интеграла.

При описании преобразования, выравнивающего плотность, равную p' внутри ячейки и p — вне нее, без ограничения общности можно считать, что ячейка имеет форму круга (площадью Δs) с центром в точке z'. Пусть $R = \sqrt{\Delta s / \pi}$ — радиус этого круга.

Естественное преобразование, обладающее требуемым свойством, переводит с помощью гомотетии этот круг в круг радиусом $\tilde{R} = \sqrt{\Delta\tilde{s} / \pi}$, сохраняя площадь (и, следовательно, значение рассматриваемого показателя) на всей остальной территории.

Выберем полярную систему координат с центром в точке z' (центре ячейки). Легко увидеть, что в этой системе координат требуемое анаморфирование записывается в виде

$$\begin{aligned} &\tilde{r} = (\tilde{R} / R) r \quad \text{для} \quad r \le R; \\ &\tilde{r} = \sqrt{r^2 + (\tilde{R}^2 - R^2)} \quad \text{для} \quad r > R. \end{aligned} \tag{2.50}$$

Пусть $\bar{r}$ — радиус-вектор точки $z_0 = (x_0, y_0)$ с началом в центре ячейки, т.е. $\bar{r} = (x_0 - x', y_0 - y')$; $r = |\bar{r}|$ — его длина. Легко видеть, что если $z_0 \ne z'$, то при достаточно малой площади Δs ячейки вектор сдвига точки z_0 равен $\tilde{r} = \sqrt{1 + (\tilde{R}^2 - R^2) / r^2} - 1$.

Если $z_0 = z'$, то соответствующий вектор сдвига равен нулю. Имеем

$$\sqrt{1+(\bar{R}^2-R^2)/r^2}-1=\sqrt{1+(\Delta\tilde{s}-\Delta s)/\pi r^2}-1=$$

$$=\sqrt{1+((p/\bar{p})-1)\Delta s/\pi r^2}-1=((p/\bar{p})-1)\Delta s/2\pi r^2+o(\Delta s). \quad (2.51)$$

Последнее равенство вытекает из того, что $\sqrt{1+\varepsilon}=1+\varepsilon/2+o(\varepsilon)$. Таким образом, с точностью до членов второго порядка малости по Δs искомое векторное поле равно $\left(\frac{p}{\bar{p}}-1\right)\frac{\bar{r}\Delta s}{2\pi r^2}$.

Суммируя полученные выражения по всем ячейкам и переходя к пределу при стремлении размеров ячеек к нулю, получаем для вектора $\bar{\psi}_0(z_0)$ выражение в виде интеграла

$$\int\limits_{\mathfrak{D}}\left(\frac{p-\bar{p}}{\bar{p}}\right)\frac{\bar{r}}{2\pi r^2}\,ds. \quad (2.52)$$

Если плотность $p(z)$ задана постоянной на частях некоторого фиксированного разбиения области $\mathfrak{D}$ и принимает на части $\mathfrak{D}_i$ значение, равное p_i, то вектор $\bar{\psi}_0(z_0)$ равен сумме по всем частям $\mathfrak{D}_i$, т.е. по их номерам i, интегралов

$$\frac{1}{2\pi}\left(\frac{p-\bar{p}}{\bar{p}}\right)\int\limits_{\mathfrak{D}_i}\frac{\bar{r}}{r^2}\,ds.$$

Используя формулу Стокса

$$\int\limits_{S_i}(P\,dx+Q\,dy)=\int\limits_{\mathfrak{D}_i}\left(\frac{\partial Q}{\partial x}-\frac{\partial P}{\partial y}\right)dx\,dy, \quad (2.53)$$

интегрирование по части $\mathfrak{D}_i$ области $\mathfrak{D}$ можно заменить интегрированием по ее границе $S_i=\partial\mathfrak{D}_i$. Для этого удобно перейти к координатной записи (напомним, что $\bar{r}=(x_0-x',\ y_0-y')$. В соответствии с формулой Стокса, имеем

$$\int\limits_{\mathfrak{D}_i}\frac{\bar{r}}{r^2}\,ds=\left(\int\limits_{\mathfrak{D}_i}\frac{x_0-x'}{(x_0-x')^2+(y_0-y')^2}\,dx'dy',\ \int\limits_{\mathfrak{D}_i}\frac{y_0-y'}{(x_0-x')^2+(y_0-y')^2}\,dx'dy'\right)=$$

$$=\left(\left(-\frac{1}{2}\right)\int\limits_{S_i}\ln|(x_0-x')^2+(y_0-y')^2|dy',\ \frac{1}{2}\int\limits_{S_i}\ln|(x_0-x')^2+(y_0-y')^2|dy'\right). \quad (2.54)$$

Например, для первой компоненты получим

$$\int\limits_{S_i}\ln|(x_0-x')^2+(y_0-y')^2|dy'=\int\limits_{\mathfrak{D}_i}\frac{\partial}{\partial x'}\ln|(x_0-x')^2+(y_0-y')^2|dx'dy'=$$

$$=(-2)\int\limits_{\mathfrak{D}_i}\frac{x_0-x'}{(x_0-x')^2+(y_0-y')^2}\,dx'dy'. \quad (2.55)$$

При рассмотрении дискретного приближения рассматриваемой ситуации части $\mathfrak{D}_i$ являются многоугольниками, а их границы S_i — ломаными линиями (с достаточно короткими звеньями). Поэтому рассматриваемые интегралы по границам S_i равны суммам интегралов по некоторым отрезкам. Интеграл по отрезку, соединяющему точки $z_1 = (x_1, y_1)$ и $z_2 = (x_2, y_2)$, от выражения $\ln[(x_0 - x')^2 + (y_0 - y')^2]\,dx'$ или $\ln[(x_0 - x')^2 + (y_0 - y')^2]\,dy'$ сводится к неопределенному интегралу вида $\int \ln x\,dx = x \ln x - x$, если точка $z_0 = (x_0, y_0)$ лежит на прямой, проходящей через точки $z_1 = (x_1, y_1)$ и $z_2 = (x_2, y_2)$, и к неопределенному интегралу вида $\int \ln(x^2 + a^2)\,dx = x \ln(x^2 + a^2) - 2x + 2a \operatorname{arctg}(x/a)$, если точка z_0 не лежит на указанной прямой. Поэтому данные интегралы явно вычисляются.

Построение векторного поля $\bar{\psi}_t(z)$ по функции плотности $p_t(z)$ отличается от построения векторного поля $\bar{\psi}_0(z)$ по функции плотности $p_0(z) = p(z)$ только тем, что в соответствии с описанием распределение с плотностью $p_t(z)$ должно быть выровнено за оставшееся время $(1 - t)$, а не за время 1 как распределение с плотностью $p(z)$. Поэтому дословное повторение описанной конструкции приводит к векторному полю $\bar{\psi}^*_t(z)$, определяемому формулой

$$\bar{\psi}^*_t(z_0) = \int\limits_{\mathfrak{D}} \left(\frac{p(z') - \bar{p}}{\bar{p}} \right) \frac{\bar{r}}{2\pi r^2}\,ds \qquad (2.56)$$

и отличающемуся от требуемого векторного поля $\bar{\psi}_t(z)$ только множителем $(1 - t)$: $\bar{\psi}^*_t(z) = (1 - t)\bar{\psi}_t(z)$, т.е. $\bar{\psi}_t(z) = \bar{\psi}^*_t(z)/(1 - t)$.

Можно доказать, что решение дифференциального уравнения $\dfrac{d}{dt} h_t(z) = \bar{\psi}_t(z)$ с описанной правой частью $\bar{\psi}_t(z)$ (определяемой по функции плотности $p_t(z)$, т.е. по преобразованию $h_t(z)$) действительно приводит к преобразованию $h(z) = h_1(z)$, выравнивающему плотность $p(z) = p_0(z)$.

Дифференциальное уравнение на практике решается приближенно с помощью метода Эйлера, т.е. метода касательных. Конкретно это означает следующее. Выбирая шаг по t, равный $1/n$ (обычно бралось $n = 5$), строим итерационный процесс, первые n шагов которого определяются по формуле

$$h_{(0)}(z) = z, \quad h_{(i)}(z) = h_{(i-1)}(z) + c_i \bar{\psi}^*_{(i-1)}(z), \quad i = 1, 2, \ldots, n, \qquad (2.57)$$

где $\bar{\psi}^*_{(i-1)}(z)$ — векторное поле, определяемое описанным выше способом по функции плотности $p_{(i-1)}(z)$, к которой сводится распределение после преобразования $h_{(i-1)}$, $c_i = 1/(n - i + 1)$ — постоянный коэффициент (его вид объясняется отличием $\bar{\psi}^*_t(z)$ от правой части $\bar{\psi}^*_t(z)$ уравнения (2.49)).

Преобразование $h_{(n)}(z)$ является полученным с помощью метода Эйлера приближением к требуемому преобразованию анаморфиро-

вания $h(z)$. Поэтому оно не вполне точно выравнивает исходную функцию плотности $p(z)$. Для построения сколь угодно точного приближения к требуемому преобразованию описанный итерационный процесс $h_{(i)}(z) = h_{(i-1)}(z) + \bar{\psi}^{*}_{(i-1)}(z)$ продолжается для $i = (n+1), (n+2), \ldots$. Процесс останавливается, когда отличие плотности распределения рассматриваемой величины от $\bar{p}$ станет меньше, чем заданная заранее величина ε (в реальных построениях бралось $\varepsilon = 0,01\bar{p}$).

В качестве примеров приведем серию из трех анаморфоз, созданных на основе данных по численности населения стран мира — рис. 27; валового национального продукта (ВНП) — рис. 28 и объемов производства промышленной продукции — рис. 29.

Объемные анаморфозы. Как известно, классическая картография предлагает широко используемый ряд способов изображения, таких, как цвет, штриховки, условные знаки и т.д. С помощью общепринятых методов (например, столбчатые диаграммы) можно отобразить много показателей одновременно — до 30—40, как это иногда встречается на социально-экономических картах. Однако при этом наглядность подобной карты катастрофически падает, и качество ее восприятия начинает приближаться к качеству восприятия таблицы данных, по которой она и была построена. Именно поэтому на картах стараются применять различные способы картографического изображения. Кроме того, важна и эффективность применяемого изобразительного средства. Авторами учебника разработан метод создания и применения нового способа изображения, который в принципе похож на классический способ столбчатых диаграмм, однако обладает рядом преимуществ и большей эффектностью отображения картографируемого показателя.

Суть предлагаемого метода [N. Bogomolov, I. Rylskiy, V. Tikunov, 2002] заключается в следующем. Даны два показателя, нуждающиеся в картографировании, например, реальный ВНП и численность населения в странах мира. В данном примере показатели взяты за 1996 г. (заметим, что реальный валовой национальный продукт исчислялся в международных долларах на основе паритета покупательной способности валют). Международный доллар имеет ту же покупательную способность по отношению к ВНП, что и доллар США внутри Соединенных Штатов Америки. Реальный ВНП развивающихся стран, обычно значительно превосходящий их номинальный ВНП, точнее отражает уровень благосостояния населения. В противоположность этому потенциал взаимодействия реального ВНП, или ВНП, исчисленного на основе паритета покупательной способности валют, определяется величиной номинального ВНП, который в развивающихся странах, как правило, ниже реального. В соответствии с численностью населения и ВНП строятся анаморфозы, и результатом этого являются двухмерные изображения (см. рис. 27 и 28). Любую из них можно использовать в

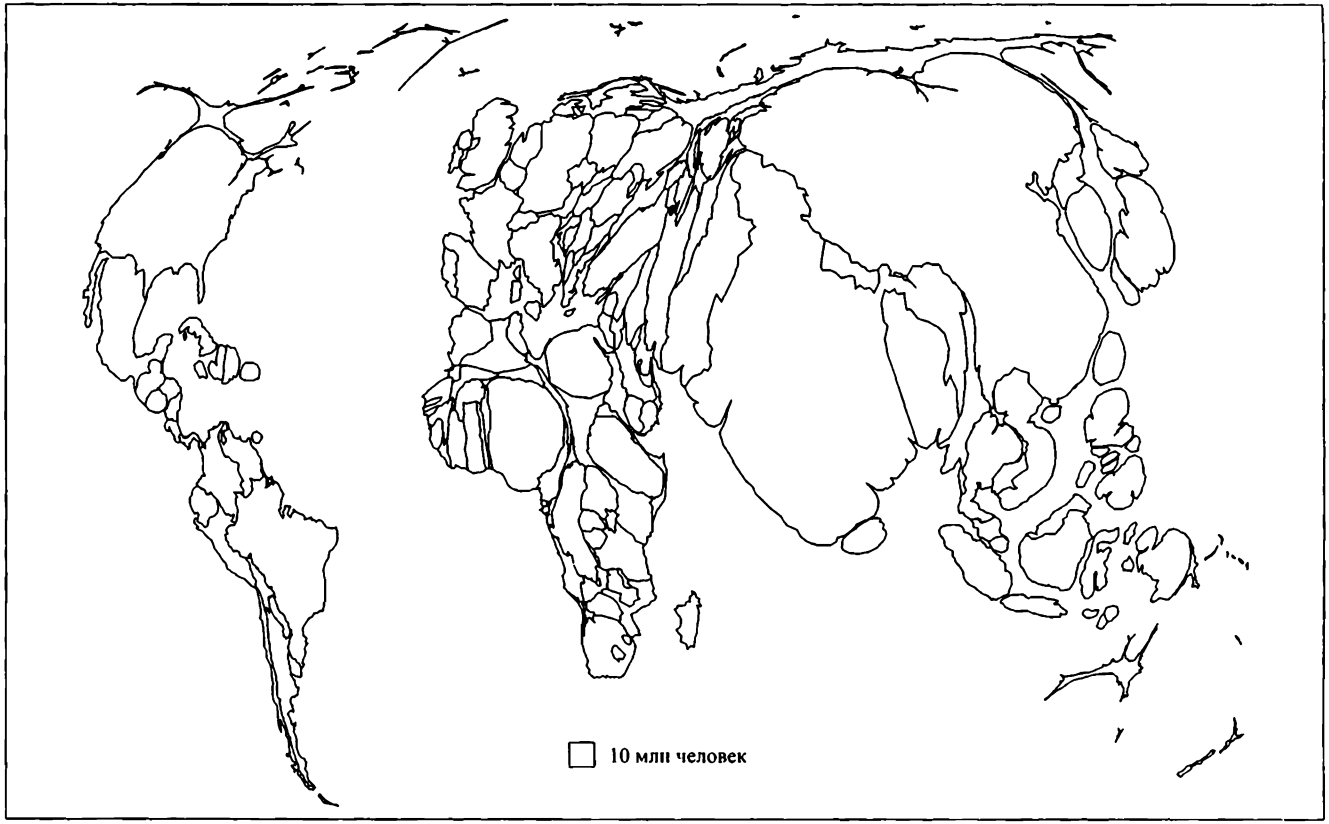


Рис. 27. Анаморфоза стран мира, созданная на основе численности населения (1998)

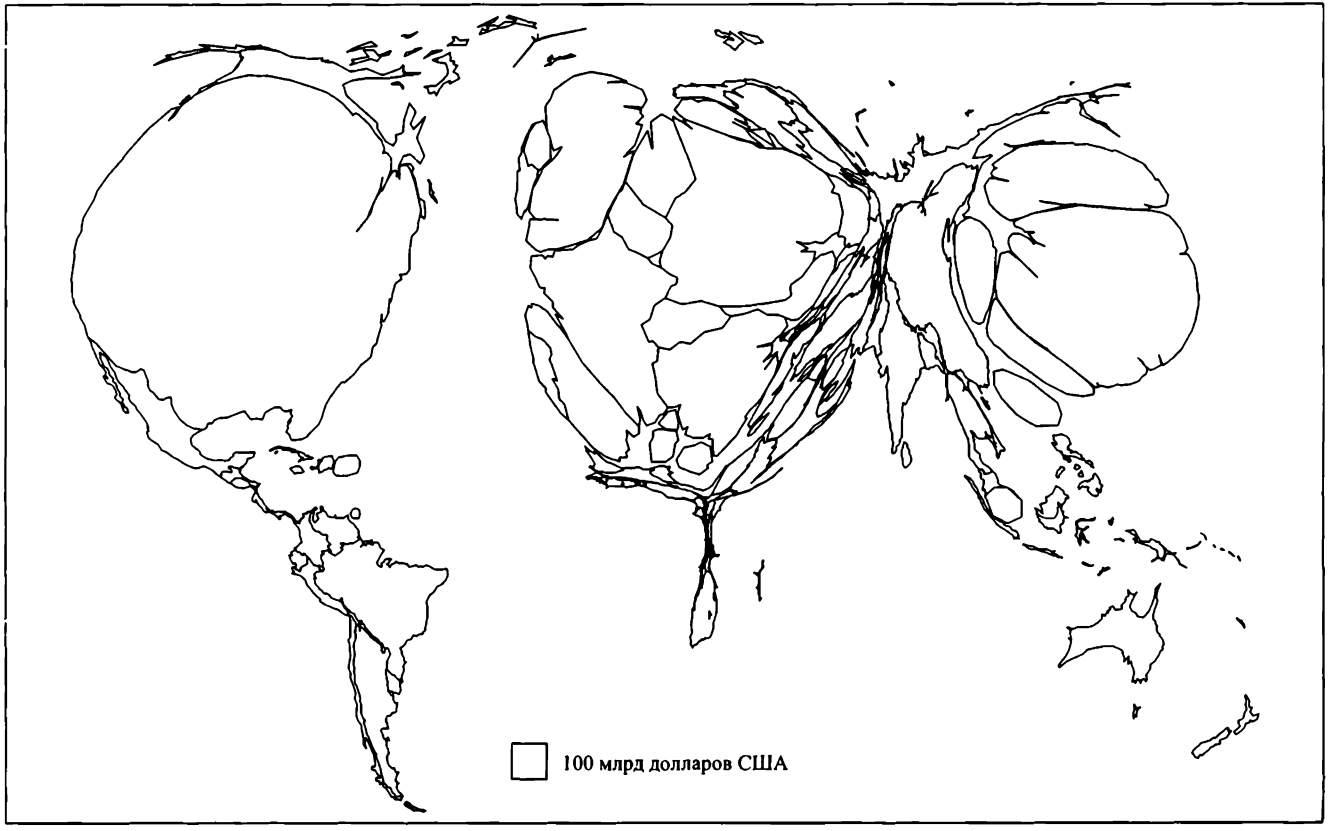


Рис. 28. Анаморфоза стран мира, созданная на основе валового национального продукта (1998)

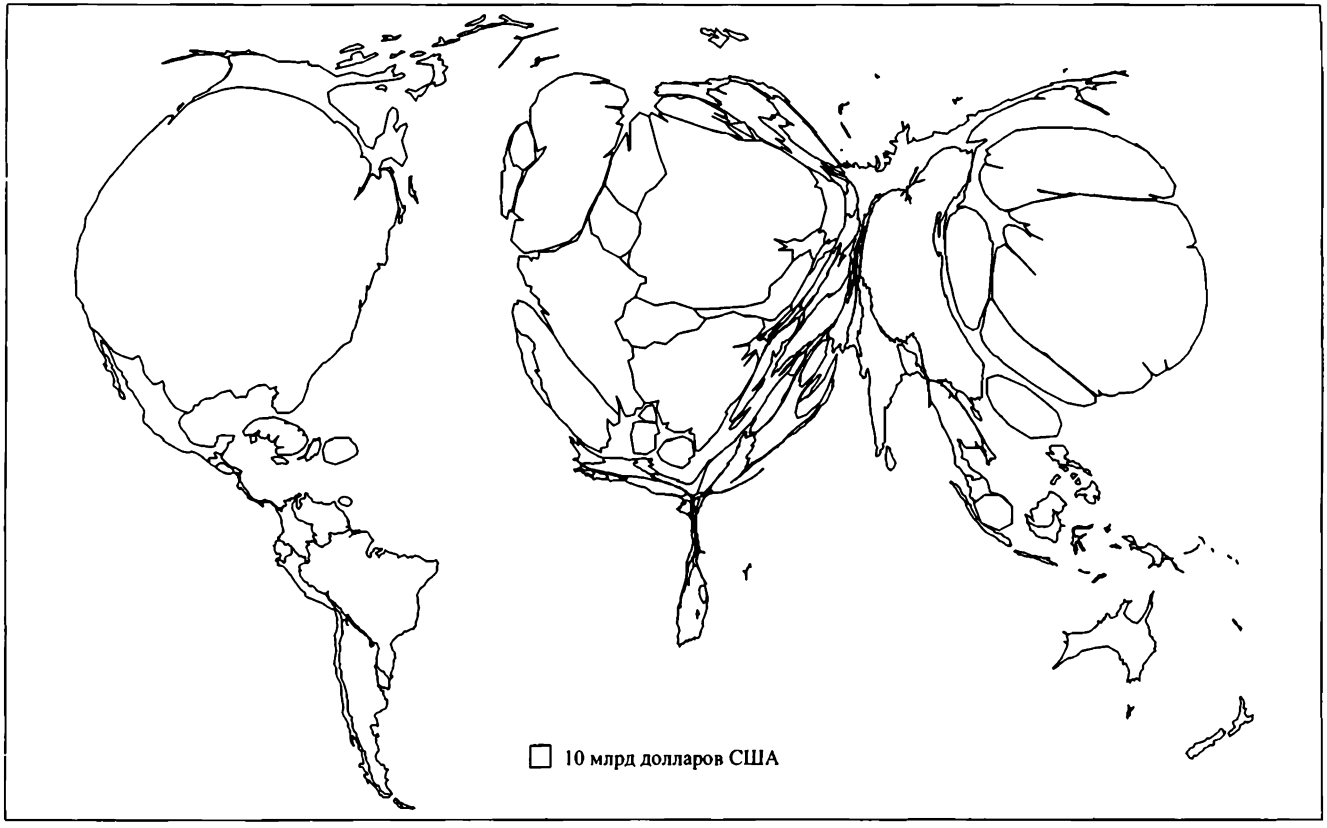


Рис. 29. Анаморфоза стран мира, созданная на основе объемов производства промышленной продукции (1998)

качестве основы. В наших примерах численность населения будет закладываться в основу анаморфоз, а ВНП характеризоваться на ее фоне. Для каждой страны (если страна имеет несколько контуров — для каждого контура) выбирается точка, принимаемая за ее «центр». Выборка ведется визуально; необходимое условие — нахождение точки внутри контура страны (если страна имеет несколько контуров — внутри каждого контура соответственно). Выборка центров ведется в декартовой (X, Y) системе координат по анаморфированному изображению. Всем точкам границ государств присваивается значение координаты $Z = 0$, а всем центрам государств — значение Z, равное значению картографируемого показателя (у нас — ВНП). Если теперь по полученному набору точек построить поверхность в автоматическом режиме (методом триангуляции Делоне), то в результате получится набор многогранных пирамид, у которых основание будет иметь контур, совпадающий с границей страны в метрике анаморфозы, а число граней будет равняться количеству точек-узлов ломаной, оконтуривающей данную страну.

Анаморфоза мира по численности населения обладает следующим свойством — площадь каждой страны пропорциональна численности ее населения. Высота пирамиды, построенной нами, пропорциональна ВНП. Как известно, объем пирамиды равен $V = SH/3$, где S — площадь основания; H — высота пирамиды. Следовательно, объем полученной пирамиды пропорционален ВНП данной страны.

Отметим сразу, что визуально сравнить объемы ВНП двух стран довольно трудно, так как очертания каждой пирамиды уникальны и имеют неправильную форму.

К положительным особенностям данного изображения следует отнести, несомненно, эффектность результирующего изображения. Проведение сравнений и выделение аномалий облегчено. Мы отображаем два показателя, не используя, фактически, ни одного из общепринятых в картографии методов, и оставляя их про запас. Вся информация о двух характеристиках объектов содержится в их облике.

Возможно также и построение столбчатых диаграмм по анаморфозе, однако результат читается и воспринимается хуже из-за того, что одни страны закрывают другие; стран с низким ВНП в окружении соседей с высоким ВНП просто не будет видно. Плохо виден нулевой уровень. Пирамидальные блок-диаграммы свободны от этого недостатка. Они показывают нулевой уровень для каждого контура страны. Обеспечивается также хороший обзор — практически любая страна может быть рассмотрена.

Технология создания такого изображения довольна проста. Так, основанием для построения изображения послужили: политическая карта мира, данные о численности населения и реального ВНП за 1996 г. Исходная карта мира была преобразована в анаморфозу по алгоритму [С. М. Гусейн-Заде, В. С. Тикунов, 1999]. Результиру-

ющие данные (файлы с координатами точек и топологией объектов) были преобразованы в формат ГИС ArcView 3.0 (файлы полигональных тем) с помощью конвертера для последующего экспорта в растровый формат *.jpg. Экспортировано было два файла, одинаковых по размеру растров: один — черно-белый (1), с контурами границ государств, другой — цветной (2), с заливкой этих же государств уникальными цветами. Черно-белый растр был автоматически векторизован и атрибутирован с помощью программы Raster2Vector (Able Software), и в ней же были нанесены и атрибутированы центральные точки полигонов. Результат работ был сохранен в файле формата *.sdl, затем переконвертирован в файл *.con, являющийся исходным для работы программы DEMI, выполняющей построение поверхности по заданному массиву нерегулярно расположенных точек. Результаты работы сохранены в файле формата *.dem, который представляет регулярную сетку точек с определенными высотами. С помощью конвертера файл данного типа был сохранен в формате *.bmp (градации серого, чем выше — тем белее, чем ниже — чернее). После этого в пакете 3D-Studio MAX 2.5 (на основании полученного bmp-файла) из регулярной сетки размером 300 × 300 была «выдавлена» (процедура Tesselate) трехмерная поверхность с построенными на ней пирамидальными блок-диаграммами. После этого данная поверхность была «обклеена» цветным растровым изображением — для облегчения пользования данным изображением. Поскольку для детального рассмотрения данную поверхность можно визуализировать с какой угодно стороны, было построено несколько изображений различных регионов земного шара (рис. 1 цв. вкл.).

Использование анаморфоз. За всю историю создания и использования анаморфоз можно найти примеры, относящиеся к самым различным областям. Но наиболее часто они используются для разнообразных характеристик населенности территории, в электоральной и медицинской географии, отображения качества окружающей среды, загрязнения воздуха и т.д. Несмотря на разнообразие методик, ранее применявшихся для создания анаморфоз, в данном подразделе будем использовать только алгоритм, разработанный авторами книги [С.М.Гусейн-Заде, В.С.Тикунов, 1999], для создания площадных анаморфоз. По технологии анализа будем выделять визуальные, интерактивные (человеко-машинные) и автоматизированные способы, а по целям — анализ структуры, взаимосвязей и динамики явлений (с подразделением их на пространственно- и содержательно-ориентированные разновидности, подробнее см. [**В.С.Тикунов**, 1997]).

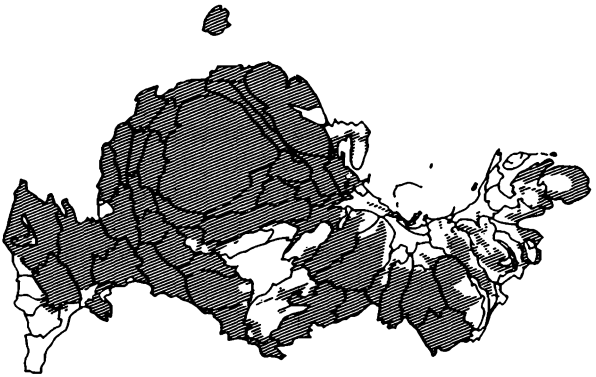
Для анализа анаморфоз прежде всего целесообразен визуальный анализ. Взгляните на приведенную ранее анаморфозу мира, созданную на основе численности населения (см. рис. 27). По конфигурации стран они легко опознаются и, конечно, прежде всего

привлекают внимание Китай и Индия. Интересно, что здесь даже «точки» исходной карты, изображающие Люксембург или Сингапур, превращаются на анаморфозе в солидные территории. В Азии лишь Монголия и Лаос, кстати, вместе с целым континентом — Австралией, выглядят более чем скромно на фоне их окружения. В Африке, которая достаточно скромна на фоне Азии да и Европы, прежде всего обращает на себя внимание шарообразная Нигерия. Наибольшие контрасты присущи Европе — сравните «крохотный» Бенилюкс и страны Скандинавии. Относительно равномерно заселены страны Америки, за исключением Канады и Гренландии.

Нанеся на полученную анаморфозу связанные с численностью населения характеристики, например, обеспеченность продуктами питания, получим более правильное впечатление о его дефиците, отнесенном не к территории, как на обычных картах, а более корректно — по отношению к нуждающемуся в нем населению и т.д.

Взглянем теперь на вторую анаморфозу, построенную на основе данных о валовом национальном продукте (см. рис. 28). Контрасты здесь еще бóльшие, чем на предыдущей анаморфозе. Прежде всего бросаются в глаза три мировых «центра богатства» — США, Западная Европа и Япония. В Европе некоторые страны деформируются столь сильно, что их даже сложно узнать. Однако, если в Европе под словом деформация понимается растяжение, то в Африке происходит то же самое, но с обратным знаком. Большинство стран Западной и Центральной Африки просто сливаются вместе. Обращает на себя внимание лишь ЮАР да некоторые нефтедобывающие страны. Интересно взглянуть на Индию и Китай — лидеров предыдущей анаморфозы. Здесь они более чем скромны. Любопытно соотношение Китая и Тайваня на анаморфозе. Более «достойные очертания» принимает Австралия. Что касается Америки, то на фоне «денежного мешка» — США, все остальные страны выглядят более чем скромно. Поскольку Аляска включалась в расчеты как отдельная территория, то это и привело к ее «выклиниванию» в узкую полоску. Обращают на себя внимание почти правильные четырехугольники островов Пуэрто-Рико и Тринидад.

Обратимся наконец к примеру по России (рис. 30) — анаморфозе, созданной по численности населения (из-за отсутствия данных Ингушетия и Чечня объединены вместе). Покажем на анаморфозе России области преимущественного компактного заселения русского населения, которые были перенесены нами с карты национального состава населения из «Атласа народов мира» (рис. 31). Если подсчитать соотношение заштрихованной площади к общей территории России на обычной карте, то она составит 31,4 %, а на анаморфозе увеличивается до 78,6 %. Доля русского населения, согласно переписи, проведенной в 1989 г., составляет 81,5 %. Поэтому естественно, что анализ и выводы о национальном составе той или иной страны проще делать, ориентируясь на анаморфи-



□ — 1 млн человек

Рис. 30. Анаморфоза России по численности населения с характеристикой области преимущественного компактного заселения русского населения

рованное изображение, чем на традиционное. В противном случае, не зная характера пространственного размещения плотности населения (не показываемого на картах национального состава), можно сделать абсурдный вывод о том, что в России преобладают народности Севера — ненцы, эвенки, ханты, чукчи, эвены, нанайцы и другие, расселившиеся на огромных просторах страны. Связав этот вывод с рождаемостью, характерной для народов Севера, также визуально отнесенной не к населению, а к территории, можно получить такой же нелепый результат при характеристике республики в целом на основе данных всего о 0,11 % населения,

Рис. 31. Исходная карта России с характеристикой области преимущественного компактного заселения русского населения

которые составляют народы Севера в общей численности Российской Федерации по данным последней переписи. Данный пример тривиален, но для небольших, малознакомых территорий такие ошибочные восприятия и суждения вероятны.

Серию анаморфоз мира и России можно легко продолжить далее (см., например, приложение к книге [В. С. Тикунов, Д. А. Цапук, 1999], где даны примеры, характеризующие число родившихся, умерших, объемы промышленного производства, инвестиции в основной капитал, объемы розничного товарооборота по административно-территориальным единицам России за 1996 г. и др.) и показать их возможности. Укажем также на примеры отображения частоты упоминания стран и российских регионов в периодической печати [В. А. Колосов, В. С. Тикунов, Д. В. Заяц, 2001] или их встречаемости в Интернете при использовании популярных поисковых систем — американской «Altavista» (www.altavista.com) и русских «Rambler» (www.rambler.ru) и «Yandex» (www.yandex.ru) [Д. Д. Орешкина, В. С. Тикунов, 2001].

В ряде случаев возникает потребность построения анаморфоз на основе данных, неприуроченных к каким-либо административным или природным границам. В частности, такое положение характерно для карт морей и океанов, где содержательные сведения чаще всего привязываются к трапециям сетки, создаваемой параллелями и меридианами, или к ячейкам каких-либо других регулярных сетей. Для работы с регулярными сетями разработаны модификации алгоритмов анаморфирования. Данные модификации были использованы для трансформации Атлантического океана [С. М. Гусейн-Заде, И. А. Суетова, В. С. Тикунов, 1993].

Отметим, что технологии анализа очень разнообразны. Естественно, что мы обратились лишь к самым распространенным подходам, отметив при этом, что интерактивные и автоматизированные технологии, базирующиеся, например, на методах распознавания образов и др., применительно к анализу анаморфоз еще только разрабатываются. Все эти технологии могут быть применены для анализа структуры, взаимосвязей или динамики явлений.

Например анализ структуры регионов России по трем взаимосвязанным направлениям — здравоохранение, уровень жизни и социально-экономическое развитие дан в работе [Н. А. Бородулина, В. С. Тикунов, 1998]. Применения анаморфоз для характеристики взаимосвязей явлений на примере корреляционного анализа связи между распределением живого вещества в океане и загрязнением его нефтяной пленкой можно найти в работе [С. М. Гусейн-Заде, И. А. Суетова, В. С. Тикунов, 1993]. Для отображения характеристики динамики на анаморфозах воспользуемся примером по отображению прогнозных значений численности населения стран мира. Располагая данными о численности населения за ряд лет и изучив тенденции в изменении временных рядов, демог-

рафами делаются прогнозы на ряд лет вперед. Такие прогнозы достаточно распространены и на их основе могут строиться соответствующие анаморфозы. Для примера покажем анаморфозы, созданные по материалам Департамента анализа экономики, социальной информации и политики ООН — фактическим и прогнозным значениям численности населения стран мира за 1950—2050 гг. (рис. 2—4 цв. вкл.). Последовательность анаморфоз передает временные изменения и их можно рассматривать как отдельные временные срезы процесса.

Наконец, можно указать на возможность создания ***анимированных анаморфированных изображений*** (см. 2.3.4).

В заключение подведем наиболее значимые итоги практической целесообразности использования анаморфоз и отметим перспективы развития направления. Во-первых, и это не самое главное, их убедительность как иллюстраций, позволяющих зрительно представить себе некоторые неочевидные факты, а, возможно, в будущем и увидеть какие-то скрытые географические закономерности. Например, теоретические положения В. Кристаллера и А. Леша о закономерном пространственном размещении иерархически соподчиненных пунктов получают свое подтверждение лишь в районах с равномерным расселением. Поиск закономерного размещения населенных пунктов в плоскости однородного пространства выровненного явления возможно мог бы сделать принцип Кристаллера—Леша гораздо более часто встречающимся или даже универсальным. Перспективно применение анаморфоз для оптимизации размещения сетей учебных заведений, больниц, учреждений обслуживания, которые в искусственно выровненном демографическом пространстве в общем случае должны располагаться равномерно.

Во-вторых, анаморфозы делают более наглядным анализ взаимосвязей между явлениями на фоне определяющих их характеристик, заложенных в основу проекции, как это было показано выше.

В-третьих, целесообразно применение анаморфоз для прогнозирования развития диффузионных процессов, происходящих в неоднородной среде. Если противодействие развитию диффузии трансформировать в однородное по изучаемой территории, то вероятное развитие диффузии будет происходить концентрически от исходной точки. Благодаря этому можно предвидеть ее развитие во времени и легко представить в графической форме. В итоге остается лишь вернуть изображение в первоначальный вид, чтобы получить изолинии этапности распространения диффузии в неоднородной среде. Анаморфозы могут быть использованы для изучения диффузии загрязнений в атмосфере и гидросфере, а также для целого ряда других задач. То же самое можно сказать и о создании карт транспортной доступности, составляемых на фоне однородной проходимости.

Таким образом, создание анаморфированных изображений в целом ряде случаев целесообразно для моделирования структуры, взаимосвязей и динамики географических явлений. Мы надеемся, что анаморфированные изображения привлекут внимание географов и экологов разных специальностей и сделают их не экстравагантной иллюстрацией, а инструментом настоящего пространственного анализа. Эта область может оказаться неподнятой научной целиной, которая при умелой ее обработке даст богатый урожай.

Контрольные вопросы

1. В чем различие картоидов, мысленных графических изображений и анаморфоз?
2. Охарактеризуйте линейные, площадные и объемные анаморфозы.
3. Какие разновидности линейных анаморфоз вы могли бы выделить?
4. Назовите основные методы создания площадных анаморфоз.
5. Проведите визуальный анализ анаморфозы, показанной на рис. 29, по образцу анализа рис. 27 и 28.
6. В чем смысл анализа структуры, взаимосвязей и динамики явлений?
7. Каковы методы анализа взаимосвязей явлений по анаморфозам?
8. Дайте краткую характеристику возможностей анализа временных рядов при их отображении на анаморфозах.
9. Охарактеризуйте объемные анаморфозы и возможности их применения.
10. Что такое анимация анаморфоз?
11. В каких областях своей работы вы могли бы использовать анаморфозы?
12. Нужны ли, с вашей точки зрения, анаморфозы для географических и экологических исследований? Обоснуйте положительный и отрицательный ответы.

2.3.3. Виртуально-реальностные изображения

С виртуально-реальностными моделями современный человек сталкивается с раннего детства, например, используя многие компьютерные игры или наблюдая за развитием синоптических процессов по телевидению. Действительно, они очень разнообразны и круг их использования весьма широк. В настоящее время возможно создание виртуальной модели практически любого объекта Вселенной, о котором имеется информация. Так, существуют наглядные виртуально-реальностные модели атомов, человеческого организма, объектов живой природы (например, муравейников), отдаленных или невидимых космических объектов (например, ядра кометы Галлея), а также модели прочих объектов и систем, зачастую весьма далеких от геоинформатики.

В этом подразделе рассмотрим их на примере наиболее важной для геоинформатики разновидности — виртуальных моделей местности. **Виртуальная модель местности** (ВММ)— математическая модель местности, содержащая в себе информацию о рельефе земной поверхности, ее спектральных яркостях и объектах, расположенных

на данной территории, и предназначенная для интерактивной визуализации и обладающая эффектом присутствия на местности.

Следует также отметить, что в настоящее время возможен не только облет поверхности, но и движение в среде (например, погружение под воду с имитацией эффектов освещения и динамики движения). Однако визуализация многослойных поверхностей (например, движение в грунте с визуализацией слоев пород) затруднена из-за неэффективности изобразительных средств, и в настоящее время не применяется.

Существующее программное обеспечение и его возможности. Для создания и визуализации виртуальной модели местности с достаточно высокой степенью реалистичности требуется применение программ, способных обрабатывать трехмерные объекты, «драпированные» («обтянутые») текстурой (растровыми картами либо снимками). Все существующие программы, предоставляющие подобные возможности, могут быть разделены на несколько типов:

А. CAD-пакеты, предназначенные для черчения или проектирования (не для картографии), содержащие встроенные функции для визуализации трехмерных объектов;

Б. Программы для создания 3D-графики и видеоэффектов;

В. Картографические программы.

CAD-пакеты (например, AutoCAD, Microstation), как правило, не позволяют создавать полноценные модели местности в силу того, что они просто не предназначены для этого, однако при необходимости в них можно создать трехмерную модель рельефа, драпированную текстурой, а также добавить в модель дополнительные объекты (дома, сооружения). Пакеты позволяют визуализировать модель с любого ракурса либо вращать ее перед наблюдателем.

Основным недостатком этих способов создания ВММ является чрезвычайная трудоемкость процесса, сложности с взаимным увязыванием растров, трехмерных объектов и пр. Кроме того, подобные модели очень требовательны к ресурсам компьютера, и даже небольшая модель местности (например, соответствующая по размерам и детальности среднему листу карты масштаба 1 : 200 000) может оказаться чересчур громоздкой для того, чтобы обсчитывать ее на персональном компьютере. Кроме того, все эти программы ограничены в своих возможностях и предоставляемых функциях.

Программы для создания трехмерной графики и видео (такие, как 3D-Studio MAX) не столь ограничены в функциях. Можно с уверенностью утверждать, что в этих пакетах можно создать любую, сколь угодно близкую к действительности модель местности, несмотря на то, что программы этого типа не предназначены для выполнения картографических функций (не поддерживается привязка растров, проекции, послойное представление данных, базы данных и пр.). К основным недостаткам этих пакетов относится невозможность облета местности в реальном времени, так как про-

счет каждого кадра может занимать от нескольких секунд до нескольких часов. Также затруднительно создание обширных детальных моделей местности (модель, соответствующая по размерам и детальности среднему листу карты масштаба 1 : 200 000, является очень большой моделью). Следует, однако, отметить, что качество графики, получаемой в результате, очень высоко.

Картографических программ, позволяющих создавать виртуальные модели местности, немного. К ним можно отнести Virtual GIS (из комплекта Erdas Imagine), Multigen, ArcView 3D Analyst (табл. 2.5). Данные пакеты позволяют текстурировать поверхности, наносить дополнительные объекты, проводить просчет сцены в реальном времени, поддерживают картографические системы координат и проекции. Нужно отметить, что потенциальные возможности ArcView 3D-Analyst сравнительно бедны, а качество и скорость обсчета сцен невелики. Из упомянутых программ наиболее богаты возможности Multigen, однако обсчет больших сложных сцен в данной программе затруднен. Возможности Virtual GIS меньше, однако на сегодняшний момент эта программа позволяет создавать наиболее крупные ВММ высокого разрешения, обсчитывая их в реальном времени и с хорошим качеством.

Компоненты виртуальной модели местности. В настоящее время подавляющее количество моделей строится в общеземных прямоугольных системах координат (например, Гаусса — Крюгера), что облегчает добавление в модель новых данных. Однако построение модели в этом случае требует привязки всех данных, использованных в работе. Для реалистичного представления местности современная виртуальная модель должна содержать следующую информацию:

- данные о рельефе (цифровую модель рельефа — ЦМР);
- растровые изображения земной поверхности (сканированные карты либо снимки);
- векторные данные;
- подписи;
- трехмерные объекты специального назначения (сложные модели, импортированные из других программ для создания трехмерной графики);
- дополнительные растровые изображения или анимации.

Цифровая модель рельефа. Одной из наиболее важных составляющих ВММ является ЦМР (см. 2.2.3). Степень соответствия виртуальной модели реальной местности в основном зависит от точности передачи рельефа земной поверхности. Чем точнее и детальнее модель рельефа, тем более реалистична модель. Однако при визуализации трехмерных сцен на обсчет ЦМР может уходить от 50 до 98 % вычислительных мощностей компьютера, и потому излишняя подробность при передаче земной поверхности нецелесообразна.

Степень подробности рельефа зависит от целей и возможностей создателя ВММ. Однако нужно отметить, что местность стано-

Таблица 2.5

Сравнение программ, позволяющих создавать виртуальные модели местности

Характеристики	ArcView 3D-Analyst	MultiGEN	Erdas Imagine Virtual GIS
Тип используемой ЦМР (в порядке предпочтения)	TIN, GRID	TIN, GRID	GRID
Сглаживание граней	Нет	Да	Да
Возможность «обтягивания» рельефа растровыми изображениями	Да	»	»
Возможность нанесения подписей на модель	»	»	»
Возможность нанесения векторных данных	»	»	»
Статическая визуализация (3D-вид)	»	»	»
Запись облета по заданной траектории в видеофайл	»	»	»
Облет сцены в реальном времени	Нет	»	»
Объезд сцены в реальном времени	»	»	»
Импорт 3D-объектов	»	»	»
Анимирование импортированных объектов в реальном времени	»	»	Нет
Звуковые эффекты	»	»	»
Расчет полей видимости	Да	»	Да
Моделирование освещения в соответствии с заданным днем и часом	Нет	Нет	»
Возможность оптимизации модели для ускорения обсчета	»	Да	»
Критический размер, при котором работа с моделью становится крайне медленной (субъективно, может варьировать от модели к модели)	100 000 граней (TIN), 5 млн ячеек (GRID)	50 000 граней (TIN), 2 млн ячеек	Количество ячеек практически не ограничено
Качество визуализации	Низкое	Высокое	Высокое
Необходимость в использовании других программ	ArcView 3.x	Нет	Erdas Imagine

вится «узнаваемой» только при использовании данных масштаба 1 : 200 000 и крупнее. Модели, построенные по данным более мелкого масштаба, хорошо передают структуру хребтов в горных районах, однако узнаются эти хребты только при обзоре их с больших высот — в несколько раз выше самих хребтов (табл. 2.6).

Вообще можно сказать, что при построении ЦМР по отечественным топографическим картам какого-либо масштаба разрешение регулярной модели рельефа должно составлять 0,4 — 0,5 мм в масштабе карты. Более крупный шаг сетки приводит к потере «узнаваемости», более мелкий — к излишней трате машинных ресурсов без необходимости.

Растровые изображения. В настоящее время при создании ВММ широко распространена «драпировка» ЦМР растровыми картами либо космическими снимками.

Покрытие ЦМР растровыми геоизображениями очень помогает при ориентации на модели, привнося в ВММ колоссальное количество новых сведений о местности, и делая ее действительно реалистичной.

Драпировка модели картами встречается чаще, так как карты дешевле, их проще обрабатывать и вносить в модель. Использование космических снимков требует больших затрат на их закупку, обработку, сшивку и различные виды коррекции. Однако реалистичность модели, драпированной аэро- или космическими снимками, гораздо выше, чем у модели, в которой использовались топографические карты.

Как правило, в драпировке модели участвует несколько растровых изображений. Для их использования в ВММ необходимо привязать каждое из них к избранной системе координат, после чего, как правило, изображения объединяются в одну или несколько мозаик более мелких снимков. Делается это, в основном, по двум причинам:

1) меньшее количество файлов проще и быстрее обрабатывать;

2) некоторые программы не могут использовать в моделях наслаивающиеся друг на друга растры (Virtual GIS) или делают это некорректно.

При построении мозаичных изображений в настоящее время применяются алгоритмы автоматического взаимного выравнивания гистограмм, что позволяет сделать линию стыка изображений невидимой. После построения мозаики ее цвета могут быть скорректированы в любом графическом редакторе (например, Adobe Photoshop).

Для того чтобы карты, натянутые на модель, смотрелись четко и красиво, сканирование бумажных карт должно вестись с разрешением не менее 300 точек на дюйм.

Оптимальным соотношением между разрешением цифровой модели рельефа и разрешением растров является отношение 1 : 4 — 1 : 8,

Таблица 2.6

Узнаваемость местности в зависимости от масштаба

Масштаб карты	Разрешение регулярной ЦМР, оптимальное для данного масштаба, м	Узнаваемость и обзор
1:5 000 000 и мельче	2000 и более	Узнаются планетарные формы рельефа и крупные горные массивы (Гималаи, Анды и др.). Необходим обзор с большой высоты (50 — 200 км), с большим охватом (дальность видимости 800 — 2000 км)
1:2 500 000 и DCW	700 — 1000	Узнаются крупные и средние горные системы (Кавказ, Алтай, Саяны и др.), могут быть идентифицированы отдельные крупные горы (Килиманджаро, Ключевская сопка, Эльбрус). Обзор с высоты 30 — 80 км, дальность видимости 150—400 км
1:1 000 000		Видны и узнаваемы отдельные крупные долины и большое число отдельно стоящих гор. Рельеф низменностей и среднегорий остается вырожденным. Высота облета 10 — 30 км, дальность видимости — 100 — 150 км
1:500 000	250	Горные хребты узнаваемы, отражаются все крупные и средние долины в горах с альпийским рельефом.Отдельные характерные участки местности отражаются реалистично. Возможен облет местности на высотах ниже вершин хребтов. Рельеф низменностей выражен, но неточен. Высота облета 1000 — 10 000 м. Рекомендуемая дальность видимости — 100 км
1:200 000	70 — 100	Местность хорошо узнаваема при облете, видны речные долины в средней полосе России. Горный рельеф показан с большой точностью и выглядит эффектно. Рекомендуемая высота полета 100 — 10 000 м над поверхностью земли в горных районах и не ниже 1500 м — в низменных районах
1:100 000	40 — 50	Степень подобия рельефа горных участков суши возрастает по сравнению с рельефом, построенным по карте масштаба 1:200 000, однако принципиально новых деталей не появляется. В равнинных районах наблюдается качественно новый уровень передачи рельефа речных долин и мелких форм (курганы, бугры, овраги). Высота облета и радиус видимости те же, что и в модели 1:200 000
1:50 000	20 — 25	Дальнейшее увеличение правдоподобия модели

т.е. при разрешении ЦМР 100 м растр должен иметь разрешение 12—25 м на местности.

Векторные данные. Отметим сразу, что использование векторных данных в виртуальных моделях требует значительных затрат машинных ресурсов. В большинстве случаев работает следующая закономерность: за одинаковое время будут просчитаны следующие ВММ:

1) ЦМР модели объемом 100 Мб без растров и дополнительных данных;

2) ЦМР модели объемом 50 Мб с 200-мегабайтным растровым изображением;

3) ЦМР модели объемом 20 Мб с 80-мегабайтным растровым изображением и 3—4 мегабайтами векторных данных;

4) ЦМР модели объемом 20 Мб с 3—4 мегабайтами векторных данных и 3—4 Мб дополнительных сложных объектов (трехмерные дома, сложные строения и конструкции и т.п.).

Внесение векторных данных в модель может происходить в двух основных формах.

А. Данные могут быть «натянуты» на поверхность рельефа (как и растровые изображения).

Б. Данные могут быть «вытянуты» над поверхностью рельефа пропорционально некоторой характеристике в таблице атрибутов (например, мы имеем план города, где контуры зданий даны в виде полигонов, а атрибутом каждого полигона является высота — в этом случае при нанесении на ЦМР мы увидим на месте домов параллелепипеды и призмы, имеющие высоту, близкую к реальной, что позволяет быстро «построить» город или несколько населенных пунктов на территории, не занимаясь нанесением каждого дома).

После внесения векторных данных полученные объекты могут быть отображены в модели с использованием различных изобразительных средств — например, цвета либо заливок или штриховок, что позволяет одновременно показывать в модели большое количество данных об этих объектах.

Наиболее часто внесение векторных данных в ВММ используется для показа населенных пунктов, далее (по частоте применения) следуют озера (их представляют как площадные объекты), реки, трубопроводы, железные и автомобильные дороги (как линейные объекты) и т.п.

Подписи. ВММ требуются подписи так же как и картам. Однако внесение подписей в ВММ имеет свою специфику. Основными ее чертами являются:

- нефиксированное положение точки, с которой ведется наблюдение (полет по ВММ возможен в любом направлении);
- низкая емкость ВММ в отношении подписей — модель быстро перегружается топонимами, переставая читаться и адекватно восприниматься пользователем;

• перспективность изображения, при которой далеко расположенные подписи могут быть просто нечитаемы, в то время как близко расположенные могут занимать все поле обзора.

Действительно, классическая карта предназначается для рассматривания только с одной позиции, в то время как модель может быть визуализирована с любого направления. Для устранения этого недостатка применяется не горизонтальное, а вертикальное расположение подписей на модели (подписи располагаются подобно дорожным знакам), при этом они автоматически поворачиваются перпендикулярно направлению обзора во время движения по модели.

Другие недостатки модели неустранимы, их следует просто знать и учитывать при ее создании. В качестве методов их уменьшения можно рекомендовать следующие приемы:

• использование более компактных и жирных шрифтов (например, MS Sans Serif Bold);

• написание подписей в несколько коротких строк, а не в одну длинную;

• использование ярких цветов (красного, фиолетового, тепложелтого) для повышения различимости подписей;

• увеличение разрешения окна визуализации (при размере кадра 1600 × 1200 подписей может быть вчетверо больше, чем при размере 800 × 600).

Кроме того, для повышения различимости подписей можно рекомендовать отображать их различными цветами в зависимости от класса именуемого объекта (горы подписывать красно-коричневым цветом, города — красным, объекты гидрографии — синим и т.д.).

При построении модели в Erdas Imagine подписи готовятся отдельно. Для этого в базовом модуле Erdas Imagine создается так называемый файл аннотаций (Annotation file), который состоит из точек-центроидов подписей к карте, атрибутами которых является сама подпись, ее координаты, тип, цвет и размер шрифта и прочие вспомогательные элементы. Подобный файл может быть внесен в модель как в классической ориентации (плоские подписи), так и в вертикальном виде.

Визуализация ВММ. В настоящее время наиболее популярными являются следующие способы визуализации трехмерных моделей местности:

А. Трехмерная статическая сцена (3D-вид).

Б. Облет в реальном времени.

В. Объезд в реальном времени.

Г. Запись полета по траектории с возможностью смены направления полета в любой момент.

Д. Запись полета в видеофайл без возможности изменения направления полета.

А. Трехмерная статическая сцена (3D-вид). Подобная визуализация является самой распространенной. ArcView 3D Analyst, AutoCAD, 3D-Studio MAX, MultiGEN и прочие программы, упоминавшиеся выше, позволяют визуализировать модели местности (рельеф с нанесенными на него объектами). Данный вид визуализации не требует большой вычислительной мощности компьютера и может происходить в течение нескольких минут (3D-Studio MAX).

Б. Облет в реальном времени. Облет местности осуществляется в Erdas Imagine Virtual GIS по аналогии с полетом на вертолете, т.е. возможна остановка, зависание и разворот на одном месте, однако направление полета при этом идет только вперед по направлению обзора — таким образом, смотреть вперед и лететь вбок нельзя. В MultiGEN существует целый набор моделей движения — аналогов ракеты, самолета, вертолета и даже летающей тарелки.

Данный вид визуализации наиболее требователен к ресурсам компьютера, так как для его реализации необходим просчет 15—25 кадров в секунду. Написание программ для обработки трехмерных сцен в реальном времени значительно сложнее, и потому реализовано только в двух из упоминавшихся программ — в Erdas Imagine Virtual GIS и MultiGEN. Кроме того, поскольку мощности современных компьютеров пока что недостаточны для полноценной визуализации неограниченных наборов данных, приходится прибегать к различного рода ухищрениям, позволяющим не просчитывать несущественно влияющие на вид сцены данные. При недостаточной мощности компьютера облет становится «рваным», количество кадров, отображающихся на экране за 1 с, начинает падать — с 15—25 до 1 кадра в секунду и менее.

Основными методами увеличения скорости обработки моделей и их визуализации являются следующие: 1) ограничение радиуса видимости; 2) понижение степени детализации модели; 3) уменьшение размера кадра; 4) сегментация; 5) применение TIN-моделей. Рассмотрим их более подробно.

1. Ограничение радиуса видимости позволяет не анализировать все данные модели, а ограничиваться частью, увеличивая скорость счета в несколько раз (на крупных моделях).

2. Понижение степени детализации модели. В ряде случаев степень детализации модели может оказаться излишне подробной. Такая ситуация может возникнуть при облете местности на большой высоте (когда отдельные элементы рельефа становятся меньше размера 1 пиксела кадра) или при разрешении модели, большем ее действительной наполненности данными — такая ситуация может возникнуть, если по векторным данным о рельефе карты масштаба 1 : 200 000 была построена регулярная модель рельефа с размером ячейки 30 м (см. выше). В этом случае уровень детализации может быть снижен в 3,3 раза (до 100 м), что увеличит скорость работы в 10 раз.

3. Уменьшение размера кадра. Уменьшение размеров кадра вызывает пропорциональное уменьшение времени, необходимого для вычислений. Так, изменение размера кадра с 800 × 600 до 1024 × 768 пикселов вызовет замедление работы в 1,63 раза. Для достижения необходимого эффекта «большого экрана» можно также применить следующий способ: понизить разрешение самого монитора (тогда картинка останется большой, слегка уменьшив детальность), либо просчитывать «широкоформатные кадры» — кадры, в которых отношение ширины кадра к его высоте равно не 4 : 3, а 16 : 9.

4. Сегментация. В настоящее время сегментация дает наиболее впечатляющий прирост скорости. Суть метода состоит в разбиении ЦМР и наложенных на нее растров на фактически независимые сегменты небольшого размера (512 × 512, 1024 × 1024, 2048 × 2048 пикселов). Для каждого сегмента записываются исходные данные с начальным разрешением, а также копии этих данных с разрешением, падающим в 2, 4, 8, 16 и более раз. При визуализации сцены сегменты, находящиеся близко от наблюдателя, визуализируются с полным разрешением, а сегменты, находящиеся дальше — со все понижающейся детальностью. Однако из-за влияния перспективы понижение разрешения модели с увеличением отдаленности от наблюдателя остается незаметным. Таким образом, изначальный объем данных фактически затрагивается лишь частично. Такой способ требует дополнительной подготовки данных, и реализован в настоящее время в Erdas Imagine Virtual GIS и MultiGEN.

5. Применение TIN-моделей как правило дает неоднозначный результат, зависящий от типа местности, степени ее регулярности и «разорванности» форм рельефа. Суть метода состоит в том, что изначальная регулярная модель данных разбивается на сеть мелких треугольников, после чего грани, угол между которыми становится меньше некоторой величины, сливаются в одну плоскость. Такой метод позволяет отображать только действительно важные формы рельефа, экономя память на больших однородных поверхностях (склонах, плоских участках). Однако в ряде случаев подобный подход не дает ощутимой экономии (крайне нерегулярная местность) либо приводит к вырождению рельефа. Алгоритмы визуализации нерегулярных моделей работают в несколько раз медленнее аналогичных алгоритмов для визуализации ЦМР регулярного типа. Кроме того, следует отметить, что ЦМР регулярного типа обычно выглядит более естественно, тогда как TIN-модель оставляет ощущение искусственности. Все это приводит к тому, что TIN-модели редко применяются при визуализации.

Совокупное использование первых четырех методов дает хорошие результаты, позволяя уже в настоящее время моделировать облет местности на вертолете с высоким пространственным разрешением рельефа и наложенных на него растровых карт либо космических снимков.

В. Объезд в реальном времени. Эта функция предлагается пользователям Erdas Imagine Virtual GIS и MultiGEN. Режим объезда в реальном времени отличается от облета в реальном времени только высотой расположения наблюдателя (при полете она может меняться, а при объезде остается постоянной и очень малой — несколько метров над землей). Этот режим позволяет имитировать нахождение наблюдателя на земле без риска «врезаться» в нее при неаккуратном маневре. Методы ускорения просчета те же, что упоминались выше.

Г. Запись полета по траектории с возможностью смены направления полета в любой момент. Применяется при демонстрационных показах для многократного повторения сложной трассы полета. Для этого записывается линия траектории полета (ломаная), причем для каждого узла ломаной задается высота над уровнем моря, над землей, скорость, углы разворота, крена и тангажа (для обзора местности не перед собой, а под собой или даже сзади себя), угол обзора, плановые координаты на местности. Поскольку сменить во время интерактивного полета угол обзора и иметь постоянный крен или тангаж нельзя, использование этого режима позволяет несколько расширить возможности облета. Так, в режиме облета по траектории можно выполнить «наезд» камеры на нечто интересующее пользователя, задать постоянный крен, тангаж, выполнить «бочку», «колокол», «кобру», по аналогии с известными терминами из высшего пилотажа (в Virtual GIS эти фигуры невыполнимы ни в каком другом режиме). Методы ускорения те же, что и при интерактивном облете в реальном времени.

Д. Запись полета в видеофайл без возможности изменения направления полета. Такой способ визуализации используется, если:

пользователь хочет осматривать виртуальную модель на машине, не оснащенной специальным программным обеспечением;

модель чрезмерно велика и все способы ускорения работы не дали желаемого эффекта.

Запись полета производится в AVI-файл (видео для Windows), или в последовательность отдельных кадров (TIF, BMP). Для уменьшения необходимого дискового пространства возможно применение программ-кодировщиков видео, позволяющих сжимать поток данных кодеками AVI, или преобразовывать его в форматы данных типа MPEG 1, 2, 4.

Положительными свойствами такого способа визуализации является его нетребовательность к машинным ресурсам и практическая неограниченность времени обработки, отрицательными — невозможность изменения один раз записанной траектории облета и увидеть что-либо еще.

Использование специальных объектов. Известно, что при создании виртуальной модели местности возникает необходимость в отображении специальных объектов, таких как конструкции и строения сложной формы, деревья и прочие дискретно располо-

женные предметы. Несомненно, это ведет к повышению реалистичности.

Как правило, к программам для работы с виртуальными моделями местности прилагается набор типовых моделей домов, техники и пр. При необходимости модель можно нарисовать в другой программе (например, в AutoCAD, 3D-Studio MAX, Microstation), после чего ее можно будет импортировать в модель местности. Нужно отметить, что просчет специальных объектов также очень требователен к ресурсам компьютера и замедляет просчет сцены.

Рисование деревьев как трехмерных объектов (каждая ветка рисуется гранями и вершинами) неэффективно, так как даже небольшой лес из 30—40 таких деревьев способен привести машину в неработоспособное состояние. Рисование деревьев лучше осуществлять как установку на местности двух взаимно перпендикулярных растровых изображений с деревом. Подобная модель издалека смотрится как настоящее дерево, но просчитывается в несколько раз быстрее.

Использование специальных эффектов. К специальным эффектам относят следующие.

1. Lens Flare (блики линзы) — в природе данный эффект можно наблюдать при попадании солнца в объектив камеры, когда происходит многократное отражение света в призмах и линзах. Может быть применен в Erdas Imagine Virtual GIS, MultiGEN, 3D-Studio MAX и пр.

2. Fog (туман) — эффект сильного тумана или воздушной дымки. Может быть использован как для повышения реалистичности сцены, так и для сокрытия эффекта «обрывания» горизонта при малом радиусе видимости. Может быть применен в Erdas Imagine Virtual GIS, MultiGEN, 3D-Studio MAX и пр.

3. Background (фон) — в качестве фона можно использовать равномерный цвет, градиентную цветовую заливку или задаваемое пользователем изображение.

4. Heads-Up-Display (указатели тангажа и курса) используется для имитации навигационных приборов самолета. Может быть применен в Erdas Imagine Virtual GIS, MultiGEN.

5. Sun Positioning (положение солнца) кроме интерактивного задания положения и силы источника освещения позволяет точно задать освещение для точки с заданной широтой и долготой на определенный год, месяц, день, час и минуту (например, на 12 ч 48 мин 20 февраля 2004 г., г. Москва). Может быть применен в Erdas Imagine Virtual GIS.

6. Headlight (налобный фонарь) устанавливает источник света в точке, в которой находится пользователь.

7. Water layer (затопление сцены) позволяет затапливать водой все участки сцены, находящиеся ниже заданной высоты. Возможно плавание под водой. Поверхность воды может быть либо про-

зрачна, либо драпирована текстурой. Регулируется прозрачность воды. Кроме того, под водой могут быть расставлены и дополнительные объекты, натянуты векторные слои (Erdas Imagine Virtual GIS, MultiGEN).

8. Blend (прозрачность текстуры) позволяет регулировать прозрачность наложенных растровых слоев в интерактивном режиме. Использование этого эффекта позволяет интерактивно произвести «перетекание» текстуры модели, например, от топографической карты к композитному изображению «карта-снимок» и далее к снимку. Реализовано в Erdas Imagine Virtual GIS.

Использование векторных объектов (Erdas Imagine Virtual GIS). Для использования векторных данных в виртуальной модели местности предусмотрен ряд функций. Как отмечалось выше, векторные данные могут быть «притянуты» к поверхности земли, а могут стоять на ней, причем их высота будет пропорциональна величине характеристики, записанной в одном из полей таблицы атрибутов каждого из векторных слоев. Кроме того, каждый векторный слой может иметь свою легенду (основное изобразительное средство — цвет).

После добавления в модель векторных данных к ним могут быть применены стандартные запросы с использованием математических, логических и прочих функций. Выделенные объекты меняют свой цвет и при облете местности выделяются среди прочих объектов. Также возможно интерактивное выделение объекта прямо на местности (с помощью курсора). Если при этом открыта таблица атрибутов, то для выделенного в окне визуализации объекта появится запись с атрибутами этого объекта.

Ориентирование на модели. Поскольку виртуальная модель местности и карта выглядят по-разному, пользователь, привыкший ориентироваться по карте, может с трудом ориентироваться в трехмерном виртуальном пространстве. Для облегчения этой задачи практически во всех программах положение наблюдателя на модели показывается координатами X, Y, Z, а также указывается азимут и вертикальный угол обзора. Однако подобная информация малопригодна, так как пользователь не воспринимает цифровые значения координат, и тем более не способен оценить их изменения.

Для ориентации на местности в Erdas Imagine существует возможность произвести «связывание» окон визуализации ВММ и обычного окна с привычными картами той же местности. После связывания положение наблюдателя и направление его взгляда отображаются в окне на фоне двухмерной карты, позволяя легко ориентироваться в пространстве. Здесь также существует возможность отобразить и область модели, видимую в окне визуализации на двухмерной карте, что позволяет сразу увидеть, какие модели видны на карте, а какие нет.

Примеры создания виртуальной модели местности. В качестве примера может быть приведена виртуальная модель Восточной

Камчатки (район, включающий Кроноцкий вулкан, Кроноцкое озеро, Долину Гейзеров, кальдеру Узона и побережье Тихого океана). ВММ построена по оцифрованной топографической карте масштаба 1 : 200 000.

Цифровая модель рельефа построена с использованием горизонталей, точечных отметок высот, урезов воды; учтено наличие на территории озер, постоянных и временных водотоков (рис. 5 цв. вкл.). Построение модели производилось в ArcInfo 8.1. Пространственное разрешение ЦМР — 50 м (избыточное). Вертикальный масштаб — 1 : 1.

В качестве текстуры использованы топографические карты и снимок LANDSAT-7 (рис. 6, 7 цв. вкл.).

Для снимка выполнен синтез голубого, зеленого, красного каналов с разрешением 30 м, и панхроматического канала (разрешение 15 м). В результате полученное изображение имеет разрешение около 15 м на местности. Цвета близки к реальным.

Влияние пространственного разрешения ЦМР и текстуры на вид ВММ показано на рис. 8—12 цв. вкл.

Регулирование прозрачности растровых слоев виртуальной модели осуществляется разными способами. В построенной ВММ использовано два растровых изображения — топографические карты и снимок LANDSAT-7 (рис. 13—19 цв. вкл.).

В заключение отметим такой факт, что в последние годы развитие компьютерной техники идет чрезвычайно стремительными темпами, мощность персональных компьютеров растет очень быстро, и количественные изменения в скорости обработки данных начинают переходить в качественные. Уже сейчас персональный компьютер на базе Pentium 4 с соответствующей конфигурацией способен справиться с обработкой модели, выполненной на территорию размером с половину Европы при детальности рельефа, соответствующей точности топографической карты масштаба 1 : 100 000, и драпированной космическими снимками с разрешением 10—15 м. Дальнейший рост производительности компьютеров позволит переходить ко все более обширным и детальным моделям местности, насыщенным огромным количеством трехмерных объектов, дополнительных изображений и снабженных колоссальными базами данных. Степень реалистичности моделей будет возрастать.

Однако дальнейшее увеличение охвата, детальности и реализма моделей, видимо, может быть сдержано их стоимостью, поскольку большее количество данных высокого разрешения (снимки, карты, ЦМР, базы данных, объекты) и трудозатраты на их обработку приведут к лавинообразному росту стоимости этих моделей. Оправданность таких затрат находится под вопросом.

Мнения о целесообразности применения виртуальных моделей в картографии неоднозначны. Несомненно, использование

ВММ в учебном процессе оправдано и уместно, однако дальнейший рост детализации и реалистичности здесь не является необходимым. В большинстве случаев ВММ выполняет роль наглядного пособия.

Применение ВММ в демонстрационных целях и на презентациях чрезвычайно эффектно, и здесь степень реализма модели зависит от степени заинтересованности изготовителя модели в эффекте, который она должна произвести на потенциальных клиентов. Однако по своей сути она также недалека от прочих демонстрационных материалов, используемых на подобных мероприятиях.

В настоящее время наиболее вероятными областями практического применения виртуального моделирования являются:

- создание культурно-исторических моделей, реалистично восстанавливающих исторические эпохи, события, ландшафты (для музеев, школ, вузов);
- обучение пилотов различных летательных аппаратов управлению и ориентации на незнакомой местности; особенно это важно для пилотов «малой авиации», летающих в горной местности;
- стратегическое планирование крупных хозяйственных проектов и войсковых операций (люди, принимающие в подобной ситуации решение, зачастую не обладают навыками работы с классическими картографическими материалами);
- рекламно-пропагандистская деятельность.

К сожалению, указанные направления на сегодняшний момент остаются практически единственными областями применения ВММ. Трехмерное представление данных и сложность в написании алгоритмов визуализации не позволяют проводить сколько-нибудь серьезный ГИС-анализ на трехмерном изображении.

Контрольные вопросы

1. Что такое виртуальная модель местности?
2. Существуют ли ограничения на размер виртуальных моделей местности или на их детальность?
3. Каковы основные способы ускорения обработки трехмерных сцен?
4. Возможен ли облет ВММ в реальном времени в 3D Studio MAX?
5. Какие визуальные спецэффекты применяются к трехмерным сценам в Erdas Imagine?
6. Всегда ли увеличение масштаба исходных данных для построения рельефа ведет к увеличению детальности картины?
7. Каков оптимальный размер ячейки ЦМР для построения рельефа по карте масштаба 1 : 50 000?
8. Перечислите недостатки TIN-моделей.
9. Назовите способы размещения подписей в ВММ и возможные методы увеличения их количества.
10. Из каких программных продуктов возможен импорт трехмерных объектов в ВММ?

11. Перечислите недостатки и преимущества записи облета местности в видеофайл.

12. Каково оптимальное соотношение разрешения ЦМР и текстуры модели?

2.3.4. Картографические анимации

Исторические сведения о картографических анимациях. Первые картографические динамические фильмы были созданы еще в конце 50-х годов XX в. Тогда, в 1959 г., американский ученый Н. Троуэр исследовал возможности применения мультипликационных принципов в картографии. Однако реализовать его методы удалось лишь около 20 лет спустя. Первый картографический фильм, на основании которого строились теоретические предположения Н. Троуэра, состоял всего из двух карт. В дальнейшем им был создан фильм, состоящий уже из 50 карт и показывающий динамику населенности некоторых штатов США в 1936—1957 гг. Фильм длился около 20 мин, тогда как продолжительность всех создаваемых в то время картофильмов составляла не более 2—3 мин.

Развитие вычислительной техники в последующие годы позволило перейти от аналоговых технологий к цифровым, демонстрация которых осуществлялась не на киноэкране, а на дисплее. Один из первых компьютерных роликов демонстрировал ориентацию орбиты спутника. В 1966 г. Корнвелл и А. Робинсон предложили использовать ЭВМ-фильмы в картографии.

В 70-е годы в США несколько возрос интерес к анимационной картографии. В это время был создан ряд дисплей-фильмов. Из наиболее интересных следует отметить фильм трехмерных моделей роста заселенности г. Детройта [W. R. Tobler, 1970], анимированную демонстрацию отмывки (вращение источника света вокруг деталей рельефа), фильм о динамике использования земель в одном из штатов.

К середине 70-х годов вышли в свет несколько обзорных работ по мультипликационной картографии [J. Halas, 1974; G. M. Hunter, 1977; E. L. Levitan, 1977]. В это же время были созданы специализированные языки программирования, ориентированные на анимацию (языки BEFLIX и ANIMA II). Наиболее значимый практический эффект дал опыт ученых Великобритании — сделанные ими анимации процессов, происходящих в Ирландском море, позволили не только отражать движения водных масс, морских фронтов и течений, но и составлять прогнозы и оперативно принимать решения относительно освоения ресурсов моря, охраны морской среды и т. п.

Однако до начала 90-х годов XX в. анимационная картография оставалась доступной лишь узкому кругу профессионалов и экспертов. Причиной тому была высокая стоимость вычислительной техники, ее низкая производительность и необходимость больших усилий на создание каждой анимации. Однако снижение стоимости

компьютеров до уровня, когда они действительно стали персональными, и улучшение качества бытовых мониторов до уровня телевизионного сигнала и выше привели к резкому увеличению анимационных материалов [А. М. Берлянт, Л. А. Ушакова, 2000].

Бурный прогресс компьютерной техники, начавшийся в первой половине 90-х годов, привел к появлению самых разнообразных типов анимаций.

Виды картографических анимаций. В настоящее время можно выделить несколько видов картографических анимаций.

1. ***Анимированные двухмерные карты динамики.***

1.1. Карты динамики площадных контуров явлений на различные даты.

1.2. Карты разности состояний на несколько дат одних и тех же площадных контуров.

1.3. Карты динамики точечных объектов (динамика положений или состояний объектов).

1.4. Карты динамики линейных объектов (динамика положений или состояний объектов).

1.5. Комплексные динамические двухмерные карты (карты, на которых одновременно показана динамика точечных, линейных и площадных объектов либо различных их сочетаний).

2. ***Анимированные двухмерные карты движения.***

3. ***Классические двухмерные карты, использующие в качестве изобразительного средства эффекты анимации.***

4. ***Анимированные линейные и площадные анаморфозы.***

4.1. Анимированные линейные анаморфозы.

4.2. Анимированные анаморфозы, показывающие динамику контуров на различные даты (две и более).

4.3. Анимированные анаморфозы состояний контуров.

4.4. Комплексные анимированные анаморфозы (динамика контуров и состояний контуров в сочетании с прочими динамическими изобразительными средствами).

5. ***Анимированные динамические трехмерные изображения.***

5.1. Анимированные поверхности (изометрия, динамическая изометрия со сменой точки и угла обзора).

5.2. Анимированные трехмерные блок-диаграммы и условные знаки.

5.3. Трехмерные анимированные анаморфозы.

6. ***Анимации в виртуально-реальностных изображениях.***

6.1. Облет местности, движение по поверхности.

6.2. Движение в среде.

6.3. Движение в пространстве виртуальной реальности цифровой модели местности (ЦММ) одновременно с анимированием отдельных компонентов самой ЦММ (движение наземных и воздушных объектов, течение рек, метеоявления и пр.).

По конечному результату анимации можно подразделить на следующие типы:

1. Неуправляемая последовательность двухмерных кадров. В данном типе анимации просматривающий субъект не может изменить практически ничего — ни проекцию, ни угол обзора, ни масштаб изображения. Типичным примером такой анимации является анимация в формате AVI (видео для Windows). Несмотря на двухмерность самих кадров, содержание их может быть трехмерным (например, AVI-файл с анимированной трехмерной поверхностью). Исходные кадры-карты могут создаваться автором самыми разнообразными способами и не предназначаются для изменения потребителем. Для просмотра анимации не требуется ни специального программного обеспечения (ПО), ни значительных аппаратных средств, пользователь может обладать лишь начальной компьютерной подготовкой.

2. Последовательность векторных карт, переводящаяся в растр и выводимая на экран в реальном времени. Обычно для анимации такого типа можно задать пользовательскую проекцию, сменить масштаб или компоновку карты, изменить легенду, включить или выключить слои данных. Обычно создание такой анимации ведется на базе уже существующих ГИС-пакетов с помощью системы внутренних команд или встроенного языка программирования. Примером может служить анимация, составленная из последовательности векторных карт в формате SHP (работающая в среде ArcView) интерактивно управляемая пользователем. Для создания анимации подобного рода требуется наличие производительной техники (обладающей достаточной вычислительной мощностью), наличие ГИС-пакета и умение программировать на одном из внутренних языков ГИС (например, Avenue для ArcView 3.2). Просмотр анимации возможен любым пользователем с начальным уровнем знания ГИС-пакета, в котором создавалась анимация.

3. Полностью управляемая пользователем модель данных, визуализируемая в результате длительного просчета. Здесь пользователь может изменить почти все параметры (скорость облета, угол зрения, дальность видимости, наличие атмосферных эффектов, движение прочих моделей в пространстве математической модели местности и т.п.), однако результаты изменений анимации он может увидеть лишь после просчета, в результате которого получается некорректируемая последовательность двухмерных кадров. Для создания требуется наличие специализированного ПО, высокопроизводительного аппаратного обеспечения, отличное владения пакетами для создания такой анимации (3D-Studio MAX, Power Animator, Maya, и прочие продукты, предназначенные для создания самой сложной двух- и трехмерной графики для видео- и кинофильмов). Пользователь, обрабатывающий такую модель данных, должен также иметь мощный компьютер, ПО, в котором создавалась модель данных, и навыки работы с этим ПО.

4. Полностью управляемая пользователем виртуальная модель местности, визуализируемая в режиме реального времени. Здесь пользователь может изменить все параметры, причем результаты изменений становятся видны сразу же без каких-либо дополнительных расчетов. Создание модели может быть чрезвычайно сложным, требуя не только больших вычислительных мощностей, но и владения сразу несколькими ГИС-пакетами, пакетами 3D-анимации, программирования и пр. Квалификация пользователя может быть различной: от минимального ознакомления с программой и простого просмотра до глубокого знания особенностей построения модели и возможности внесения в нее необходимых изменений.

Назначение анимаций. Область применения анимированных картографических изображений практически не ограничена. Как известно, картографировать можно практически любые предметы, которые нас окружают. Неоспоримо, что все картографируемые объекты со временем меняются. Следовательно, для любого предмета картографирования может быть создана картографическая анимация.

В настоящее время основными областями, для которых создаются и в которых используются картографические анимации, являются:

1) оперативное картографирование (Гидрометеослужбы) и экстренное картографирование при чрезвычайных ситуациях (ЧС). Цели: своевременная поддержка принятия решения, выявление закономерностей развития картографируемого явления, достоверное прогнозирование развития ситуации на основании имеющегося динамического ряда состояний картографируемого процесса;

2) учебный процесс (в школах, вузах, военных учебных заведениях и др.). Цель: достоверная передача знаний учащимся, более наглядная демонстрация ранее выявленных закономерностей развития картографируемых явлений и процессов;

3) демонстрационно-рекламная и пропагандистская деятельность (различного рода презентации и показы, совмещающие демонстрацию картографических фильмов с разнообразной прочей информацией — текстами, графиками, таблицами, фотоматериалами, видеозаписями). Цель: наглядная передача специализированной информации лицам, не обладающим картографической подготовкой (потенциально — демонстрация гражданам, не имеющим вообще никакого специального образования), для того чтобы подвигнуть их к какому-либо действию;

4) планирование военных операций или слежение за их ходом. Цель: максимально наглядная передача специализированной информации лицам, имеющим картографическую подготовку для обеспечения оперативной поддержки принятия решения;

5) фундаментальные исследования в области исторических, географических, геологических, общественных наук. Цель: фундаментальные исследования для выявления неизвестных ранее процессов.

Анимация и математическая основа карт. Временной масштаб анимаций. В настоящее время двухмерные динамические анимационные карты, как правило, обладают всеми атрибутами классической карты (масштабом, проекциями, сеткой меридианов и параллелей и пр.).

Проекция. Как правило, основная часть анимаций создается с расчетом на неизменность проекции. Смена проекции при создании двухмерных анимаций практически всегда приводит к необходимости изменения компоновки карты, ее масштаба, смещению легенд и прочим изменениям, настолько значительным, что в результате приходится переделывать весь фильм. Смена проекции при создании трехмерной анимации вообще требует полного пересчета всей модели. Относительно просто поменять проекцию, а также компоновку анимированной карты можно лишь в том случае, если мы имеем дело с последовательностью векторных карт, переводящихся в растр и выводимых на экран в реальном времени.

Следует отметить, что вести речь о проекции для анимированных анаморфоз можно лишь условно, так как в ходе анимации контуров происходит динамическое изменение пространства, которое не может быть описано одной проекцией. Здесь можно лишь напомнить о семействе проекций, в рамках которых происходит покадровое изменение пространства.

При создании трехмерных анимаций, особенно изометрических изображений, перспективных видов, облетов местности и т. п. нельзя говорить о проекции самого изображения на экране дисплея, так как в проекции находятся лишь данные, на основании которых строится само изображение в кадре.

Масштаб. Масштаб анимационной компьютерной карты также нельзя рассматривать в классическом понимании этого термина, так как он зависит от размера дисплея, на котором демонстрируется фильм, и от размера окна, в котором ведется показ (окно может быть больше или меньше дисплея). При создании анимации по облету трехмерной модели местности, когда мы имеем дело с изометричным изображением, говорить о масштабе вообще некорректно. Поэтому для всех видов картографической анимации целесообразно было бы использовать термин «пространственное разрешение». Для двухмерной анимации пространственное разрешение будет выражаться в метрах на пиксел, для трехмерной — просто в метрах (например, пространственное разрешение виртуальной модели местности составляет 20 м).

Временной масштаб изображений. Поскольку время является по своей сути четвертой координатой, то при создании анимаций можно учитывать временной масштаб. В основном в картографии все показываемые процессы отображаются в ускоренном режиме, однако в принципе можно предположить появление и замедленных картографических анимаций. Временной масштаб 1 : 86 400 ука-

зывает на то, что одной секунде анимации соответствует 86 400 с реального времени, т. е. 1 сут.

Нужно отметить, что в анимации, особенно при создании двухмерных анимаций, обычно имеют дело не с секундами, а с кадрами. Нередко при просмотре фильма можно увидеть надпись «1 кадру соответствует 1 год». В этом случае точно определить временной масштаб становится затруднительно, так как для этого нужно еще знать, сколько кадров показывается в секунду в данной анимации.

Использование разных по временному масштабу картографических анимаций дает результат, сходный с использованием разных по масштабу карт на одну и ту же территорию. При уменьшении масштаба карты (в результате генерализации) на карте остаются лишь основные, самые важные детали строения местности, а менее значимые исчезают. И наоборот, при увеличении масштаба можно увидеть незначительные особенности местности, неразличимые на мелкомасштабных картах. Уменьшение временного масштаба анимации позволяет выявить основные направления развития территории, сгладив короткие незначительные «биения» за счет сверхускоренного показа событий. Фильмы же с крупным временным масштабом скрывают от нас эти основные направления, но позволяют детально изучить особенности отклонений развития явлений от основного течения. Использование смены временного масштаба позволяет говорить о временной генерализации картографируемых явлений и процессов.

Легенды к картографическим анимациям. Легенды для анимаций должны удовлетворять двум взаимно противоположным условиям: быть максимально полными, показывая все виды условных знаков на карте и все варианты их анимации для обеспечения максимальной наглядности карт, и небольшими по размеру, так как размер матрицы экрана относительно невелик.

Легенды анимационных карт часто содержат как привычные условные обозначения, принятые в классической картографии, так и достаточно специфические элементы, редкие или никогда не встречающиеся на обычных картах. Приведем несколько примеров:

– счетчики времени. Применяются для точного определения момента времени, на который создавалась карта;

– цветовые многоступенчатые или непрерывные градиентные шкалы (число ступеней цветов может достигать 800—1000 и более). Используются для анимирования цветовой окраски и достижения эффекта плавного перехода цветов;

– анимированные условные знаки (точечные, линейные, площадные). Сами изображения знаков могут быть как двух-, так и трехмерными;

– пульсирующие условные знаки (знаки с циклически меняющейся формой, цветом, светлотой, внутренней структурой, ориентацией);

— индикаторы достоверности данных или типов данных для каждого кадра.

Особенности компоновки картографических анимаций. К началу XXI в. практически все аналоговые и кинематографические способы демонстрации и создания картографической анимации перестали применяться, так как все они являлись чрезвычайно трудоемкими (требовалась ручная или частично автоматизированная прорисовка каждого кадра), пользователь не мог ничего изменить в уже готовом анимационном продукте, средства демонстрации (кинозал, проектор, экран) были громоздкими или имели высокую стоимость, а сам процесс — длительным и дорогостоящим. Упоминающиеся в отдельных источниках способы создания анимации путем съемки на видеокамеру отдельных бумажных карт в заданной последовательности [А. М. Берлянт, Л. А. Ушакова, 2000] в настоящее время также практически не используются.

Абсолютное большинство картографической анимации создается с использованием компьютеров и предназначено для просмотра на экране дисплея.

Основой для восприятия человеком анимации является изображение, выводимое на экран компьютера, и при просмотре анимации человек может воспринять лишь ту информацию, которая находит отражение на экране. Однако как раз экран компьютера является самым «узким» местом в создании картографической анимации.

Несмотря на колоссальный рост объемов накопителей данных и мощности процессоров за последние 10 лет, увеличение размеров дисплеев и их разрешения (в дюймах и в количестве пикселов) невелико. Приведем пример: в начале 1993 г. компьютер, считавшийся «хорошим», обладал жестким диском объемом 20—40 Мб, оперативной памятью 1—4 Мб и экраном с максимальным разрешением 640 × 480 пикселов с диагональю 14 дюймов. В начале 2003 г. «хорошим» считается компьютер, обладающий жестким диском объемом 80—120 Гб (увеличение в 3000—4000 раз), оперативной памятью около 512 Мб (увеличение в 128—512 раз), экраном с максимальным рабочим разрешением[1] 1600 × 1200 при диагонали 19 дюймов. Таким образом, увеличение площади экрана (в пикселах) составило 6,25 раза, а увеличение его площади в квадратных сантиметрах составило всего 1,84 раза.

Чтобы понять, много это или мало, перейдем к аналоговым картам. При сканировании стандартной военно-топографической карты полная передача всей необходимой информации с точно-

[1] Рабочее разрешение — разрешение, при котором обеспечивается постоянная комфортная работа пользователя; предельное значение разрешения монитора всегда выше его рабочего разрешения, но им практически никогда не пользуются из-за низкой частоты обновления экрана.

стью, соответствующей или превышающей точность исходной карты, достигается при разрешении сканирования 250 точек на дюйм (размер точки — 0,1 мм, точность карты — 0,4 мм, минимальная толщина линии на карте — 0,15 мм). Следовательно, на экране с разрешением 1600 × 1200 точек поместится столько же информации, сколько на бумажной карте размером 16 × 12 см. Небольшое поле для деятельности, особенно если учесть, что основная масса пользователей работает с разрешением 1280 × 1024 или 1024 × 768 точек! Из этого вытекает необходимость максимально эффективно использовать все поле изображения, стараясь по возможности оставлять на нем лишь наиболее значимые и важные детали.

Второй особенностью компоновки компьютерных картографических анимаций являются пропорции экрана и его ориентация. Пропорции всех без исключения экранов составляют 4 : 3 (отношение ширины к высоте), и кадр всегда расположен горизонтально.

Возможно, развитие технологий производства плоских мониторов приведет к появлению экранов, которые можно повернуть боком, однако это дело не сегодняшнего дня. Вследствие этого создание анимаций, сильно вытянутых в вертикальном направлении, затруднено, так как при этом их вертикальный размер лимитируется короткой стороной экрана.

Требование к пропорциям экрана как 4 : 3 необязательно — пропорции могут быть какими угодно: достаточно лишь перейти от полноэкранной анимации к оконной. Однако при этом полезная площадь окна сильно уменьшается.

Следует отметить, что первые картографические анимации [N. J. W. Thrower, 1959] обладали рядом особенностей, необычных для классической картографии и современных анимаций. Так, на этих картах не указывался масштаб, проекция, отсутствовала сетка меридианов и параллелей, не было легенд. Эти особенности были обусловлены техническими и идеологическими причинами. В частности, отсутствие легенд автор объяснял тем, что у зрителя все равно нет времени их читать, и предпочитал давать легенды в виде звукового сопровождения. Подобный подход заслуживает внимания и может использоваться если не для полной, то хотя бы для частичной замены легенды при создании сложных комплексных анимаций.

Анимация и картографические способы изображения. Несомненно, широкое распространение различных методов использования анимации приведет к некоторому пересмотру классификации картографических способов изображения, добавив к ним ряд других способов.

Как известно, при создании всех условных знаков картограф оперирует графическими переменными. В классической картографии к таковым относятся: форма, размер, цвет, светлота, внут-

ренняя структура и ориентация знака. Картографические анимации добавили к этому ряду еще несколько переменных.

Приведем эти переменные совокупно с примерами гипотетических двухмерных карт (не являются картами динамики!), использующих анимационные эффекты в качестве условных обозначений.

Анимация формы (условный знак может менять свою форму, причем смена формы может идти по-разному в зависимости от семантического значения знака). Пример: демографическая карта городов, на которой уровень рождаемости показан в виде условного знака — кружка, при этом рождаемость тем выше, чем больше разность между начальным и конечным размерами кружка, скорость увеличения каждого кружка пропорциональна среднему числу родившихся детей на 100 матерей. Анимации циклически повторяются.

Анимация цвета (условный знак меняет исходный цвет на другие цвета, скорость и тип смены цвета характеризуют интенсивность картографируемого процесса). Пример: электоральная карта городов, показанных условным знаком — белым кругом. Размер круга пропорционален численности жителей. Электоральные предпочтения большинства показаны переходом от белого цвета к условному цвету, ассоциированному с тем или иным кандидатом, скорость смены цвета пропорциональна перевесу на выборах. Анимации циклически повторяются.

Анимация размера (условный знак меняет размер, смена размера зависит от семантики). Пример: карта населенных пунктов. Населенные пункты показаны условным кругом диаметром D. Миграция населения представлена циклической медленной сменой размера знаков (временно́й период смены — T), причем диаметр знака меняется пропорционально количеству мигрантов за год. Поселки вахтового типа с сезонным заселением показываются также циклической сменой знака (период смены — $T/6$), пропорциональной численности вахты.

Анимация внутренней структуры знака (внутри знака происходит смена текстуры или рисунка знака). Пример: карта населенных пунктов, показанных геометрическими условными знаками различной формы в зависимости от типа поселения — городское или сельское. С помощью различного цвета отражен национальный состав, при этом текстура передает половозрастной состав, анимация текстуры — изменения в структуре половозрастного состава, имевшие место за период.

Анимация положения знака. С помощью характера движения знака можно представить дополнительную информацию об объекте. Анимация положения возможна в двух видах.

Первый вид — движение значка по полю карты, показывающее фактическое перемещение объектов в пространстве. Пример: карта

преобладающего направления течений в море. Направление движения водных масс показано движущимися стрелками.

Второй вид анимации положения знака — знак передвигается, но движение знака не связано с его перемещением в пространстве. Пример: карта мира, на которой в центре каждой страны стоит одинаковый условный знак (например, круг); при достижении страной определенного уровня эмиграции за год знак начинает совершать «биения» из стороны в сторону, оставаясь в конечном итоге на одном месте, причем амплитуда биений пропорциональна дальности миграции.

Анимация ориентации знака является частным случаем применения анимации формы знака и потому не была выделена в отдельную динамическую переменную.

Анимация поверхностей. В географии часто возникает необходимость анализа ряда поверхностей. Это может быть, например, ЦМР одной и той же территории в различные эпохи; поле атмосферного давления; поверхность, построенная по псевдоизолиниям лесистости местности.

Анализ разновременных состояний поверхности и выявление динамики развития поверхности путем визуальных наблюдений и классической картометрии практически невозможен. Для проведения подобных исследований необходимо использование специализированного математического аппарата. Применение математических методов само по себе затруднительно, да и не слишком наглядно. Зачастую, особенно если необходимо лишь уяснить суть происходящих изменений и их скорость, можно упростить данную задачу путем использования трехмерной анимации поверхности.

Допустим, известны N состояний поверхности за период T. На каждый ключевой момент времени, на который мы обладаем информацией о состоянии поверхности, проводится построение регулярной модели поверхности (GRID) (использование нерегулярной триангуляционной модели данных (TIN) затруднительно по программным и техническим причинам).

Далее каждая из N моделей подгружается в специализированное ПО (например, 3D-Studio MAX), где задается ее временна́я принадлежность (например, i-я поверхность существовала в k-й момент времени) — временны́е промежутки между состояниями поверхности могут быть неодинаковыми, задается общее количество кадров в анимации и скорость смены кадров. По́сле этого компьютер автоматически просчитывает промежуточные кадры (между ключевыми), составляя из них единый анимационный фильм. Процесс интерполяции состояний поверхности для каждого момента времени по ключевым состояниям называется морфингом (Morphing).

При необходимости (для повышения наглядности и информативности анимации) поверхность может быть текстурирована или

«драпирована» (если поверхностью является рельеф местности, то ее можно обтянуть текстурой космических снимков), в нее могут быть добавлены какие-либо прочие объекты (например, населенные пункты). В процессе анимации поверхности можно произвести ее облет либо создать ряд анимаций одной поверхности, сделанных с разных точек обзора.

Использование подобного подхода позволяет чрезвычайно наглядно и эффектно продемонстрировать основные тенденции развития поверхности во времени и провести визуальную оценку этих изменений.

Реализация анимации анаморфоз. В качестве наиболее сложного примера обратимся к методике создания анимированных анаморфоз. Суть предлагаемой авторами идеи [N. Bogomolov, I. Rylskiy, V. Tikunov, 2002] такова. Пусть существуют два изображения: исходное (недеформированное) и результирующее (анаморфоза). Оба изображения (векторные) имеют одинаковую топологию объектов и одинаковое количество вершин для каждого контура.

В результате реализации разработанной авторами программы на основании упомянутых изображений строятся промежуточные фазы перехода от обычной карты к анаморфозе. Пользователь имеет возможность построить все промежуточные фазы данной анимации и увидеть их на экране со скоростью 25 фаз в секунду. Продолжительность анимации задается пользователем. Имеется возможность проигрывания анимации как от обычной карты к анаморфозе, так и наоборот.

При построении промежуточных фаз производится линейная интерполяция координат X, Y точек-узлов каждого контура. Пользователь имеет следующие возможности:

- просмотреть файл типа KRLB (результирующий формат программы для построения анаморфоз);
- задав два файла KRLB (с идентичной топологией и количеством узлов), просмотреть все фазы превращения одного изображения в другое. В данном случае это обычная карта, переходящая в анаморфозу, однако возможно построение промежуточных фаз для двух заданных анаморфоз (например, анаморфозы населения стран мира за разные годы);
- возможна как ручная, так и автоматическая прокрутка кадров. Для автоматической прокрутки пользователь задает длительность анимации и ее направление (например, от карты 1 к карте 2, или наоборот);
- результаты автоматического построения фаз могут быть сохранены на диске в виде отдельных кадров, записанных в формате *.bmp, пользователю необходимо лишь задать количество кадров. Кроме того, имеется возможность задать разрешение результирующего растра (практически любых размеров), а также откадрировать и увеличить любой участок изображения;

• при построении анаморфоз (при недостаточном количестве узлов) возможно образование из одного контура нескольких (появление самопересекающихся ломаных). Пользователь может проверить любой из KRLB-файлов на предмет наличия подобных мест, и в случае их обнаружения программа отметит их контрастным цветом (красным).

Ниже приводятся некоторые сведения о том, как можно повысить информативность и размерность изображения. Как упоминалось выше, и по настоящее время мы имеем дело прежде всего с плоскими (2D) изображениями. Несколько реже используется отображение на плоскости 3D-изображений (поверхности, блок-диаграммы).

С началом эры персональных компьютеров, способных воспроизводить полнометражное видео, возможность отображения какого-либо объекта в динамике стала приравниваться к повышению размерности исходного статического изображения на один уровень. Динамические 2D-изображения (например, картограммы, где значение показателя выделено цветом) по сути трехмерны.

Динамические ряды данных по целому ряду показателей довольно часто встречаются в социально-экономической картографии. Построение динамических 2D-изображений по каждому из показателей в отдельности стало в настоящее время достаточно частым явлением. Анализ одного картофильма — дело также несложное. Есть возможность построить картофильм и на каждый из картографируемых показателей. Однако провести некие корреляции между ними в определенной степени затруднительно.

Таким образом, мы вплотную подошли к существу одной из проблем — картографированию сразу нескольких динамических показателей одновременно, без построения дополнительных динамических карт корреляций.

Рассмотрим задачу на примере трех показателей: 1) численности населения; 2) средней продолжительности жизни; 3) ВНП на душу населения. Все показатели брались для каждой страны мира за последние 30 лет. Показ динамики сразу трех показателей на одной модели методами классической картографии достаточно затруднен. Однако решение может быть следующим.

1. Население мира: ежегодно строится анаморфоза численности населения (мир). Изображения (каждое из них) двухмерны. Если запустить последовательно все изображения одно за другим, то увидим «вздутия» и «сплющивания» для различных стран. Поскольку изображения растровые, для каждой страны выберем точку, которая бы не смещалась за весь период, находилась примерно в центре страны, и определим ее координаты в системе *XOY*.

Человек достаточно хорошо воспринимает даже незначительные изменения формы, и потому динамика явления будет видна очень хорошо.

2. Ожидаемая продолжительность жизни. Динамику средней продолжительности жизни отобразим цветом. Выберем многоступенчатую шкалу (например, 100 ступеней цветов) так, чтобы каждый уровень показателя обозначался одним цветом. В соответствии с этим динамика продолжительности жизни в каждой стране отобразится как достаточно непрерывное изменение ее цвета, что также достаточно наглядно.

3. ВНП на душу населения. Для определения этого показателя используем метод построения 3D-пирамидальных блок-диаграмм. Суть метода такова: пусть есть двухмерная карта стран (или иных территориальных единиц), см. цв. вкл. 1. Для каждой страны (визуально) выберем центр (X, Y), и для него координатой Z будет значение ВНП на душу населения в данной стране в данном году. Все точки-узлы контуров страны будут иметь свои XY-координаты, а координата Z у них будет равна нулю. Если после этого по полученному массиву X, Y, Z построить трехмерную поверхность и для облегчения ориентации «обклеить» («драпировать») ее исходной двухмерной картой, то увидим, что каждая страна превратилась в «гору», основанием которой стала внешняя граница страны, а высота пропорциональна картографируемому показателю (в нашем случае — ВНП на душу населения). Исходной двухмерной картой может быть как классическая политическая карта мира, так и анаморфоза — статическая или динамическая. Необходимым условием при этом является постоянство во времени координаты XY вершины «горы» в каждой стране.

С учетом вышеизложенного были построены динамические пирамидальные блок-диаграммы по ВНП, причем их вершины остаются (в плане) на одном месте, а высота меняется со временем. Форма и площадь основания этих «гор» зависит от численности населения данной страны (динамическая анаморфоза). И одновременно с этим каждая «гора» будет постоянно менять свой цвет — в соответствии с продолжительностью жизни.

Для того чтобы сделать подобные изображения метричными, значения показателей за каждый год можно просто подписать над вершиной каждой из «гор». Можно также нанести на них линии уровня. Размерность этого изображения очень высока. В самом деле, статическое нераскрашенное изображение в данном случае являло бы собой визуализацию некоей поверхности. Во времени изменяются как высота гор, так и форма их основания, а также цвет.

Актуальные технические проблемы картографической анимации.

Передача данных по сети Интернет. Наибольшие сложности для использования анимации возникают в сети Интернет. Передача готовой растровой анимации высокого разрешения с большим числом кадров по стандартным каналам связи практически невозможна из-за большого объема данных и низкой пропускной способности, что приводит к значительным финансовым затратам. Кроме

того, это длительный процесс. Более перспективным методом является передача по каналам связи исходной информации и параметров ее анимирования в каком-либо стандартном и общепринятом программном продукте.

Однако в настоящее время не существует ни одного более или менее общепринятого формата данных для передачи анимации в таком виде, не распространены также и программные продукты, позволяющие рядовому пользователю самостоятельно создать анимацию (предположительно, этих продуктов вообще не существует). Проблему в некотором смысле позволяет решить формат VRML, предназначенный для передачи по сети Интернет трехмерных моделей и просматриваемый рядом бесплатных (или условно-бесплатных) программ, позволяющих проводить поворот модели, ее масштабирование и приближение к ней. Однако данный формат вообще не предназначен для картографии, очень громоздок и имеет ряд других недостатков.

Передача исходных виртуальных моделей для их последующей визуализации пользователями или специалистами-картографами также весьма затруднена, поскольку несмотря на все ухищрения и методы оптимизации и сжатия даже весьма средняя по размерам и детальности виртуальная модель может занимать объем более 1 Гб, а наиболее крупные модели — десятки гигабайт.

Кроме того, стоимость программных пакетов обработки сложных виртуальных моделей и трехмерной графики (Erdas Imagine, 3D-Studio MAX, MAYA, MultiGEN) достигает десятков тысяч долларов и рядовой пользователь просто не может их приобрести.

Сжатие анимации. В силу вышеописанных причин передача картографических анимаций осуществляется в 99 % случаев в виде растрового видеофайла (например, файл AVI) или последовательности файлов-кадров (TIFF). На практике запись видео может производиться в форматы AVI, MPEG, DV и ряд других форматов (RAM, QUICK TIME, WMV), применяющихся для картографических анимаций очень редко.

Формат AVI изначально создавался как формат без сжатия, однако на сегодняшний день в мире существует несколько десятков специальных драйверов-кодеков, поддерживающих различные алгоритмы сжатия, в то время как файлы с данными все равно имеют расширение *.avi.

Для записи анимации в последовательность кадров наиболее часто используется формат TIFF, далее за ним следуют форматы jpg, bmp, tga и др.

Нетрудно подсчитать, что один кадр несжатого видео размером 1280 × 1024 с глубиной цвета в 24 бита занимает 4 Мб данных. Минимальная рекомендуемая скорость показа анимации составляет 15 кадров в секунду (при меньшем количестве кадров начинает проявляться эффект «скачков» изображения), оптимальная — 25

кадров в секунду. При этом скорость обмена данными с жестким диском должна составлять 60—100 Мб/с. Однако современные жесткие диски способны на обработку лишь 20—28 Мб/с (здесь не рассматривается применение RAID-массивов, так как это чрезвычайно редкая ситуация).

Поскольку полноцветные несжатые кадры и фильмы и в настоящее время не могут воспроизводиться на компьютере со скоростью 25 кадров в секунду, возникает необходимость использовать различные методики сжатия видеоданных, доводя поток информации до 5—10 Мб/с. Декомпрессия изображения осуществляется в режиме реального времени центральным процессором (процессорами) компьютера.

Все алгоритмы сжатия информации разделяют на алгоритмы сжатия с потерей качества и алгоритмы без потери качества. В первом случае добиваются значительного сжатия, но конечное изображение может сильно отличаться от оригинала, во втором — фильм остается неизменным, но достаточного сжатия не достигается.

Алгоритмы сжатия с потерей данных. К ним относятся алгоритмы сжатия MPEG1, MPEG2, MPEG4, Motion JPEG, DV, RAM, семейства кодеков для формата AVI: кодеки серий DIVX, INDEO, CINEPACK. Все они достаточно широко распространены, бесплатны, удобны для использования и обеспечивают значительное сжатие за счет частичной деградации изображения. Для каждого типа анимации рекомендуется попытаться применить различные алгоритмы сжатия, выбрав среди них тот, который привел к наилучшему результату.

Следует отметить, что наиболее качественное изображение и (одновременно!) наилучшее сжатие обеспечивают алгоритмы семейства DIVX MPEG4. Отрицательной чертой их является возможность конфликта программ-декодировщиков с аппаратным обеспечением компьютера, что приводит к некорректному показу изображения или даже к сбою показа. Впрочем, эти случаи чрезвычайно редки.

Практически такой же результат дает использование алгоритма сжатия MPEG2, лишенного указанного выше недостатка. Оба алгоритма требуют для просмотра установки на компьютер драйверов кодеков, не поставляющихся в стандартной комплектации Windows.

Менее качественное изображение и худшую компрессию дает использование кодека CINEPACK. Однако драйверы этого кодека автоматически устанавливаются на компьютер вместе с Windows, и потому пользователь может не утруждать себя поисками необходимого ПО.

Все остальные алгоритмы сжатия в настоящее время доступны, однако не обладают никакими преимуществами перед вышеописанными и потому применяются крайне редко.

Алгоритмы сжатия без потери данных. К этим алгоритмам относится семейство кодеков сжатия типа RLE (Run-length encoding).

Алгоритм сжатия RLE основан на том, что при наличии в изображении идущих последовательно один за другим *N* одинаковых пикселов цвета *K* кодировщик производит запись лишь числа повторений *N* и значения цвета *K*, экономя таким образом большое количество байтов.

Однако сжатие возможно лишь в том случае, если в изображении часто встречаются цепочки пикселов одного цвета, т.е. изображение достаточно регулярно. Как правило, к таким изображениям относится большинство двухмерных анимаций, где часто применяются однородные цветовые заливки, кадры повторяют один другой (или незначительно отличаются друг от друга). В этом случае сжатие RLE дает замечательный эффект.

Однако при сжатии этим алгоритмом трехмерной графики результат оказывается практически нулевым. Происходит это из-за чрезвычайной неоднородности трехмерного изображения (наличие текстур, теней, быстрая смена точек обзора и т.п.).

Наиболее качественный результат дает применение кодека Autodesk RLE 24 bit, который позволяет сжимать этим алгоритмом анимации с глубиной цвета 24 бита. Широко известный кодек Microsoft RLE предназначен для работы только с анимациями в 256 цветов, причем даже в этом случае изображение часто и сильно загрубляется.

Перспективы развития анимационной картографии. В первую очередь дальнейшее развитие картографической анимации нуждается в экспериментальных психологических исследованиях, направленных на изучение восприятия динамических графических образов, а также на оценку результатов создания тех или иных способов изображения, использующих динамические графические переменные.

Если в классической картографии такие работы проводились, были опубликованы и широко использовались при оформлении карт и в картографическом дизайне, то в анимационной картографии эта область знаний практически не исследована.

Приведем пример особенностей анимационных способов отображения информации: восприятие плавно переходящих друг в друга цветов из многоступенчатых цветовых шкал принципиально отличается при различной скорости показа фильма. Не до конца изучена способность человека одновременно воспринимать несколько одинаковых, но по-разному анимированных знаков. Нуждается в дальнейшем исследовании феномен временно́й генерализации. И так далее. Список малоисследованных и вовсе неизученных аспектов восприятия меняющихся изображений огромен.

В настоящее время разрабатываются новые методы и приемы анимационного картографирования для каждого из существующих типов анимации. Особенно важны опыты по комплексированию динамических графических переменных и их совместному применению с классическими картографическими способами изображения.

Создаются принципиально новые типы анимации (в последние годы разработаны и созданы такие картографические изображения, как анимированные анаморфозы, анимированные пирамидальные блок-диаграммы и др.).

Технический прогресс вносит изменения в требования к конечной продукции — к самой анимации. Как было показано выше, размер матрицы экрана чрезвычайно важен для анимации и зачастую оказывает решающее значение при выборе масштаба анимации и изобразительных средств. Сейчас это значение колеблется между 1280 × 1024 и 1600 × 1200 пикселов.

Дальнейшее развитие ПО для генерации двухмерных анимаций может идти по двум направлениям:

- развитие сложного и богатого по возможностям ПО для создания анимаций профессионалами и выдачи их пользователю в готовом виде;
- развитие ПО для создания анимации самим пользователем — более бедное по возможностям, но простое в освоении.

Оба направления имеют свою нишу на рынке анимации и будут какое-то время сосуществовать.

Развитие программного обеспечения для создания трехмерных анимаций идет исключительно по пути его усложнения. Предполагается, что потребитель анимации в принципе не обязан знать, как она делается, и может не уметь самостоятельно создавать такие продукты. Все современные продукты, обладающие полным спектром возможностей для создания высококачественной и детальной анимации (как в режиме реального времени, так и в режиме предварительного просчета) являются чрезвычайно сложными системами, требующими зачастую многолетнего опыта работы и полного владения всеми тонкостями картографии и компьютерной графики.

Развитие этих систем идет по пути увеличения объемов обрабатываемой информации (что ведет к повышению детальности моделей, росту их пространственного охвата), ускорению и оптимизации проведения математических расчетов.

Появляются все новые возможности по анимации объектов, входящих в состав математической модели местности (например, возможность задать не только разные траектории для объектов, но и различную кинематику движения — инертный полет тяжелого самолета, верткие движения ракет системы ПВО, неравномерные движения солдат во время бега). Предусматривается возможность

иерархического соподчинения объектов (движения родительского объекта (старшего по иерархии) всегда копируются движением дочернего объекта (младшего), но не наоборот).

Примером иерархического соподчинения движения объектов является движение в виртуальной модели корабля (родительский объект) и людей по палубе корабля (дочерние объекты). Программы оснащаются все более сложными инструментариями для интерполяции между состояниями объекта (морфинг) и фаз процессов. Так, преобразование одной поверхности в другую (анимированный рельеф) может идти как линейно, так и по любой другой математической функции, а также вообще не по функции, а по кривой развития процесса, заданной интерактивно. Например, при задании движения объекта из пункта А в пункт Б (заданы лишь конечное и начальное положения) объект плавно ускоряется, набирает максимальную скорость, некоторое время движется с данной скоростью, после чего плавно тормозит в пункте Б.

Расчет траектории движения и скорости происходит автоматически.

При создании виртуальных моделей местности и связанных с ними трехмерных анимаций все большее внимание уделяется использованию данных дистанционного зондирования Земли. В программы добавляются средства для чтения и обработки сырых и частично обработанных данных съемок, выполненных с применением различных аппаратов (LANDSAT, ICONOS, ASTER), что позволяет разработчику самостоятельно осуществлять обработку снимков, не обращаясь в специализированные центры.

Увеличивается ассортимент мультимедийных форматов, допустимых к использованию в анимированных виртуальных моделях: звуковые эффекты, тексты, аннотации, растровые фотоматериалы, CAD-материалы (см. 3.4).

Несомненно, в дальнейшем анимации, создаваемые при визуализации виртуальных моделей, по своей реалистичности будут все более приближаться к видеосъемке реальной местности, а технологии анимации отдельных объектов позволят не только моделировать существующие системы объектов, но и прогнозировать различные сценарии их развития. Также очевидно и то, что анимации останутся одной из наиболее требовательных к аппаратным ресурсам отраслей геоинформатики.

Развитие двухмерных анимаций и использование динамических графических переменных придет к логической завершенности; в результате исследований различных способов изображения будут сформулированы основные правила применения динамических и статических способов изображения, что позволит создавать лаконичные по форме и богатые по содержанию информационные продукты.

Контрольные вопросы

1. Когда были созданы первые компьютерные картографические анимации?
2. Какие динамические графические переменные вы можете перечислить помимо основных графических переменных?
3. Можно ли говорить о масштабе трехмерных анимаций?
4. Для чего может быть применена анимация анаморфоз?
5. Назовите основные программы для создания и визуализации трехмерных моделей местности.
6. Назовите основные достоинства и недостатки наиболее распространенных способов сжатия графической информации.
7. Какие новые элементы могут быть использованы в легендах анимационных карт?
8. Кто в настоящее время является основным потребителем анимационных карт?

Глава 3

ГИС КАК ОСНОВА ИНТЕГРАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ И ТЕХНОЛОГИЙ

3.1. ГИС и дистанционное зондирование

Данные дистанционного зондирования (ДДЗ) — важнейший источник оперативной и современной информации о природной среде для тематических слоев в ГИС, для поддержания данных в актуальном состоянии и других целей. ГИС-технологии способствуют их эффективному совместному использованию.

При изучении земной поверхности дистанционными методами носителем информации об объектах[1] является их излучение, как собственное, так и отраженное (см. 2.1.1). Фиксируемые характеристики излучения зависят от пространственного положения, свойств и состояния объекта, что и способствует его дистанционной идентификации.

Бóльшую часть данных дистанционного зондирования составляют *снимки*, которые дают возможность получения сведений об объекте в виде изображения в цифровой (данные, передаваемые на наземную станцию, как правило, по радиоканалам или фиксируемые на борту на магнитных носителях) или аналоговой (фотографии) формах. Цифровые данные представляют интегральное излучение площадки на земной поверхности, соответствующей элементу изображения — *пикселу*. Если измерения ведутся в нескольких различных частях электромагнитного спектра — спектральных зонах, то такие снимки называются многозональными (рис. 32).

Отраженное излучение характеризует *отражательную способность объекта*, представляемую значениями спектральной плотности энергетической яркости, которую измеряют с помощью дистанционного датчика. Получаемые в результате величины переводятся в дискретные безразмерные цифровые значения, соответствующие характеристикам отражательной способности. В отечественной литературе они называются *коэффициентами спектраль-*

[1] Объектом может быть как участок земной поверхности, так и отдельные пространственные объекты, явления, процессы, являющиеся предметом исследования при ДЗ.

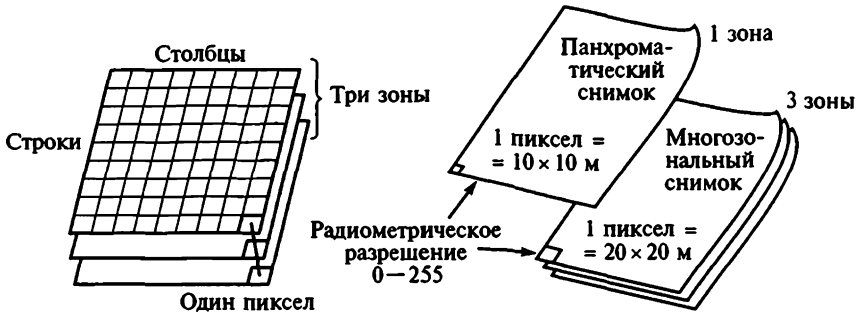


Рис. 32. Пиксел и зоны растрового изображения

ной яркости или короче — **спектральной яркостью**. Записанные посредством регистрирующего устройства цифровые значения изменяются в пределах **радиометрического** битового диапазона, ширина которого зависит от характеристик датчика — обычно это интервал 0—255. На изображении эти значения соответствуют оттенкам серой шкалы: 0 представляет абсолютно черный объект, 255 — абсолютно белый, а промежуточные значения соответствуют различным оттенкам серого цвета. Таким образом, детектор любого спутникового датчика регистрирует определенную часть электромагнитного спектра, а получаемые им спектральные яркости занимают часть битового диапазона.

Изучение характеристик отражательной способности дает теоретическую основу для интерпретации объектов по набору их спектральных яркостей или их отношениям. В этой области классическими являются исследования Е.Л. Кринова [Е.Л. Кринов, 1947], разработавшего спектрометрическую классификацию природных образований в видимой области спектра, которые затем были продолжены и в инфракрасную (ИК) область. Все многообразие объектов ландшафта он разделил на четыре класса, каждый из которых отличается своеобразной кривой спектральной яркости (рис. 33) [Ю.Ф. Книжников, 1997]:

I класс — горные породы и почвы — характеризуется увеличением спектральных яркостей по мере приближения к красной зоне спектра;

II класс — растительный покров — отличается характерным максимумом отражательной способности в зеленой, минимумом — в красной и резким увеличением отражения в ближней инфракрасной зонах. В зеленой и красной зонах такое поведение связано соответственно с отражением и поглощением лучей хлорофиллом, а большие значения в ИК-зоне объясняются пропусканием инфракрасных лучей хлорофиллом и отражением их внутренними тканями листьев, т.е. зависит от структуры лиственного покрова.

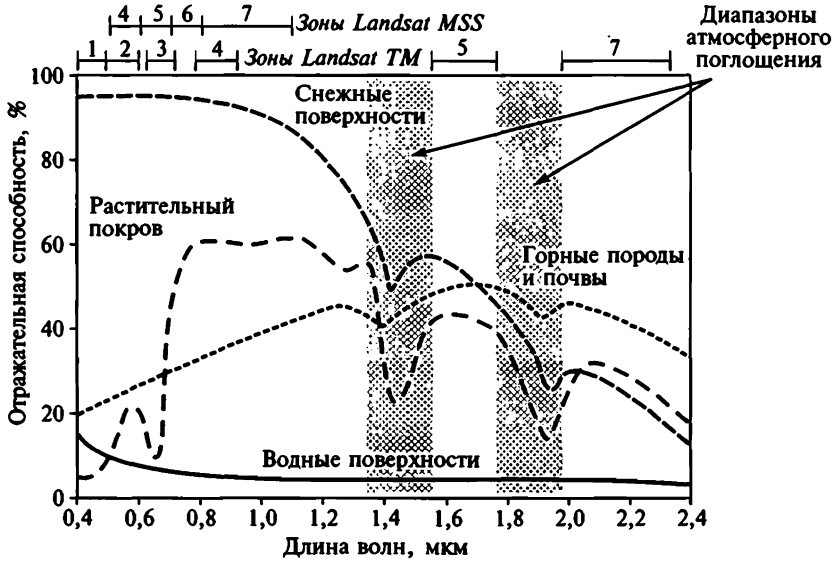


Рис. 33. Спектральная отражательная способность основных классов природных объектов (серым цветом показаны зоны атмосферного поглощения)

III класс — водные поверхности — характеризуются монотонным уменьшением отражательной способности от сине-фиолетовой к красной зоне спектра, поскольку с увеличением длины волны сильнее поглощаются водой;

IV класс — снежные поверхности и близкие к ним облака — обладают наиболее высокими значениями спектральной яркости с небольшим их понижением в ближней ИК-зоне. Понижение резко увеличивается при насыщении снега водой.

Спектральная отражательная способность различается и у объектов одного класса, что связано с различными факторами: экологическое состояние объекта, увлажненность, гранулометрический состав и т. п. Многозональные снимки отражают специфику различных объектов, проявляющуюся в отражении в каждой из узких зон. Системы получения данных ДЗ проектируют так, чтобы фиксировать эту специфику, но в разных системах выбирают разные наборы зон и разные значения в их пределах с учетом назначения съемок. В видимой области спектра специфика проявляется и в цветовых различиях.

На цифровых радиолокационных снимках, получаемых в диапазоне 1 мм — 1 м, фиксируется структура («шероховатость») поверхности, а цифровые значения соответствуют разности высот поверхности, включая рельеф и микрорельеф, высоты объектов (деревьев, травы и т. п.). По таким снимкам изучают поверхностные загрязнения и поведение вод океанов, озер и других водных

бассейнов, а также структуру их дна, поскольку поверхностные вихри, зыбь и волны во многом зависят от его характера.

Исследования показывают, что комбинирование данных радиолокации и полученных в видимой и ИК-областях спектра обеспечивают более полную картину земной поверхности, что существенно расширяет сферу их применения.

Изображения, полученные сканированием. Фотографические снимки необходимо для обработки переводить в цифровую форму. Для этого, так же как и при цифровании карт, используют сканеры. Цифровые копии зональных снимков, представленных в виде негативов на фотопленке или отпечатков на бумаге получают сканированием каждого кадра. К кодированию фотографической плотности зональных снимков нужно подходить очень осторожно, с тем чтобы не нарушить зонального соотношения ее значений (многие сканеры автоматически растягивают значения до интервала 0—255). Вторая проблема — геометрическое (попиксельное) совмещение отсканированных изображений. Три совмещенных сканированных зональных снимка можно программно скомбинировать для получения цветного изображения.

К характеристикам, определяющим дешифровочные возможности снимков, относятся показатели разрешения данных съемки. В дистанционном зондировании разрешение — это мера способности оптической системы различать сигналы, которые пространственно близки или спектрально подобны. Выделяют четыре различных типа *разрешения*:

- *спектральное* — определяемое характерными интервалами длин волн электромагнитного спектра, к которым чувствителен датчик;
- *пространственное* — определяемое линейным размером области (площадки) на земной поверхности, представляемой каждым пикселом;
- *радиометрическое* (*яркостное*) — число возможных кодированных значений (уровней квантования) спектральной яркости в файле данных для каждой зоны спектра, указываемое числом бит;
- *временно́е* — определяемое частотой получения снимков конкретной области.

Каждый из этих четырех типов содержит специфическую информацию, которую можно выделить из необработанных данных.

Спектральное разрешение соответствует числу и размеру зон съемки и зависит от параметров съемочной системы. Зона может быть широкой, как одна зона черно-белого панхроматического снимка (0,4—0,7 мкм), или достаточно узкой, как, например, красная зона снимка Ландсат ТМ (0,63—0,69 мкм).

Чем шире зона электромагнитного спектра, тем ниже спектральное разрешение. Четкое выделение спектральных зон повышает вероятность того, что интересующий объект будет идентифицирован.

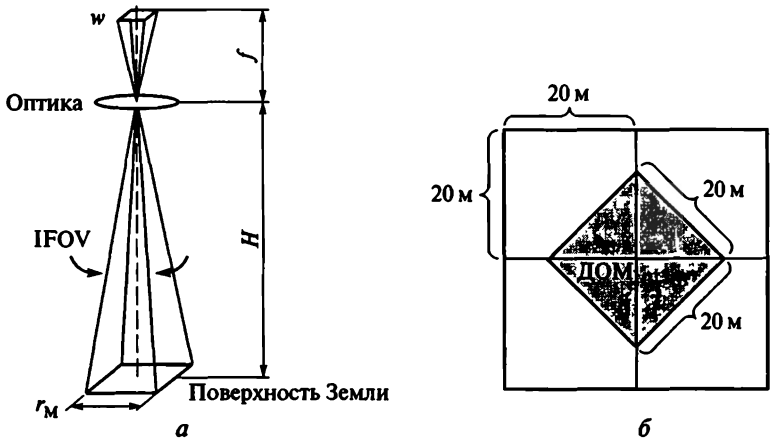


Рис. 34. Характеристики пространственного разрешения:

а — геометрически показана связь разрешения на местности и параметров съемочной системы (*f* — фокусное расстояние; *w* — линейный размер детектора; IFOV — мгновенный угол зрения; *H* — высота полета; $r_м$ — разрешение на местности); *б* — связь размера и яркости объекта местности с размером пиксела

Пространственное разрешение — это минимальная угловая или линейная величина изобразившегося объекта местности и зафиксированная пикселом (рис. 34). Чем выше разрешение, тем меньше его числовое значение. Пространственное разрешение аэроснимков определяют числом различающихся пар линий, отнесенных к 1 мм. Различают снимки низкого, среднего и высокого разрешения, измеряющегося соответственно километрами, сотнями или десятками метров. Знание этих параметров особенно важно при совместном использовании снимков и векторных карт в ГИС, поскольку большинство операций с растровыми данными осуществляется с точностью до пиксела.

Радиометрическое разрешение определяется чувствительностью детекторов к различиям в значениях спектральной плотности энергетической яркости отраженного от поверхности сигнала и фиксируется набором четко дифференцированных уровней квантования битового динамического диапазона. Количество уровней — число бит — определяет число возможных значений в цифровой записи каждой зоны снимка (в файле данных). Оно связано с технологическими параметрами датчиков и характеризует максимальный диапазон изменения «сырых» (необработанных) значений спектральной яркости. Например, при 8-битовом радиометрическом разрешении значения спектральной яркости могут изменяться от 0 до 255, а при 7-битовом — от 0 до 127.

Временно́е разрешение определяет, как часто датчик получает изображение конкретной области. Например, спутник Ландсат может обозревать одну и ту же область Земли один раз каждые 16

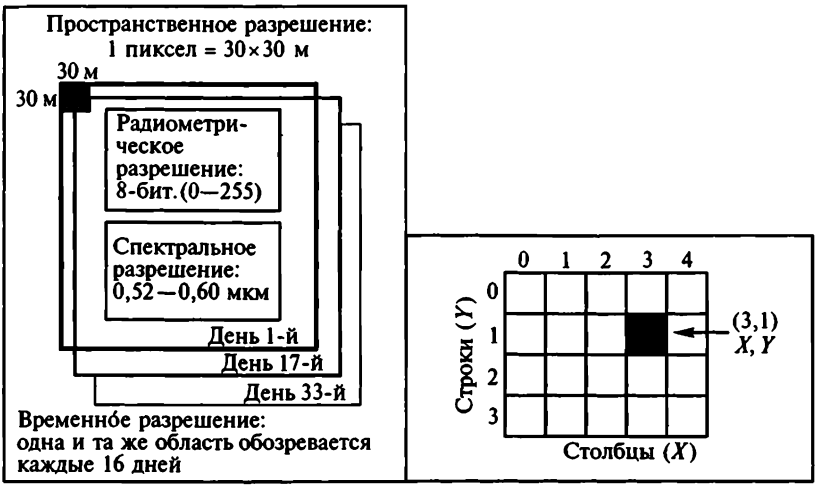


Рис. 35. Структура данных съемки:

а — четыре типа разрешения данных представлены на примере снимка Ландсат TM в зоне *2*; *б* — растровые координаты

дней, а SPOT — один раз каждый день. Временно́е разрешение является важным фактором при изучении и обнаружении изменений на территории. Рис. 35, *а* иллюстрирует все четыре типа разрешения данных дистанционного зондирования (ДЗ).

Числовые типы данных. Стандартный числовой тип записей цифровых снимков — бинарный байтовый, что соответствует правилам кодирования спектральной яркости. Как известно, в компьютерных программах используют также целые, действительные типы чисел и буквенно-цифровые символы (ASCII-коды). Поскольку в большинстве случаев для обработки аэрокосмических снимков используют растровые ГИС-пакеты, зональные изображения рассматривают в них как слои информации наряду с другими слоями БД. Эти слои могут использовать типы данных, отличающиеся от байтовых. Поэтому необходимо знать числовые типы применяемых данных, чтобы правильно отображать и обрабатывать информацию. Например, растровый слой, представляющий высоты поверхности со значениями от –51,257 до 553,401, будет обрабатываться иначе, чем слой, содержащий информацию о размещении двух объектов — суши и воды, и использующий только два значения (0 и 1) для их идентификации.

Интегрирование в одной системе двух типов данных — растровых и векторных — основное преимущество ГИС-пакетов, включающих процедуры обработки изображений. Совместное использование растровых и векторных слоев способствует:

• более достоверному определению признаков объектов, изобразившихся на снимке;

• добавлению к спектральным признакам других атрибутов объектов;

• обеспечению атрибутивной информацией, полученной по снимкам объектов векторной карты.

Векторное цифрование объектов по снимку (цифрование по растровой подложке) применяют для:

• выделения дорог, водоемов, изолиний, границ административных районов;

• выбора эталонов для классификации объектов;

• выделения границ представляющих интерес областей для использования в разных задачах.

Данные координатной привязки обычно хранятся в заголовке файла изображения, который может быть началом записи файла, или представляться отдельным файлом. Как известно, в растровых ГИС-пакетах используются две основные системы координат:

1) растровые (или файловые) координаты, показывающие местоположение пиксела в пределах изображения или файла данных;

2) прямоугольные или географические координаты, показывающие место пиксела на карте.

Растровые координаты определяют место пикселов в упорядоченной сетке строк и столбцов. Они выражаются либо в номерах строк и столбцов, либо в плоских координатах (X, Y), где координата X соответствует столбцу сетки, Y — строке. Как правило, координаты (0, 0) в первом случае имеет пиксел в левом верхнем углу изображения, во втором — это пиксел в левом нижнем углу, а значения координат других пикселов определяют с учетом размера пиксела (пространственного разрешения) (рис. 35, *б*).

Географические или прямоугольные координаты задают положение пикселов либо в значениях географических координат (φ, λ), либо в плоской системе координат карты заданной проекции. Тип используемых координат определяется способом формирования файла (дистанционное зондирование, сканирование существующей карты и т. п.). Часто космические снимки в пунктах приема и обработки снабжаются информацией о географических координатах углов кадров. Систему координат файла изображения можно преобразовать в систему координат выбранной карты (трансформировать) программными средствами ГИС-пакета, т. е. получить **геокодированные данные**.

Форматы хранения данных. Для того чтобы правильно воспроизвести изображения по цифровым записям, поставляемым пунктами приема информации, необходимо знать формат записи (структуру данных), а также число его строк и столбцов. Используют четыре формата, которые упорядочивают данные изображений как:

• последовательность зон (Band Sequential, BSQ);

• зоны, чередующиеся по строкам (Band Interleaved by Line, BIL);
• зоны, чередующиеся по пикселам (Band Interleaved by Pixel, BIP);
• последовательность зон со сжатием информации в файле методом группового кодирования (например, в формате .jpg).

Системы обработки данных дистанционного зондирования включают те же основные подсистемы, что и ГИС: ввод, хранение, обработку и представление результатов. Это способствовало их программно-технологической интеграции с ГИС, в силу чего для работы с аэрокосмической информацией в качестве программного обеспечения используют современные ГИС-пакеты. Разные типы ГИС-пакетов предоставляют пользователям различные возможности по обработке снимков, обеспечиваемые заложенными в них программными средствами анализа и интерфейса. К ГИС-пакетам со стандартными возможностями относятся Idrisi, MultySpec, среди полнофункциональных ГИС-пакетов выделяются Erdas Imagine, TNTmips, ERMapper, ILWIS, GRASS. С точки зрения возможностей цифровой обработки снимков эти пакеты отличаются в основном набором средств пользовательского интерфейса и их удобством.

Методы цифровой обработки снимков, подробно описанные во многих учебниках [У. Прэтт, 1982; Дистанционное зондирование..., 1983; И. К. Лурье, А. Г. Косиков, 2003; J. R. Jensen, 1996 и др.], подразделяют на две группы:

1) методы, обеспечивающие яркостные и геометрические преобразования снимков, используются для облегчения и повышения объективности и достоверности визуального дешифрирования, для преобразования снимков с целью устранения яркостных или геометрических искажений, трансформирования их в заданную систему координат и подготовки к последующему дешифрированию и созданию карты;

2) методы автоматизированной классификации объектов по снимкам с использованием априорной информации о признаках выделяемых классов или без нее.

Яркостные преобразования предусматривают: квантование диапазона спектральных яркостей снимка (аналог шкалирования); цветной синтез и цветокодирование, выделение контуров заданной контрастности, фильтрацию значений яркости (сглаживание) и другие приемы. Такие процедуры есть во многих растровых ГИС-пакетах (Erdas, Idrisi и др.)

Методы улучшающих преобразований обычно применяют в качестве первого шага в использовании снимков: для идентификации изобразившихся областей и объектов, определения их местоположения и для извлечения информации об их изобразительных свойствах и признаках.

Методы **спектрального** улучшения изображений реализуют с учетом только индивидуальных значений яркости пикселов в пределах каждой зоны спектра. В их основе лежит анализ и преобразо-

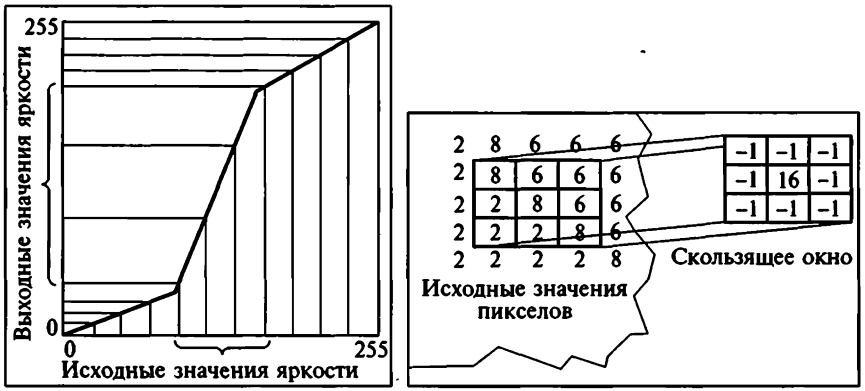


Рис. 36. Улучшающие преобразования:

а — повышение контраста и фильтрация; *б* — кусочно-линейное повышение контраста; *в* — выполнение операции фильтрации, скользящее окно представляет среднеарифметический фильтр

вание гистограмм — графического представления распределения спектральных яркостей снимка в радиометрическом диапазоне. При этом новой информации не образуется, а исходная информация перераспределяется, с тем чтобы подчеркнуть спектральные свойства объектов. Среди наиболее часто используемых методов следует выделить следующие:

- повышение контраста — линейное, нелинейное и кусочно-линейное преобразование гистограммы;
- эквализация гистограммы — перераспределение значений всех пикселов в пределах радиометрического диапазона;
- подгонка гистограмм — согласование значений пикселов изображений в двух зонах по их гистограммам;
- инверсия изображения — получение изображений с обратным контрастом относительно исходного.

Повышение контраста иллюстрирует рис. 36, *а*. График преобразования показывает на вертикальной оси увеличение контраста значений яркости пикселов исходного изображения в пределах диапазона, отмеченного фигурной скобкой на горизонтальной оси гистограммы: достаточно узкий диапазон исходных данных растянут в более широкий диапазон для выходных данных. Такой процесс во многих ГИС-пакетах называют растяжением контраста (от англ. stretch). Изображение становится четко видимым на экране, а для расширения исходного диапазона используют соотношение:

$$B_n = (B - B_{\min}) \times 255/(B_{\max} - B_{\min}), \qquad (3.1)$$

где B — яркость исходного снимка (или DN); B_n — значение, полученное после пересчета; $B_{\min}$ и $B_{\max}$ — минимальное и максималь-

ное значения яркости в зоне (для идентификации такого преобразования используют аббревиатуру MIN-MAX).

Базовой операцией **пространственных преобразований** — фильтрации — является анализ информации в пределах скользящего по изображению окна, размером 3 × 3, 5 × 5 пикселов и т. п. Операцию применяют к пикселу, находящемуся в центре окна. Его значение пересчитывается с использованием заданной функции от значений окружающих ближайших соседей (рис. 36, *б*). Затем окно сдвигается на один пиксел вдоль строки изображения до достижения ее конца, после чего смещают окно на одну строку.

Координатная привязка и трансформирование изображений. Процедуры геометрической коррекции снимков выполняют для того, чтобы изображение земной поверхности было правильно представлено на плоскости и имело свойства карты. Необработанные снимки, получаемые со спутников и самолетов, являются плоскими изображениями, создаваемыми системами съемки, но даже для кажущейся ровной поверхности искажены за счет кривизны поверхности Земли и применяемого датчика.

Решение многих задач требует предварительного выполнения *трансформирования*. Среди них можно выделить следующие:

- выявление изменений на разных снимках одной территории, когда требуется попиксельное сопоставление изображений;
- создание мозаик изображений и фотокарт;
- использование снимков в ГИС, в том числе совместно с векторными изображениями;
- получение точных величин расстояний и площадей;
- выполнение географического анализа, требующего точной локализации данных.

Для выбора оптимальной картографической проекции и координатной сетки следует определить преимущественные направления использования всех снимков или базы пространственных данных. Во многих базах векторных пространственных данных используют географическую (сфероидальную) систему координат (φ, λ), причем параметры сфероидов могут быть разными. Плоские изображения на снимках обычно не трансформируют в эту координатную систему, хотя это можно сделать.

Для коррекции смещений изображений объектов местности за счет рельефа при наличии ЦМР применяют операцию *ортотрансформирования*, которую рекомендуется выполнять для снимков гористой местности или фотоснимков строений, если требуется высокая степень точности координирования.

Различают два основных случая применения *трансформирования* системы координат снимка:

1) сетка строк и столбцов пиксельного изображения должна быть изменена в соответствии с выбранной в исследовании проекцией и системой координат, например, базовой карты;

2) сетка исходного изображения должна быть изменена в соответствии с сеткой эталонного изображения.

Чаще всего трансформирование используют для преобразования несопоставимых изображений в одну и ту же картографическую сетку координат. Однако для того, чтобы иметь возможность совместного использования или сопоставления отдельных изображений, можно привести в соответствие только их сетки строк и столбцов. При этом необязательно применять картографическую проекцию.

При отсутствии искажений изображения трансформирование выполнять не обязательно. Например, при сканировании снимка или карты в нужной проекции изображение уже плоское и не требует трансформирования, если нет некоторых смещений или поворотов и материалы имеют хорошее качество. В этом случае необходимо выполнить только **геокодирование** (геоэталонирование) снимка. Для этого часто достаточно откорректировать заголовок файла изображения путем указания прямоугольных координат верхнего левого угла изображения и размера пиксела (соответственно, области, представляемой пикселом). Сетка изображения при этом не изменяется.

В общем случае, при неопределенных свойствах изображений их трансформирование из одной системы координат в другую выполняют с помощью полиномов n-й степени. Они позволяют рассчитать координаты новой сетки строк и столбцов для пикселов исходного изображения по координатам заданных контрольных точек. Но чтобы сохранить зафиксированную снимком яркостную структуру изображения, значения яркости трансформированных пикселов должны быть переопределены (подвергнуты ресамплингу — от названия программы Resampl) в соответствии с новой сеткой.

В некоторых ГИС-пакетах, чтобы подчеркнуть различия указанных выше двух случаев применения трансформирования, для них вводят разные наименования — **ректификация** и **регистрация** соответственно. Однако оба типа используют аналогичные наборы процедур, независимо от конкретного приложения:

1) выбор способа трансформирования;

2) локализацию контрольных точек (наземных или с эталонного снимка);

3) расчет ошибок и оценку результатов трансформирования;

4) переопределение значений пикселов и создание выходного файла изображения с новой информацией о координатах в заголовке файла.

Основные правила отбора контрольных точек заключаются в следующем:

• их число должно быть достаточным для выбранного способа трансформирования и удовлетворять соотношению $N \geq (n + 1)(n + 2)/2$ (n — степень полинома);

• точки должны располагаться равномерно по всему полю изображения, чем равномернее распределение точек, тем надежнее результаты трансформирования;

• не следует использовать изменчивые объекты местности, такие как берега озер или других водоемов, границы растительности и т. п.

В большинстве случаев при трансформировании не требуется ни полного совпадения всех исходных и ретрансформированных контрольных точек, ни высокой степени полиномов. Оправданный и широко распространенный способ — установление параметра допуска среднеквадратической ошибки, определяемой по формуле

$$D_k = \sqrt{(u'_k - u_k)^2 + (v'_k - v_k)^2} \qquad (3.2)$$

для каждой эталонной точки с координатами (u, v) (рис. 37).

Следующая процедура — создание выходного файла изображения при сохранении яркостной структуры исходного изображения. При этом необходимо переопределить значения яркости пикселов в соответствии с их новым положением, так как сетка пикселов в исходном изображении может иметь другое разрешение и направление осей (рис. 38). Согласно растровой технологии трансформированное изображение заполняется пиксел за пикселом построчно. Процедура переопределения значений пикселов состоит в извлечении значения яркости пиксела исходного изображения с координатами (u, v) и присвоении его пикселу, находящемуся в подходящей точке с координатами (x, y) в новой сетке. Так, например, на рис. 38 пиксел трансформированного изображения с координатами (5,4) в эталонной сетке соответствует координатам (2,4; 2,7) в сетке исходного изображения, в которых значение яркости неопределенно. Его определяют путем интерполяции, используя один из методов: метод ближайшего соседа, билинейной или кубической интерполяции.

Другого вида проблема, связанная с трансформированием изображений, возникает при изучении больших участков местности, представленных несколькими снимками, возможно полученными разными системами или в разное время. Процедура комбинирования снимков для создания одного файла изображения называется созданием **мозаики**. Выполнение этой процедуры связано с решением нескольких задач: совмещение снимков по координатам, выравнивание их яркостного контраста, задание границы (линии сшивки) между соединяемыми изображениями в области их перекрытия, определение значений яркости пикселов в области перекрытия, создание результирующего изображения.

Дешифрирование изображений — основная задача при использовании снимков для исследований геосистем. Оно включает распознавание объектов (выявление объектов на снимке) и отнесе-

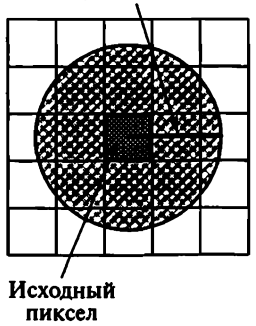


Рис. 37. Область допустимых значений среднеквадратической ошибки

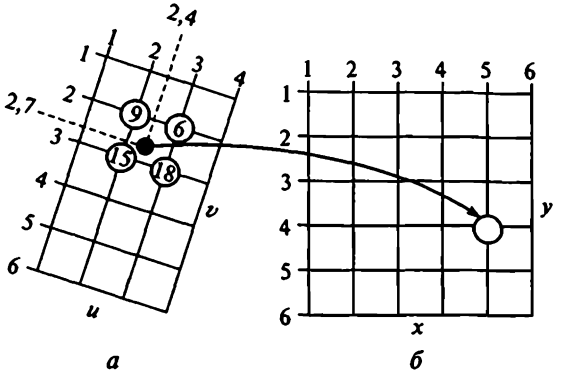


Рис. 38. Присвоение пикселам трансформированного изображения *б* в сетке (x, y) значений яркости исходного изображения *а* из сетки (u, v): черной точкой показано ретрансформированное положение пиксела, отмеченного кружком в эталонной сетке (по [J. R. Jensen, 1996])

ние их к некоторому типу; измерение — определение размеров, расстояний между объектами, количества объектов на единицу площади и т. п.

Географическое дешифрирование основывается обычно на систематическом обследовании объектов, на изображении в сочетании с разнообразными дополнительными данными.

Дешифровочными признаками пространственных объектов служат тон, цвет, размер, форма, текстура, рисунок, тень, местоположение, связь с другими элементами. При автоматизированном дешифрировании учитывают обычно лишь несколько признаков: тон, цвет, размер, подразделяя их при этом на яркостные, геометрические и комплексные.

Яркостные признаки являются основными и в большинстве случаев единственными. При обработке многозональных снимков они наиболее удобны, так как каждая точка просматриваемого изображения получает многомерную числовую характеристику — набор спектральных признаков. Известно, что разные природные объекты обладают специфическими спектральными характеристиками, связанными с их отражательной способностью. Однако эти признаки не вполне надежны. Яркость искажается при фотообработке, зависит от освещенности объекта, т. е. высоты Солнца, времени суток и года, состояния атмосферы, угла поля зрения съемочной системы, рельефа местности и т. п. Это ведет к неоднозначному соответствию объекта и его яркостных признаков, что в конечном счете снижает достоверность дешифрирования. Кроме того, спектральные признаки разных объектов могут частично совпадать и перекрываться.

Геометрические признаки — это форма (линейная, плоская, объемная), размер, топологические свойства объектов (например, связность, число промежутков). Геометрические признаки используют значительно реже яркостных, так как их довольно трудно формализовать.

Комплексные признаки — это специфическое сочетание яркостных и геометрических признаков, определяющее структуру (текстуру) изображенных на снимке объектов. Они наиболее эффективны и устойчивы, хотя и трудно формализуемы. Косвенно их используют в алгоритмах классификации с обучением, осуществляемой по эталонам (тестовым участкам).

К дополнительным источникам данных относятся карты, фенологические справочники, информация о деятельности человека на исследуемой территории. Такая информация может содержаться в различных слоях БД ГИС. Специалисты используют все эти элементы, а также свои навыки и знания в смежных областях.

Преобразования исходных признаков.

Синтезирование цветного изображения. Для выполнения этой процедуры выбирают три зональных изображения, каждое из которых рассматривают как красную, зеленую и синюю составляющую палитры RGB. В общем виде эту процедуру (во многих ГИС-пакетах она носит название COMPOSIT) можно выразить соотношением

$$C = a_1R + a_2G + a_3B, \qquad (3.3)$$

где C — синтезированное значение; R, G, B — зональные компоненты; a_1, a_2 и a_3 — некоторые коэффициенты.

Коэффициенты иногда определяют экспериментально, с тем чтобы учесть параметры съемки и характерные особенности объектов дешифрирования. Но чаще пользуются стандартными процедурами, предоставляемыми программными пакетами. В тех из них, которые работают с 8-битовыми изображениями (например, IDRISI), каждое из изображений-компонент квантуется на 6 градаций, при этом диапазон изменения яркости на них сокращается до 32 значений, с тем чтобы в синтезированном изображении значение пиксела не превысило 255 (в одном байте каждой компоненте отводят 6 бит и в результате получают $6 \times 6 \times 6 = 216$ значений цвета). В пакетах, работающих с 24-битовыми изображениями, для каждой компоненты отводится байт.

Для отображения многозональных снимков используют различные комбинации зон, позволяющие создавать цветные изображения, подчеркивающие те или иные особенности объектов. Поскольку такие изображения предназначены в основном для визуализации на экране дисплея (в палитре RGB), комбинации строят с использованием трех зон, порядок которых соответствует красной, зеленой и синей цветовым пушкам монитора.

Обычно используют следующие три стандартные комбинации зон.

1. Красная, зеленая и синяя зоны создают композицию истинного цвета. Истинный цвет означает, что объекты выглядят так, как они должны были бы восприниматься невооруженным глазом (рис. 20 цв. вкл.).

2. Ближняя ИК, красная и зеленая зоны создают композицию ложного цвета. Композиции ложного цвета выглядят аналогично фотоснимку в ИК области спектра, в которой, например, растительность представляется красной, вода — темно-синей или черной и т.д. (рис. 21 цв. вкл.).

3. Средняя ИК, ближняя ИК и зеленая зоны создают композицию псевдоцвета. В ней цвет объектов не соответствует естественному: например, дороги могут быть красными, вода — желтой, растительность — синей, т.е. изображаться в произвольной палитре. Такая композиция часто позволяет подчеркнуть цветом различия объектов, что удобно для визуального дешифрирования снимка.

Простое зональное отношение $B_{ик}/B_к$ ($B_к$ и $B_{ик}$ — яркости в красной и ближней инфракрасной зонах) наиболее чувствительно к присутствию растительности, учитывает различия в яркости между растительными и нерастительными объектами, представляет индикатор сомкнутости растительного покрова, но является функцией времени.

Вегетационный индекс. Для его вычисления строят разные эмпирические соотношения этих зон, но чаще используют нормализованный вегетационный индекс

$$NDVI = (B_{ик} - B_к)/(B_{ик} + B_к). \qquad (3.4)$$

Он подчеркивает контраст обнаженных пород и почв с зеленой растительностью, позволяет разделить разные типы растительности. Так, для водных объектов он принимает отрицательные значения; для почв, грунтов, сухой растительности близок к нулю; максимальные значения характерны для вегетирующей растительности и разные — для различных состояний растительного покрова. Значения индекса возрастают с развитием зеленой биомассы и уменьшаются с ее усыханием. В то же время одни и те же значения вегетационного индекса могут соответствовать экологически различным категориям естественной и культурной растительности.

Метод главных компонент. Для определения статистически независимых производных признаков классификации, связанных с повышением спектрального контраста изображения, служит преобразование исходных спектральных признаков методом компонентного анализа (см. 2.2.2).

В применении к снимкам процедуру легко пояснить графически на примере двух спектральных зон, демонстрирующих соотно-

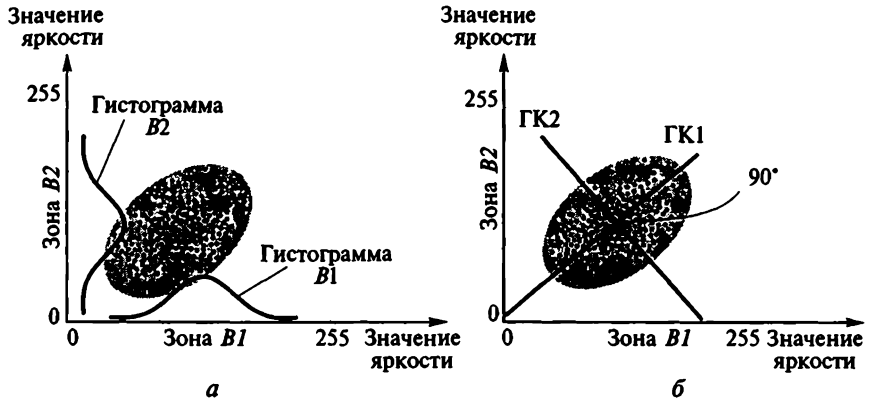


Рис. 39. Преобразование спектрального пространства методом главных компонент:

а — эллипс рассеяния для двух зон *B1* и *B2*; *б* — положение осей, соответствующее двум главным компонентам ГК1 и ГК2

шение их значений яркости (рис. 39). Если распределение значений яркости в каждой зоне нормальное или близкое к нормальному, то при отображении на плоскости двух зон это распределение имеет вид облака, называемого эллипсом рассеяния.

При выполнении преобразования методом главных компонент оси спектрального пространства поворачивают так, чтобы новые оси стали параллельны осям эллипса рассеяния. Поэтому первая главная компонента (ГК1 — principal component, PC1) соответствует наибольшей оси эллипса — направлению наибольшего разброса значений яркости. Направление ГК1 задаётся собственным вектором преобразования, а его длина — первым собственным значением (собственные значения преобразования ранжируются по убыванию). Вторая главная компонента ГК2 соответствует наибольшему поперечному сечению эллипса, ортогональному к первой главной компоненте (в двухмерном случае — малой оси эллипса рассеяния). Она отражает значения вариаций данных, которые еще не охвачены первой главной компонентой.

Так как в спектральном пространстве координаты точек являются значениями яркости пикселов в цифровой записи снимка, то в процессе преобразования определяются их новые значения, которые хранятся в создаваемых файлах главных компонент.

Такой метод позволяет получить, например, по четырем исходным зонам снимка четыре новых изображения, ранжированных по убыванию дисперсии яркости (спектрального контраста). При этом в первом изображении (первой главной компоненте) такой контраст максимально подчеркнут, во втором отображаются контуры, на которых происходит смена контраста, а изображе-

ния, соответствующие остальным компонентам, содержат, в основном, информацию о различных шумах и систематических погрешностях съемочной системы. Метод главных компонент позволяет уменьшить число анализируемых снимков до трех и подчеркнуть яркостной контраст, что увеличивает различия между объектами в системе новых признаков.

Часто изображения первых трех главных компонент применяют для получения синтезированного изображения. Известно, что такое изображение содержит больше информации, чем любая комбинация трех исходных спектральных зон.

В основе *автоматизированного дешифрирования снимков* лежит **классификация объектов** (см. 2.2.2). При этом исходят из того, что каждому пикселу многозонального снимка соответствует набор значений спектральных признаков, или вектор в спектральном пространстве, размерность которого равна числу съемочных зон. Тогда процесс классификации сводится к распределению всех элементов растра по классам в соответствии с отражательной способностью (значением спектральной яркости) каждого объекта в одной или нескольких зонах спектра, например, типов растительности или категорий использования земель.

Трудности классификации связаны, прежде всего, с изменчивостью. Часто классификация бывает неопределенной, поскольку элементы растра могут принадлежать сразу нескольким классам — это так называемые «смешанные элементы». Но в процессе классификации неопределенность игнорируется, и каждый элемент помещается в один из классов. Правило классификации обычно формируют на основе признаков типичных объектов, принадлежность которых к данному классу заранее установлена.

Алгоритмы подразделяют на два типа: алгоритмы контролируемой и неконтролируемой классификации. При контролируемой классификации правила перехода от показателей спектральной яркости к классам объектов вырабатывают на «учебном» (тестовом, эталонном) участке, а затем автоматически применяют и на остальной части снимка. Эти алгоритмы также называют **классификацией с обучением**.

I. **Контролируемую классификацию** реализуют с помощью алгоритмов, использующих разные методы учета спектральных характеристик эталонных объектов:

• ***дискриминантных функций***, которые в простейшем случае представляют собой линии, разделяющие объекты на классы, если они не пересекаются в пространстве признаков;

• ***минимальных расстояний***, когда классифицируемые объекты относят к тому или иному классу, вычисляя евклидово расстояние в пространстве признаков между проверяемыми и эталонными пикселами и относя каждый пиксел к тому классу, до эталона которого это расстояние минимально (рис. 40);

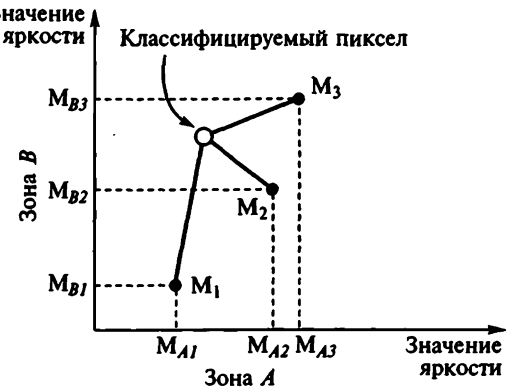


Рис. 40. Метод минимального расстояния

• ***параллелепипеда***, когда в признаковом пространстве выделяют замкнутые прямоугольные области, границы которых задают на основе выбора характерных диапазонов по гистограммам распределения яркостей эталонных объектов в двух, трех или более зонах спектра; каждый пиксел снимка относят к тому классу, в чей параллелепипед он попадает по своим значениям яркости;

• ***максимального правдоподобия***, основанного на статистических оценках характеристик классов объектов. Этот алгоритм применяется наиболее часто. При его реализации для каждого дешифрируемого класса объектов нужно определить две функции условной вероятности, связанные формулой Байеса: $P(X/A_i)$ — правдоподобие класса объектов A_i при данном векторе признаков X и $P(A_i/X)$ — вероятность отнесения пикселов с их вектором признаков X к классу A_i [И. К. Лурье, А. Г. Косиков, 2003]. Первая функция отражает различия в яркостях объектов разных классов, и ее параметры находят путем вычисления статистических характеристик распределения яркостей пикселов в пределах эталонных объектов на снимке — **построения обучающих выборок** (рис. 41). Процедура классификации относит каждый пиксел с измеренным X к тому объекту, для которого правдоподобие максимально, т. е., согласно байесову решающему правилу, нахождение объекта в заданной области признакового пространства статистически наиболее правдоподобно (отсюда и название «метод максимального правдоподобия»).

Априори предполагается, что распределение спектральных яркостей пикселов объекта на многозональном снимке подчинено нормальному закону. Тогда их распределение в пределах объекта образует многомерные «эллипсы рассеяния» равной вероятности, определяемые условием $P(X/A_i) = \text{const}$, средними значениями яркости и стандартного отклонения. В большинстве ГИС-пакетов, используемых для выполнения классификации, процедуру обуче-

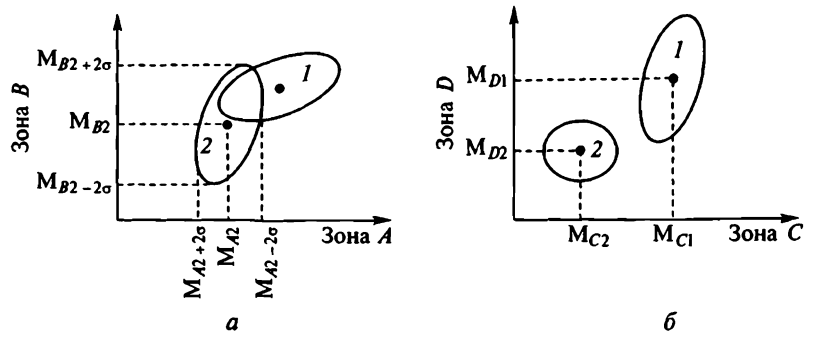


Рис. 41. Оценка выборок на основе построения эллипсов рассеяния:

а — перекрывающиеся выборки; *б* — разделимые выборки (*A*, *B*, *C* и *D* — зоны исходного снимка; σ — стандартное отклонение от средних значений 2-го класса — M_{A2} и M_{B2})

ния осуществляют в интерактивном режиме. Дешифровщик опознает на экране монитора эталонные объекты, относящиеся к выделяемым классам; в пределах каждого объекта строят многоугольник (полигон обучающей выборки), полностью вписывающийся в изображение объекта на экране. Границы этих полигонов вводятся в специальную программу, которая вычисляет для каждого класса средние значения M_i и K_i по значениям яркости n_i пикселов, попавших в полигон. Такая процедура позволяет обеспечить соответствие измерений обучающих (эталонных) и проверяемых (классифицируемых) объектов.

II. Алгоритмы неконтролируемой классификации (без обучения) реализуют часто методы кластеризации (см. 2.2.2), основанные на так называемых пороговых процедурах. В них предполагается, что первоначальная информация о природных различиях объектов, зафиксированная в спектральных яркостях, достаточна для разделения классов и поэтому можно обойтись без эталонов.

В общем случае при пороговой классификации сравнивают значения яркости двух соседних пикселов снимка. Если их различие $\bar{R}(\bar{X}_i, \bar{X}_{i+1}) = \sqrt{\sum_{j=1}^{L}(X_i^j - X_{i+1}^j)^2}$ превышает некоторую заранее заданную величину d (порог), то считается, что эти пикселы принадлежат разным объектам и между пикселами проходит разделяющая граница. При таком способе классификации точность обычно невысока, тем не менее при отсутствии априорной информации выполнение этой процедуры целесообразно. Наиболее известен алгоритм ISODATA, который используется во многих растровых ГИС-пакетах.

В результате создается карта кластеризации, а также массив спектральных координат центров кластеров с известным числом пик-

селов в каждом из них. Дешифровщик, используя карту кластеризации, а также дополнительную информацию, может оценить соответствие кластеров классам объектов и принять решение об их объединении в нужные тематические группы (выделы).

В состав программного обеспечения автоматизированной обработки аэрокосмических снимков обычно входит несколько алгоритмов классификаций. Применение того или иного алгоритма определяется наличием априорной информации, качеством самого снимка, решаемой задачей, опытом и интуицией дешифровщика.

Мониторинг и картографирование изменений в природе, хозяйстве и их взаимодействие связаны с **составлением карт динамики**. Компьютерная реализация этих методов направлена главным образом на обеспечение точного пространственного совмещения разновременных карт, аэро- и космических снимков для извлечения динамической информации.

Прежде всего необходимо определить классы динамических объектов и их временной интервал (сезон, год и т. п.). Приведение снимков (или карт и снимков) к геометрически идентичному виду осуществляют методами, описанными выше, стремясь к тому, чтобы среднеквадратическая ошибка трансформирования не превышала 0,5 пиксела.

Обеспечить спектральную идентичность снимков крайне трудно из-за разнообразия определяющих ее параметров. Сделать разновременные снимки максимально сравнимыми при условии, что сезонные различия минимальны, а облачность отсутствует, позволяет яркостная коррекция.

Подходящие алгоритмические процедуры выявления и картографирования изменений основаны на методах классификации и ГИС-технологиях оверлея. Для оценки точности полученных результатов строят «матрицы динамики» классов объектов, аналогичные матрицам классификации (см. табл. 2.1 в 2.1.4). Наиболее часто применяют следующие операции:

- ***создание композиций разновременных снимков*** за два срока и выделение изменившихся и неизменившихся кластеров пикселов;
- ***использование алгебры изображений*** — вычитание, синтез или вычисление отношений соответствующих зон (после их приведения к единой системе координат и размеру);
- ***сопоставление результатов классификации разновременных снимков***, полученных путем автоматизированного дешифрирования нужных объектов на геометрически совмещенных снимках;
- ***применение бинарных масок*** — специально создаваемых изображений, содержащих только 0 и 1, которые используют для маскирования неизменившихся или не интересующих дешифровщика объектов, что позволяет выделить изменения;
- ***использование карт как источников данных за первую дату***, когда результаты съемки сравнивают с картой, составленной на

более ранний срок; в этом случае карту сканируют, снимок трансформируют в проекцию карты, выполняют его классификацию, а далее для карты и классифицированного снимка применяют описанные выше операции;

• ***ручное цифрование классов изменений по экрану*** — выделение контуров площадных объектов на разновременных картах классификации или на снимках высокого разрешения способом так называемого цифрования по растровой подложке с последующим совмещением полученных векторных карт на одной основе.

На рис. 22 цв. вкл. приведена карта динамики береговой линии Аральского моря, составленная с применением таких операций.

Развитие геоинформационных технологий ведет к попыткам разработать мониторинговые системы, работающие с минимальным участием человека. Они опираются на создание экспертных систем и баз знаний (см. 4.1).

Контрольные вопросы

1. Каковы структура и типы растровых данных, используемых в ГИС?
2. Какие основные процедуры используют при цифровой обработке снимков?
3. Какие сочетания зон создают изображение в натуральных цветах, псевдоцвете?
4. Что такое «яркостная коррекция»?
5. Каково назначение преобразования контраста?
6. Чем различаются координатная привязка и трансформирование снимков?
7. На чем основано компьютерное дешифрирование снимков?
8. Каковы основные различия контролируемой (с обучением) и неконтролируемой (без обучения) классификации?
9. Дайте характеристику различных методов классификации.
10. Каковы основные особенности методов, применяемых при изучении изменений объектов?

3.2. ГИС и глобальные системы позиционирования

Как неоднократно отмечалось в предыдущих главах, ГИС оперируют координированными пространственно-временны́ми данными. Наиболее современные определения координат основаны на использовании ***глобальных систем позиционирования*** (***ГСП***). Суть их работы заключается в следующем: летящие по строго заданным орбитам спутники, мгновенные координаты которых точно известны, непрерывно излучают радиосигналы, регистрируемые специальными спутниковыми приемниками на Земле. Это позволяет с помощью радиотехнических средств измерять расстояния (дальности) от приемника до спутников и определять местоположение

приемника (его координаты), или находить вектор между двумя приемниками (разности координат их положения).

К основным задачам, решаемым спутниковыми системами, относят:

- развитие геодезических сетей, служащих основой для определения координат любых объектов;
- производство нивелирных работ, выполняемых вплоть до III и даже II классов точности;
- распространение единой высокоточной шкалы времени;
- исследование геодинамических процессов;
- мониторинг состояния окружающей среды;
- координатное обеспечение кадастровых, землеустроительных, сельскохозяйственных и других работ;
- координатное обеспечение полевых тематических съемок и инженерно-географических работ с помощью спутниковых приемников, соединенных со специализированным датчиком (эхолотом, анероидом, магнитометром, цифровой видеокамерой, аэрофотокамерой и др.);
- создание и обновление баз данных ГИС на основе комплексирования спутниковых приемников со специализированными полевыми компьютерами, цифровыми видеокамерами, электронными тахеометрами и инерциальными навигационными системами.

Интеграция ГСП и ГИС является особо важной. Рядом фирм выпускаются спутниковые приемники и программное обеспечение, специально ориентированное на сбор данных для ГИС. Наблюдатель, перемещаясь по местности с таким приемником, вводит в накопитель пространственные и атрибутивные данные. Они сохраняются в соответствующих форматах и могут быть выведены на экран в целях визуализации и контроля. Большинство GPS-приемников, предназначенных для ГИС, позволяет использовать цифровые данные из сети Интернет. Все большее внимание привлекает возможность комплексирования ГИС, ГСП и материалов дистанционного зондирования (ДЗ). Технологии ГСП и ДЗ весьма удачно дополняют друг друга.

Преимущества применения спутниковых методов позиционирования для ГИС в следующем:

- оперативность, всепогодность, оптимальная точность и эффективность; в отличие от традиционных геодезических методов не нужна видимость между определяемыми пунктами;
- глобальность — возможность получения данных в единой или во взаимосвязанных системах координат в любой точке Земли;
- четкая временна́я привязка данных;
- минимизация влияния человеческого фактора;
- цифровая форма записи;
- применение стандартных форматов записи;
- возможность классификации данных на стадии их полевого сбора;

• возможность сбора данных в различных картографических проекциях;

• сбор больших объемов данных.

Применение спутниковых методов позиционирования рассматривается как один из самых значительных прорывов в ГИС индустрии, позволяющих проводить привязку, сбор и обработку данных с невиданной ранее скоростью и качеством.

ГСП и их подсистемы. К концу XX в. в мире созданы две эксплуатационные спутниковые глобальные системы позиционирования, ознаменовавшие революционные изменения в геодезических измерениях. Это американская система Global Positioning System (GPS) и российская Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС). Их инженерно-техническая реализация потребовала немалых затрат и десятков лет напряженной работы.

В каждой системе выделяют по три главные подсистемы (сегменты): наземного контроля и управления (НКУ), созвездия космических аппаратов (КА) и аппаратуры пользователей (АП).

Подсистема НКУ состоит из станций слежения за КА, службы точного времени, главной станции с вычислительным центром и станций загрузки данных на борт спутников. Спутники проходят над контрольными пунктами дважды в сутки. Собранную на станциях слежения информацию об орбитах используют для прогнозирования координат спутников. После этого соответствующие данные загружают на борт каждого спутника.

Главная наземная станция GPS находится на базе ВВС Колорадо-Спрингс, другие ее наземные станции расположены на островах Вознесения, Диего-Гарсия, атолле Кваджалейн и на Гавайских островах.

НКУ ГЛОНАСС включает Центр управления системой (ЦУС), находящийся под Москвой, центральный синхронизатор (ЦС) с высокоточным стандартом частоты и времени для синхронизации системы и сеть станций слежения на территории России.

В каждой спутниковой системе подсистемы КА содержат по 24 основных работающих и по несколько резервных спутников. Спутники равномерно распределены в околоземном пространстве на высотах около 20 тыс. км. На каждом спутнике установлены солнечные батареи питания, двигатели корректировки орбит, атомные эталоны частоты — времени, аппаратура для приема и передачи радиосигналов. Благодаря атомным эталонам частоты — времени генерируемые на спутниках электромагнитные колебания обладают весьма высокой стабильностью. Это чрезвычайно важно, так как все способы измерения дальностей основаны на определениях времени прохождения электромагнитной волны от спутника до приемника.

Для измерения дальностей передатчики на всех спутниках излучают радиоволны на двух частотах, обозначаемых L1 и L2. Две

частоты нужны для того, чтобы исключить из измерений существенные временны́е задержки, возникающие при прохождении радиоволн через ионосферу. В GPS все спутники работают на одинаковых частотах, при этом частоте L1 соответствует длина волны 19,0 см, а частоте L2 — длина волны 24,4 см. В ГЛОНАСС значения несущих частот L1 и L2 у каждого спутника свои, а соответствующие им длины волн близки к 19 и 24 см.

Основу подсистемы аппаратуры пользователей (АП) составляет спутниковый приемник. Аппаратура спутника и спутниковый приемник образуют радиодальномер. Приемник принимает радиоволны, передаваемые спутником, и сравнивает их с электрическими колебаниями, выработанными в самом приемнике. В результате получают время распространения радиоволны, а затем и дальность от приемника до космического аппарата. Дальности определяют двумя методами: кодовым (стандартная точность) и фазовым (наиболее точные измерения). Кроме этого в приемник передается так называемое навигационное сообщение, несущее необходимую для определения координат информацию.

Спутниковые приемники достигли высокого совершенства. Созданы приемники, ориентированные как на использование только спутников одной системы, главным образом GPS, так и на одновременное использование спутников GPS и ГЛОНАСС. Точность определения координат зависит от числа видимых КА. Использование спутниковых группировок двух систем позволяет увеличить количество видимых спутников и повысить точность определений координат примерно в 1,5 раза. В городских условиях, особенно при наличии множества высотных зданий, одна система не в состоянии обеспечить непрерывные измерения в течение длительного времени. Применение комплекса ГЛОНАСС/GPS практически позволяет удвоить продолжительность производительного времени по сравнению со временем использования только спутников GPS.

Все современные спутниковые приемники являются многоканальными с числом каналов от 6 и более. Каждый канал следит за своим спутником. При измерениях проблемой является срыв сигналов на трассах распространения радиоволн из-за таких препятствий, как рельеф, покрытые листвой деревья, здания и другие сооружения. Чем больше каналов, тем легче преодолеть эти трудности и найти необходимое количество видимых спутников.

По конструктивным особенностям различают:

- приемники односистемные, ориентированные на прием сигналов одной системы — либо GPS, либо ГЛОНАСС;
- приемники двухсистемные, принимающие сигналы спутников ГЛОНАСС и GPS;
- приемники одночастотные, работающие только на частоте L1;
- приемники двухчастотные, выполняющие измерения на частотах L1 и L2;

• кодовые приемники, работающие только с дальномерными кодами;

• фазово-кодовые приемники, применяющие дальномерные коды и фазовые измерения.

Кодовые приемники легки, компактны, умещаются на ладони. В одном корпусе совмещены все блоки (антенна, приемник, источник питания). С их помощью можно определить не только пространственное положение, но и вычислить скорость и направление движения. Приемники выдают координаты в различных форматах (широты, долготы, высоты, плоские координаты в разных проекциях). Они способны накапливать и хранить результаты измерений. Пользователь снимает отсчеты по подсвечиваемому экрану, определяет расстояние, азимут, время прибытия к цели и др. На их экранах можно видеть карту маршрута и свое положение на ней. Кодовые приемники становятся основными приборами местоопределения в географических, геологических и других полевых работах.

Фазово-кодовые приемники малогабаритны, обычно оснащены отдельной антенной, имеют мощные накопители данных. Все они снабжены портами для интеграции с другой аппаратурой, их питание осуществляется в основном от аккумуляторов. Нередко клавиатура с дисплеем установлена на вспомогательном устройстве — контроллере. Контроллер пользователь держит в руке и при измерениях вводит необходимые команды и данные, например такие, как имя точки, высота антенны, атрибуты объекта местности и др.

По специализации приемники могут быть ориентированы на решение следующих задач:

• сбор данных для ГИС;

• создание геодезических сетей и выполнение топографических съемок;

• решение навигационных задач;

• обеспечение служб пожарных, милиции, скорой медицинской помощи, перевозки грузов, мобильной связи и т. п.

Кодовый метод определения дальностей. В этом случае используются специальные дальномерные коды. Они представляют собой импульсы, чередующиеся в определенной последовательности. Обычно их обозначают символами 0 и 1. Таким образом, код — это некоторая периодически повторяющаяся комбинация 0 и 1. Дальномерный код должен иметь значительную продолжительность и случайное распределение 0 и 1. В этом случае два идентичных кода коррелируют лишь тогда, когда они полностью совмещены друг с другом. Практически коды имеют псевдослучайное распределение 0 и 1, так как они вырабатываются по определенным строгим закономерностям. На спутнике и в приемнике синхронно генерируют одинаковые коды. В сущности код в приемнике представляет

собой копию кода спутника. Принятый в приемнике код спутника запаздывает по отношению к местному на время, пропорциональное пройденному им расстоянию. Поэтому пришедший и местный коды не коррелируют. Время распространения сигнала, следовательно, и дальность от приемника до спутника определяют задержкой местного кода до обнаружения сильной его корреляции с кодом, принятым со спутника.

Практически измеряют не дальности, а искаженные их значения — псевдодальности. ***Псевдодальность*** отличается от истинной дальности на величину, пропорциональную расхождению шкал времени на спутнике и в приемнике. Если отсчеты по всем каналам приемника, принимающим сигналы от разных спутников, проводятся одновременно, то отличия псевдодальностей от дальностей до любого спутника будут одинаковыми. Это отличие может быть исключено введением его в качестве дополнительного неизвестного в уравнения местоопределения.

Генерируют коды двух типов: высокой и стандартной точности. Первые точнее, сложнее и используются в военных целях, вторые проще и предназначены для гражданских пользователей. Код высокой точности имеет значительную продолжительность и хорошо защищен от несанкционированного вмешательства. В GPS он обозначается как P-код. Трактуется как точный (Precision) или защищенный (Protected). Длительность одного символа кода около 0,1 мкс. За это время радиосигнал проходит почти 30 м. Инструментальная погрешность определения псевдодальностей составляет несколько дециметров. Продолжительность кода семь суток. Каждый GPS-спутник имеет свой семисуточный фрагмент. Смена фрагментов на всех спутниках происходит еженедельно в 0 часов с субботы на воскресенье. Военный P-код хорошо защищен. Кроме того, в случае возникновения угрозы национальной безопасности США могут быть введены еще два режима защиты. Это режим избирательного доступа (Selective Availability — SA), при котором преднамеренно в целях понижения точности измерений искажают дальномерный код и данные о местонахождении спутников, и режим дополнительного шифрования (Anti Spoofing — AS), когда P-код переводится в новый Y-код.

В ГЛОНАСС, в отличие от GPS, нет режимов, которые принудительно загрубляют результаты и дополнительно шифруют высокой точности код.

Стандартной точности GPS-код обозначается как C/A-код. Интерпретируется как свободно доступный и легко распознаваемый (Clear Acquisition), или как гражданский (Civil Application). Частота повторения символов кода в десять раз меньше, чем у P-кода. Поэтому длительность одного его символа около 1 мкс. За это время радиосигнал проходит почти 300 м. Инструментальная погрешность в псевдодальности может составить несколько метров. Про-

должительность кода 1 мс. Это означает, что через 1 мс, примерно через каждые 300 км пути, код повторяется. Вследствие этого возникает проблема неоднозначности измерений, ибо неизвестно, сколько раз этот код повторился на пути от спутника до приемника. Для разрешения неоднозначности псевдодальностей нужна дополнительная телеметрическая информация, или необходимо знать координаты приемника с ошибкой до 150 км.

В GPS все спутники работают на одних и тех же частотах, но каждый имеет свой код — разделение сигналов кодовое. В ГЛОНАСС каждый спутник имеет свои частоты, но у всех одинаковые коды — разделение сигналов частотное.

В существующих ГСП коды высокой точности передаются как на частоте L1, так и на частоте L2. В силу этого частоты L1 и L2 называют несущими. Гражданские коды транслируются только на несущей частоте L1. Это означает, что измеренные с помощью гражданских кодов дальности не защищены от ионосферных искажений.

Фазовый метод определения дальностей. Фазовым методом выполняют наиболее точные измерения. Для этого используют несущие волны L1 и L2. Инструментальная погрешность метода не превышает 1 — 2 мм. Метод основан на том, что фаза синусоидального колебания изменяется пропорционально времени. По истечении каждого периода фаза колебаний меняется на один цикл. В приемнике фаза принятой со спутника волны отличается от фазы местных колебаний на величину, пропорциональную расстоянию от спутника до приемника. При фазовом методе измерений возникает сложная проблема разрешения неоднозначности (многозначности). На пути от спутника к приемнику изменению расстояния в одну длину волны соответствует изменение фазы волны в один цикл (период). Поэтому результат измерения разности фаз пришедшего и местного колебаний должен был бы состоять из некоторого целого числа циклов и дробной их части. Учитывая длину волны и высоту полета спутников, нетрудно подсчитать, что циклов должно быть около 100 000 000. В действительности измерениями фиксируется только дробная часть. Это означает, что при длине волны 19 см расстояние, каким бы оно не было большим, фиксируется только в пределах этого отрезка. ***Неоднозначность*** фазовых измерений обусловлена тем, что отсутствует возможность счета целого числа (N) уложений длины волны в измеряемом расстоянии. Нужны дополнительные усилия, чтобы получить однозначные значения дальностей. Разрешение неоднозначности фазовых измерений — одна из труднейших задач, решаемых ГСП.

Навигационное сообщение. Спутники ГСП передают в приемники навигационные сообщения, которые несут телеметрические данные, информацию о времени, метки времени, так называемые эфемериды и альманах. По меткам времени на Земле сверяются временны́е шкалы спутников с государственными эталонами, и

соответствующие поправки дважды в сутки закладываются на борт каждого спутника. По меткам времени синхронизируются измерения и в приемниках пользователей. Эфемериды — данные, содержащие информацию, позволяющую определить с высокой точностью текущие координаты конкретного спутника. Альманах — сборник менее точных данных обо всех спутниках — содержит сведения об их местоположении, времени восхода и захода, высотах над горизонтом и азимутах направлений на них. Альманах нужен для планирования измерений. Точные сведения, касающиеся конкретного спутника, передаются только этим спутником. Информация альманаха транслируется всеми спутниками.

Навигационное сообщение передается на несущих волнах L1 и L2. Структура распределения данных в навигационных сообщениях различна в GPS и в ГЛОНАСС. Так, в GPS метки времени повторяются каждые 6 с, все сообщение длится 12,5 мин, а в ГЛОНАСС — метки времени следуют каждые 2 с, все сообщение — 2,5 мин.

Координатное обеспечение. GPS и ГЛОНАСС работают в гринвичской пространственной прямоугольной геоцентрической системе координат. Начало координат расположено в центре масс Земли. Ось Z направлена по Условному земному полюсу (CTP — Conventional Terrestrial Pole) и соответствует некоторому фиксированному среднему положению оси вращения. Это обусловлено тем, что земная ось вращения со временем перемещается в теле Земли и относительно звезд. Условный земной полюс в России называют ***Международным условным началом***. Ось X лежит на пересечении экватора с плоскостью гринвичского меридиана, ось Y в плоскости экватора дополняет систему координат до правой.

Система координат устанавливается по высокоточным измерениям и закрепляется пунктами космической геодезической сети. Спутниками ГСП эта сеть с поверхности Земли продолжена в космическое пространство. Передача координат идет по цепочке: пункты на Земле, спутники ГСП, приемники пользователей. Точность координат и их неизменность во времени определяются прежде всего качеством геодезической сети. Чтобы повысить точность эфемерид, измерения ведутся не только со станций слежения НКУ, но и с пунктов геодезических сетей. Для этого прежде всего используют пункты Международной GPS геодинамической службы **IGS** (International GPS Geodynamics Service). К концу XX в. в мире имелось около 200 пунктов IGS, на которых приемниками GPS велись непрерывные измерения.

Геоцентрические координаты GPS и ГЛОНАСС установлены независимо. GPS действует в координатах WGS-84 (World Geodetic System, 1984), а ГЛОНАСС — в координатах ПЗ-90 (Параметры Земли, 1990). Каждая система закреплена координатами пунктов своей космической геодезической сети и использует свой эллипсоид. У эллипсоида WGS-84 большая полуось a = 6 378 137 м,

сжатие $\alpha = 1/298{,}257\,223\,563$. У эллипсоида ПЗ-90 большая полуось $a = 6\,378\,136$ м, а сжатие $\alpha = 1/298{,}257\,839\,303$. Поэтому координаты одних и тех же точек в пространствах указанных систем будут различаться. Их различия обычно не выходят за пределы 10 м.

Постановлением Правительства РФ от 28 июля 2000 г. для обеспечения орбитальных полетов и решения навигационных задач установлена единая геоцентрическая система координат ПЗ-90.

При необходимости прямоугольные геоцентрические координаты X, Y, Z пересчитывают в геодезические широты, долготы и высоты. Однако следует иметь в виду, что эти координаты будут получены относительно того эллипсоида, которым пользуется ГСП. Так, в случае GPS они вычисляются для земного эллипсоида WGS-84, а в случае ГЛОНАСС — для эллипсоида ПЗ-90.

Геодезические широты и долготы в свою очередь могут быть переведены в плоские прямоугольные координаты. В РФ их вычисляют на плоскости в проекции Гаусса—Крюгера для эллипсоида Красовского в системе координат 1995 г. (СК-95). Эта система упомянутым выше постановлением введена для геодезических и картографических работ России.

Геодезические высоты должны быть пересчитаны в используемые в Российской Федерации нормальные высоты. Нормальные высоты отсчитывают от квазигеоида. Для их нахождения по результатам спутникового позиционирования необходимо располагать высотами квазигеоида. Практически для определения нормальных высот измерения должны производиться как над новыми пунктами, так и над теми, для которых нормальные высоты уже известны. При обработке это поможет определить нормальные высоты всех вновь определенных пунктов.

Целостность системы — важная характеристика ее работоспособности. ***Целостность*** — способность ГСП обеспечить пользователя своевременными предупреждениями в случае, когда систему нельзя использовать. Меры по обеспечению целостности предпринимаются как на спутниках, так и на Земле. На Земле организуются службы мониторинга, основной задачей которых является оперативное определение характеристик навигационного поля, выявление сбоев и оповещение о них пользователей. В приемник поступают сигналы о пригодности или непригодности КА. Важная мера — использование избыточного числа спутников и отбраковка измерений относительно неисправных КА.

Позиционирование — это широко распространенный термин. ***Позиционирование*** — определение с помощью спутников ГСП параметров пространственно-временно́го состояния объектов, таких как координаты объекта наблюдения, вектор скорости его движения, разности координат двух объектов, точное время наблюдения. Частными случаями этого действия являются: ***местоопределение*** — нахождение координат пункта установки антенны спутни-

кового приемника, и ***определение пространственного вектора*** — нахождение разностей координат двух пунктов, на которых установлены антенны спутниковых приемников. Рассмотрим некоторые способы позиционирования.

Способы местоопределения:

- автономный;
- дифференциальный.

Способы определения пространственного вектора:

- статический;
- кинематический.

Приведенное деление в известной мере условно. Если определены разности координат между двумя пунктами и известны координаты одного из этих пунктов, то нетрудно найти координаты и другого пункта. Однако нахождение пространственного вектора может быть самостоятельной целью. К тому же по пространственным векторам строят геодезические сети, вычисляют невязки в сетях и выполняют их обработку по методу наименьших квадратов. Аналогом этому в классической геодезии являются засечки и способ триангуляции. Засечкой определяют координаты пункта. Триангуляция — способ построения геодезической сети, конечной целью которого также являются координаты пунктов.

В позиционировании важным является понятие эпохи. ***Эпоха*** — опорная точка на шкале времени, фиксированный момент начала одновременного приема спутниковыми приемниками сигналов всех отслеживаемых спутников глобальной системы позиционирования.

Автономное местоопределение. При автономном способе пользователь работает с одним приемником и определяет свое местонахождение независимо от каких-либо других измерений. Местонахождение определяется пространственной линейной засечкой. Дальности измеряются кодовым методом. Геометрическая сущность засечки заключается в следующем. Если с некоторого пункта, положение которого в пространстве предстоит определить, измерить дальности до трех спутников и из них как из центров этими расстояниями как радиусами провести три сферы, то сферы в пространстве пересекутся в двух точках, при этом одна из этих точек будет искомым пунктом.

Таким образом, для определения трех координат (X, Y, Z) надо располагать тремя сферами. Это трехмерный случай местоопределения (3D). Однако в пространственной линейной засечке одной из сфер может быть земная сфера. Тогда будут определены только две координаты — широта и долгота на земной сфере, проходящей через пункт наблюдения. Это двухмерный случай местоопределения (2D).

Практически, как уже отмечалось, измеряют не дальности, а псевдодальности. Отличие псевдодальности от истинной дальности может быть исключено после введения его в качестве допол-

нительного неизвестного в уравнения местоопределения. Поэтому, чтобы правильно вычислить координаты пункта по псевдодальностям, в случае 2D надо их измерять до трех, а в случае 3D — по крайней мере до четырех спутников с известными координатами.

Автономный способ местоопределения достаточно прост, однако весьма чувствителен ко всем источникам погрешностей. На точность влияют нестабильность частот используемых электромагнитных колебаний, сдвиги шкал времени на спутниках и в приемниках, погрешности в координатах спутников, аппаратурные погрешности приемников, задержки сигналов в ионосфере, тропосфере. Задержки в ионосфере в случае применения высокоточных кодов могут быть исключены измерениями на двух несущих волнах — L1 и L2. Измерения, выполненные на одной частоте, исправляются поправками. С этой целью в навигационное сообщение закладываются параметры модели ионосферы. Однако компенсация фактической задержки по параметрам модели ионосферы в лучшем случае составляет только 50 %. Некомпенсированные задержки могут искажать псевдодальности до 10 м. Поправки могут вноситься и для компенсации задержек в тропосфере. Чтобы ослабить их влияние, сигналы спутников принимают и обрабатывают лишь тогда, когда спутники находятся не ниже 10—15° над горизонтом. В этом случае задержки радиоволн в тропосфере обычно менее 10 м. Точность также снижается из-за явления ***многолучевости***: в приемник приходят волны не только непосредственно от спутника, но и переотраженные от земной поверхности и вблизи расположенных объектов. При кодовых измерениях погрешности из-за многолучевости могут исчисляться несколькими метрами.

Важным показателем качества местоопределения является ***геометрический фактор*** **(ГФ)**. Он характеризует потери точности, обусловленные геометрией взаимного расположения спутников и приемника. Координаты определяются с наибольшей точностью, когда спутники равномерно распределены на небосводе. Точность снижается в десятки и сотни раз, если все спутники приближаются к одной плоскости.

При однократных замерах точность определения координат при ГФ = 2 и менее оценивается предельной погрешностью порядка ±(15—30) м. Точность автономного способа повышают продолжительными (до 10—15 мин) наблюдениями и совместной обработкой всех результатов измерений.

Дифференциальное местоопределение. В отличие от автономного этот способ требует, чтобы измерения выполнялись одновременно двумя приемниками. Один приемник располагают на пункте с известными координатами. Его называют базовой станцией, опорной станцией или контрольно-корректирующей станцией (ККС). Другой, мобильный, приемник размещается на определяемой точке.

Поскольку координаты ККС известны, их можно использовать для сравнения со вновь определяемыми координатами и находить на этой основе поправки для мобильной станции. Способ тем точнее, чем меньше расстояние от подвижного приемника до ККС.

Существует несколько способов коррекции. При кодовых измерениях поправки могут вводиться как в псевдодальности, так и в координаты. В первом случае все измеренные на базовой станции псевдодальности сравнивают с расстояниями, вычисленными по известным координатам спутника и станции, и определяют их разности. Эти разности, так называемые ***дифференциальные поправки***, передаются на мобильную станцию, например, с помощью дополнительного цифрового радиоканала связи. Мобильная станция, получив дифференциальные поправки, исправляет свои измеренные псевдодальности и по ним вычисляет координаты. В другом способе ККС вычисляет разности между известными координатами и определенными в автономном режиме, и ими исправляются координаты на мобильной станции. В этом случае важно, чтобы оба приемника измеряли псевдодальности до одних и тех же спутников. Поправки могут вводиться и в режиме ***постобработки*** — при обработке после измерений.

Задержки в приемнике, обусловливающие отличие псевдодальностей от дальностей, исключаются таким же путем, как и в автономном режиме — по наблюдениям четырех и более спутников.

Точность дифференциального способа при кодовом методе измерения дальностей зависит от типа приемника, программного обеспечения и колеблется в диапазоне от дециметров до нескольких метров. Дифференциальные коррекции применяют и к фазовым измерениям, при этом точность повышается до 1 — 5 см.

В мире существует множество базовых станций, которые передают дифференциальные поправки в стандартном международном формате RTCM SC-104. Организованы службы, передающие поправки через спутники связи и Интернет. В мире действуют различные навигационные ***дифференциальные подсистемы*** (**ДПС**). Основу ДПС составляет сеть ККС. На ее пунктах собирается информация со спутников и передается в центр управления для совместной обработки и нахождения дифференциальных поправок. После этого поправки загружаются на геостационарные спутники, откуда передаются пользователям.

Известна ДПС EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), корректирующая информация с которой передается потребителям через геостационарные спутники AORE (Atlantic Ocean Region East) и IOR (Indian Ocean Region). Североамериканский континент и Северную Атлантику обслуживает ДПС WAAS (Wide Area Augmentation System), а Японию и северную часть Тихого океана — ДПС MSAS (Multifunctional Transport Satellite Augmentation System). Существуют спутниковые приемники, которые на

обычную GPS-антенну способны принимать дифференциальные поправки спутников EGNOS, WAAS и MSAS и достигать метровой точности позиционирования.

Известна также глобальная система OmniSTAR, использующая распределенную по всему миру сеть станций для сбора информации со спутников GPS. Собранные данные передаются в три центра управления, откуда транслируются на борт одного из семи геостационарных спутников. Каждый спутник в пределах своей зоны обслуживания передает дифференциальные поправки пользователям, которые получают их по подписке. При одном варианте подписки пользователь получает дифференциальные поправки, оптимальные для данного местоположения приемника. Гарантируется субметровая точность. При другом, более дешевом варианте, дифференциальные поправки рассчитываются не на любую точку нахождения приемника, а только на одну, указанную пользователем. В настоящее время зона действия OmniSTAR охватывает весь мир, за исключением Гренландии, Канады и большей части России.

Статическое позиционирование. Этот способ используется при наиболее точных определениях разностей координат между двумя пунктами, на которых установлены антенны фазово-кодовых приемников. Одна из этих станций рассматривается как базовая. В этих измерениях фазовый метод является основным, а кодовый — вспомогательным. При этом устраняется сложнейшая проблема разрешения неоднозначности фазовых измерений и компенсации искажений в аппаратуре и на трассе распространения радиоволн. Решить эту проблему удается, формируя разности фазовых измерений.

Вначале формируют разность фаз сигналов от двух спутников на одном приемнике, или от одного спутника на двух приемниках. Какой из этих подходов имеет место, зависит от конструктивных решений и математического обеспечения приемников. Полученные разности называют ***первыми*** или ***одинарными***. Затем формируют ***вторые*** или ***двойные*** разности из измерений в одну эпоху двух спутников двумя приемниками. Вторая разность — это разность двух первых разностей. Одновременно с этим образуются разности чисел N уложений длины волны в измеряемых расстояниях на начальный момент наблюдений.

Во вторых разностях исключены или в большой степени компенсированы основные задержки сигналов в аппаратуре и на трассе измерений. Вторые разности — основной материал для обработки с целью получения высокоточных значений разностей координат между станциями приемников. Уравнение каждой второй разности содержит четыре неизвестные — разности координат по осям X, Y, Z и соответствующую разность чисел N. Естественно, наблюдают не два спутника, а все видимые в данную эпоху на допустимых высотах над горизонтом. Каждая новая пара спутников до-

бавляет еще одну неизвестную разность чисел N. Поэтому нужно одни и те же спутники наблюдать продолжительное время, чтобы найти все неизвестные величины.

Наблюдениями в одну эпоху не ограничиваются. Для каждой эпохи могут быть сформированы вторые разности. Из вторых разностей, отнесенных к разным эпохам, формируют третьи разности. Уравнения третьих разностей не содержат разностей чисел N. Задача решается однозначно. Три таких уравнения позволят вычислить по каждой координатной оси разность координат антенн приемников.

В третьих разностях проблема неоднозначности не решается, а лишь снимается ценой значительной потери точности: с сантиметров до 1 — 3 м. Обычно задача решается последовательными приближениями. Вначале кодовым методом автономного позиционирования определяют приближенные координаты определяемых пунктов. Затем их уточняют по третьим разностям. Заканчивают процесс точной обработкой по вторым разностям.

Известно несколько разновидностей статических способов позиционирования: статика, быстрая статика, способ реокупации. В сущности, выше был описан способ ***статики***. Точность статики зависит от продолжительности измерений. Измерения в течение 10 мин обеспечивают дециметровую точность. Обычно в статике продолжительность наблюдений на паре станций составляет около 1 ч. За это время происходит накопление измерений, фиксируемых через интервалы от 1 с до 5 мин. Благодаря этому точность определения плановых координат повышается до нескольких сантиметров. Точность определений по высоте примерно в два раза ниже. При дальнейшем увеличении длительности наблюдений точность продолжает расти. При увеличении продолжительности наблюдений с 1 до 6 ч СКП уменьшается примерно в полтора раза.

Быстрая статика — разновидность статики, когда применяют ускоренные стратегии поиска чисел неоднозначности N во вторых разностях, а продолжительность измерений уменьшают с увеличением числа наблюдаемых спутников. В способе ***реокупации*** непрерывность измерений сохраняется только на базовой станции, а на мобильной станции измерения выполняют лишь в начале и в конце часового интервала.

Нетрудно представить сеть пунктов, между которыми определены пространственные векторы. Зная точные координаты хотя бы одного пункта этой сети, можно вычислить координаты всех остальных пунктов. Статические способы применяют главным образом для построения геодезических сетей.

Кинематическое позиционирование. Способ представляет собой определение пространственного вектора от антенны приемника опорной станции до антенны мобильного приемника. Мобильный приемник либо переносится по определяемым точкам, либо пере-

мещается на подвижной платформе: катере, автомобиле, самолете. Поэтому такой способ позиционирования иногда называют ***динамическим***. Измерения складываются из двух этапов — инициализации и собственно измерений.

Инициализация — разрешение неоднозначности фазовых измерений на известном пространственном векторе. С этой целью на известном пространственном векторе (базисе) наблюдают не менее четырех спутников, формируют по крайней мере три вторые разности и вычисляют содержащиеся в них разности чисел N. Разработано несколько способов инициализации:

- положение пространственного вектора известно точнее 5 см; приемники устанавливают на его концах и в течение нескольких минут ведут измерения;
- опорный приемник устанавливают на пункте с известными координатами, а мобильный — на первом из определяемых пунктов; неизвестный базовый вектор определяют статическим позиционированием;
- применяют специальные стратегии поиска чисел N, и неоднозначность разрешают за короткое время способом, получившим название «на лету» (**OTF** — *On The Fly*).

После инициализации приемник перемещают на следующий определяемый пункт и находят разности координат между ним и опорным пунктом. Зная координаты опорного пункта, вычисляют координаты этого пункта и т.д. Измерения ведут непрерывно и обязательно по тем же спутникам, по которым выполнена инициализация. Желательно, чтобы число наблюдаемых спутников было не менее пяти. Точность определения координат составляет 3—5 см.

Различают несколько разновидностей кинематики. Способ ***«непрерывной кинематики»*** позволяет «цифровать» контуры на местности путем перемещения приемника, который через заданные интервалы времени фиксирует свои координаты. Способ ***«стой-иди»*** предусматривает возможность остановиться на точке, выполнить более длительные измерения, а затем продолжить движение. В упомянутых способах полевые наблюдения и обработка разделены во времени — применяется режим постобработки. Когда имеется цифровой радиоканал и данные с базового приемника можно передать на мобильный, тогда применяют так называемый способ ***«кинематики реального времени»*** (**RTK** — *Real Time Kinematics*). В этом режиме опорный приемник передает сформированные им первые разности фазовых измерений на мобильный приемник, который формирует вторые и третьи разности, а затем, зная координаты опорной станции, вычисляет собственные координаты.

Кинематическое позиционирование в режиме RTK используется во многих работах, например в целях построения профилей местности, для выполнения тематических и топографических съемок, для привязки материалов дистанционного зондирования, когда

спутниковые приемники, обязательно двухчастотные, устанавливают на самолетах.

Комплексирование спутниковых приемников с другими устройствами. Удобным полевым инструментом для быстрого создания и актуализации пространственных данных является программно-аппаратный комплекс «***Спутниковый приемник — ArcPad — Cassiopeia***». Он позволяет в полевых условиях дешифрировать аэроснимки, исправлять карты, собирать данные для ГИС. Составной частью этого комплекса является карманный полевой компьютер Casio E-125 Cassiopeia с операционной системой Windows CE. Посредством мобильной связи он может быть подключен к сети Интернет. Программный пакет ArcPad фирмы ESRI работает под операционными системами Windows CE, 95/98, 2000, NT с векторными данными в формате SHP и растровыми изображениями в форматах MrSID, JPEG, BMP, CADRG. Формы и словари создаются на этапе подготовки данных и позволяют существенно сократить время ввода атрибутивной информации в поле.

Перед работой в поле необходимо ввести базовые данные — заранее трансформированные и привязанные цифровые аэроснимки, векторные или растровые карты или планы. В процессе съемки на экране компьютера на фоне аэроснимка, карты или плана отображается курсор, визуализирующий текущее местоположение спутникового приемника. Нажатием пиктограммы активируется соответствующий слой. В случае картографирования точечного объекта местности специальной ручкой касаются экрана в точке расположения курсора и заносят в появившееся окно атрибуты созданного в компьютере объекта. Если это линейный или полигональный объект, то, двигаясь с комплектом по контуру объекта, ручку ведут по экрану, следуя за курсором. Спутниковые приемники в комплекте с ArcPad — Cassiopeia позволяют проводить полевые работы в широком диапазоне точностей в зависимости от способа позиционирования — от автономного до кинематики реального времени.

Перспективным является совместное использование ГИС, спутниковых приемников и ***цифровых видеокамер***. В результате получают привязанные к местности цифровые изображения. Такой комплекс удобен для быстрого сбора данных, например, для городского планирования. На первом этапе работ создаются привязанные к местности цифровые изображения. На втором этапе дешифрированием изображений извлекается необходимая атрибутивная информация. На последующих этапах используются ГИС-возможности для составления соответствующих карт и выработки определенных стратегий поведения.

Современные технологии полевых съемок основаны на интегрировании спутниковых приемников и ***электронных тахеометров***. Позиционирование выполняется в реальном времени в режиме RTK.

Координаты и высоты точек местности определяются с точностью 3—5 см. Приемник базовой станции устанавливается на любом геодезическом пункте. Передающий радиомодем транслирует данные в мобильный приемник. Радиус действия радиомодема зависит от множества факторов и может достигать 15 км и более. Мобильный приемник переносят в рюкзаке. Его антенну закрепляют на вехе. В процессе съемки веха с антенной, наподобие традиционной геодезической рейки, устанавливается на всех снимаемых пикетах. Приемник может быть одно- или двухчастотным. Двухчастотные приемники имеют более высокую стоимость, но их применение предпочтительнее. Использование двухчастотных приемников позволяет значительно быстрее выполнить задачу разрешения неоднозначности фазовых измерений (инициализацию). Целесообразно применять приемники с технологией подавления отражений (многолучевости). По ходу съемки определяются не только координаты объектов, но и их атрибуты. Тахеометры применяются для съемки тех участков, где препятствия в виде растительности, сооружений и других объектов не позволяют использовать спутниковые приемники. Все это дает возможность создавать и визуализировать электронные карты непосредственно в полевых условиях. Собранные данные также могут использоваться для пополнения или обновления соответствующих баз данных ГИС.

Комплексирование ГСП с ИНС. Определенные трудности возникают при сборе информации в движении по частично закрытой для радиоволн L1 и L2 местности. Например, при въезде в тоннель сигналы спутников теряются. Имеются еще по крайней мере две причины, оказывающие влияние на качество сбора информации. Так, когда изменяется состав созвездий наблюдаемых спутников, происходит скачкообразное изменение геометрического фактора, и вслед за этим — скачкообразное изменение точности результатов. Другой причиной является то, что при работе ГСП максимальная частота фиксации измерений — около секунды. При скорости передвижения приемника ~30—40 км/ч это приводит к неопределенности местоположения ~10 м.

Выход из этой ситуации видят в соединении ГСП с инерциальной навигационной системой (ИНС) — автономной системой, измеряющей в пути ускорения по каждой координате и по ним определяющей скорости движения и приращения координат на заданном интервале времени. Примечательно, что две системы — ИНС и ГСП — подвержены принципиально различным по характеру действия источникам ошибок. На точность ГСП влияют помехи в радиоканалах передачи информации, геометрический фактор, внешние условия. На работу ИНС эти источники погрешностей не оказывают влияния. Кроме того, погрешности ИНС носят длиннопериодический характер и со временем изменяются медленно, поэтому ее подключение на короткое время не снижает

точности измерений. В ИНС передача данных происходит с частотой 50 Гц, что позволяет сглаживать скачки из-за смены состава наблюдаемых КА и компенсировать перерывы между фиксациями измерений. Идея создания нового измерительного комплекса путем соединения двух принципиально различных систем — ГСП и ИНС — находится в поле зрения многих исследователей, ведущих соответствующие конструкторские работы. Основными в этом комплексе являются ГСП, а ИНС как бы подстраховывают их работу, выполняя короткое время функцию поддержания без практической потери точности непрерывности измерений.

Перспективы дальнейшего развития ГСП. В перспективе в GPS и в ГЛОНАСС все дальномерные коды будут передаваться на обеих частотах — L1 и L2, что повысит точность измерений на гражданском коде. Для повышения надежности позиционирования и безопасности полетов в авиации будет введена третья частота L5 с длиной волны 25,5 см, в результате чего появятся новые возможности разрешения неоднозначности фазовых измерений.

В 1999 г. Европейский парламент поддержал решение Европейского космического агентства (ESA) о создании нового поколения системы спутникового позиционирования. Система получила название Galileo и будет включать 30 спутников (3 — в резерве), расположенных на высоте 23 200 км. С учетом спутников GPS и ГЛОНАСС в распоряжении пользователей окажется около восьми десятков космических аппаратов, покрывающих весь земной шар. Планируется, что Galileo начнет передавать первые сигналы в 2005 г., а через три года вся система будет готова к работе. В 2010 г. годовой мировой рынок для Galileo достигнет предположительно 40 млрд долл.

Контрольные вопросы

1. Перечислите преимущества применения спутниковых методов позиционирования в целях ГИС.
2. Какие функции выполняют подсистемы (сегменты) ГСП?
3. Как классифицируют приемники?
4. В чем заключается проблема неоднозначности фазовых измерений?
5. Какие бывают и с какой целью используются дальномерные коды?
6. Для чего предназначено и что содержит навигационное сообщение?
7. Для каких целей предназначены альманах и эфемериды?
8. Какие координаты определяют с помощью ГСП, и какова ее роль в космической геодезической сети?
9. Что понимается под целостностью ГСП?
10. В чем суть автономного способа местоопределения?
11. В чем суть пространственной линейной засечки?
12. Какие искажения претерпевает сигнал на трассе КА—АП?
13. Почему измерения проводят на двух волнах — L1 и L2?
14. В каких пределах изменяются задержки радиосигналов в атмосфере?

15. Почему КА не наблюдают ниже 10° над горизонтом?
16. В чем сущность явления многолучевости?
17. Что характеризует геометрический фактор?
18. В чем суть дифференциального способа?
19. Какие существуют разновидности дифференциального способа?
20. В чем суть статического способа позиционирования?
21. Как образуются первые, вторые и третьи разности?
22. В чем различия решений по третьим и вторым разностям?
23. В чем различия способов статики, быстрой статики и способа реокупации?
24. В чем различия определений в статике и кинематике?
25. В чем различия способов непрерывной кинематики, «стой-иди» и RTK?
26. Почему выгодно комбинировать ИНС с ГСП?
27. Что вы знаете о ГСП Galileo?

3.3. ГИС и Интернет

Современное состояние взаимодействия ГИС и Интернет. Официальное определение Интернет (Internet) дано в Резолюции Федерального комитета по сетевому взаимодействию США (USA Federal Networking Committee) от 24 октября 1995 г. Оно гласит:

«Интернет означает глобальную информационную систему, которая:

1. Логически взаимосвязана путем использования уникального адресного пространства, основанного на IP (Internet Protocol) или его последующих модификациях.

2. В состоянии поддерживать сетевое взаимодействие, используя набор Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) или его последующие модификации и/или иные IP-совместимые протоколы.

3. Обеспечивает и делает доступным как для общественных, так и для частных нужд высокий уровень информационных услуг, налагаемых поверх описанного здесь сетевого взаимодействия и соответствующей инфраструктуры».

Таким образом, несмотря на почти 30-летнюю историю развития сетевых технологий вообще, можно считать, что только примерно с 1995 г. Интернет как «сеть сетей» стал занимать доминирующее положение в вопросах информационного обмена, превратившись к настоящему времени в неотъемлемую часть глобальной культуры и продолжая охватывать все новые и новые области деятельности. Одной из таких областей стало создание и использование ГИС и геопространственных данных. В настоящее время Интернет объективно рассматривается как средство экспоненциального роста эффективности распространения, получения и использования географической информации во всех ее формах, включая карты, графику, тексты и т.д.

В настоящее время новое направление развития геоинформатики и ГИС, связанное с Интернет-приложениями, уже сформировалось. Произошло это стремительно и масштабно и именно благодаря Интернет-технологиям. Действительно, в течение короткого периода времени была создана принципиально новая технологическая база развития телекоммуникаций, ориентированная на широкое привлечение непрофессиональных пользователей к формированию и развитию единой глобальной информационной сети. Эта технологическая база сыграла роль катализатора, в результате чего в еще более короткие сроки, а точнее, в последние три-четыре года, были заложены основы создания многочисленных ГИС-Интернет-приложений. Появились и закрепились новые направления исследований, стала складываться новая терминология, например, ***Web-картографирование*** (***Web-mapping***), ***Картографический Интернет-сервер*** (***Internet Map Server-IMS***), ***Распределенная географическая информация*** (***Distributed Geographic Information — DGI***), возник рынок специализированных программных продуктов.

Конечно, и для Интернета появление интерактивных картографических ресурсов также имело большое значение, поскольку они повысили долю так называемого «серьезного» контента глобальной сети.

Но симбиоз ГИС- и Интернет-технологий стал исключительно полезен именно для первых, поскольку появилась реальная возможность организации и поддержки глобального обмена географической информацией. В свою очередь такой обмен способствует популяризации и профессионализации применения традиционных ГИС, вовлечению в активное использование накопленных и производству новых геоинформационных ресурсов. Перечень того, что дала интеграция ГИС и Интернет-технологий геоинформационной индустрии, можно было бы продолжить. Самым значительным стало то, что, благодаря Интернету, геоинформатика существенно расширила рамки своего присутствия в повседневной жизни общества.

Так, по некоторым оценкам западных специалистов, в настоящее время интерактивный картографический сервис и геопространственная информация уже заняли значительный сегмент деятельности в области информационных технологий вообще. Они активно внедрились в общий перечень Интернет/Интранет-услуг; в прикладные коммерческие и некоммерческие пакеты программных средств, реализующих подобные услуги; в базовые технологии и стандарты, обеспечивающие эту реализацию; в организации, творческие коллективы и инициативные группы, которые разрабатывают и совершенствуют эти технологии и стандарты, наконец, в научные исследования социальных, когнитивных, правовых, технических проблем, которые возникают в процессе такого

масштабного и повсеместного использования новых интегрированных технологий и геопространственных данных.

Среди современных проблем интеграции ГИС и Интернет-технологий следует выделить следующие:

• проблемы развития технологий работы с геоинформацией, которые включают создание специализированных программных средств для серверов, где она хранится и обрабатывается, для клиентских мест, где эта информация используется и анализируется, для сетевых коммуникаций, где контролируются потоки геоинформации между серверами и клиентами;

• проблемы разработки стандартов, обеспечивающих полноценный и эффективный сетевой обмен весьма разнородной географической информацией, поддерживаемой не менее разнородными технологическими платформами и системами;

• проблемы проведения исследований по повышению скорости обработки запросов, формирования и передачи картографических изображений, повышения функциональности предлагаемых сервисов, совершенствования способов хранения больших объемов географической информации, повышения качества картографической визуализации и многое-многое другое, включая проблемы обеспечения доступа различных групп пользователей к различным видам данных и сервисов.

Интеграция ГИС- и Интернет-технологий. Интернет-услуги в области геоданных постоянно расширяются и технологически совершенствуются, затрагивая все более глубокие пласты геоинформационной деятельности: производство и распространение цифровых геоданных, их стандартизацию и классификацию, создание ГИС с возможностями удаленного доступа для широкого круга пользователей посредством «открытых» сетей (т.е. не требующих создания особых информационно-технологических инфраструктур), осуществление комплексных научно-исследовательских ГИС-проектов, подготовку профессиональных кадров в области ГИС. Можно говорить о формировании в сети Интернет мощного геоинформационного «пласта», который уже сейчас оказывает существенное влияние на развитие ГИС и геоинформационных наук в мире.

Ключевой проблемой дальнейшего совершенствования «интернетовского направления» развития ГИС-индустрии является создание специализированных ГИС-технологий. Уже в настоящее время предлагаемые и реализованные технологические решения достаточно разнообразны. Это разнообразие диктуется желанием учесть, по возможности, широкий спектр функциональных и пользовательских требований, предъявляемых к интернетовским ГИС-приложениям, таким как скорость формирования, передачи и выполнения запросов, набор геоинформационных услуг, предоставляемых сервером, возможность доступа и обработки боль-

ших массивов географической информации, удобство и легкость работы клиента и т.д.

Несмотря на такое разнообразие требований, фирмы-производители программного обеспечения ГИС, исследовательские и университетские коллективы, работающие в этой области, в последние годы предлагают и разрабатывают практически только одно принципиальное решение, основанное на интеграции ГИС- и WWW-технологий.

Web-сервер (World Wide Web) уже давно стал своеобразной «визитной карточкой» и символом глобальной сети Интернет. Простота общения с ним, внешняя легкость поиска необходимой информации, привлекательный и логически понятный даже новичку пользовательский интерфейс, основанный на гипертекстовом представлении информации — все это снискало Web-технологии всемирное признание и популярность. Достаточно сказать, что общее количество HTML-страниц, составляющих информационную начинку Web-серверов сети Интернет, к настоящему времени по некоторым оценкам превысило 50 млрд единиц. Приобщившись к Web-серверам и освоив навигацию по «Всемирной Паутине», сотни тысяч пользователей сети Интернет уже не представляют себе иного способа общения с базами данных и информационными системами любого назначения и содержания, кроме как с помощью специальных Web-браузеров — просмотровщиков гипертекстовых страниц. Поэтому в настоящее время все серьезные разработчики программного обеспечения в области ГИС, СУБД, офисных технологий и т.д. в обязательном порядке снабжают свои продукты программными модулями, поддерживающими так называемую технологию «клиент/сервер», при которой пользователь имеет дело именно с гипертекстовыми (HTML) страницами, не задумываясь при этом, каким образом организованы данные, как обрабатываются запросы и представляются их результаты.

Следует отметить, что ГИС-специалистами и пользователями геоданных появление и становление Web-технологии было встречено с энтузиазмом и сопровождалось бурными дебатами о том, сможет ли последняя быть интегрирована с ГИС на профессиональном уровне или останется только привлекательной игрушкой, иллюстрирующей то, как здорово управляются ГИС с разнообразными геоданными. Время быстро расставило все на свои места, показав, что в современном развитии ГИС одним из самых привлекательных и полезных направлений является их интеграция с Web-технологией.

Все это привело к формированию нового технологического направления работы с геопространственными данными в сетевом режиме, получившее название WebGIS-системы, а разрабатываемые интегрированные информационно-технологические решения все чаще называют WebGIS-технологиями.

Главное достоинство WebGIS-технологии заключается в том, что эта технология «связывает» между собой и делает доступной для широкого и совместного использования геоданные, рассредоточенные по различным точкам земного шара. Именно для обозначения таких данных Брэндон Плеве (Brandon Plewe) предложил термин «Распределенная Географическая Информация» (Distributed Geographic Information). Важнейшим свойством разрабатываемых в настоящее время WebGIS-технологий является то, что, применяя их, пользователи Интернет получают возможность активной работы с геоданными (вплоть до реализации собственных ГИС-проектов), не приобретая для этого геоинформационные программные средства (ГИС-оболочки). Основным инструментом работы остаются только Интернет-навигаторы/браузеры, оснащенные некоторыми стандартными или специализированными программными приложениями, распространяемыми, как правило, в сети Интернет бесплатно.

Таким образом, WebGIS-технологии позволяют практически добавить геоинформационные функции широкому спектру приложений, основанных на сетевом доступе и используемых в бизнесе, управлении, образовании. Ряд подобных технологических решений разрабатывается одновременно и как Интранет-приложения, расширяя таким образом возможности локальных сетей, функционирующих во многих организациях в части работы с геоданными.

Ряд экспериментальных работ посвящен использованию WebGIS-технологий для создания Интернет-серверов интерактивного картографирования, включая и такие инновации, как организация геоинформационных и картографических услуг на основе все более популярного интернетовского принципа «pay-for-use» (плати за использование).

Основное направление исследований в области технологических WebGIS-приложений касается создания систем программного обеспечения, которые являлись бы платформонезависимыми и выполнялись бы на открытых TCP/IP-сетях, что обеспечивает подключение к Интернету любого компьютера с помощью стандартного Web-браузера.

В Интернете уже имеется немало ресурсов в виде Web-серверов, где такие решения реализованы с помощью различных, в первую очередь специализированных программных средств. Причем уже сейчас можно выделить несколько различных направлений их функционального применения:

- справочно-информационное картографическое обслуживание;
- справочно-аналитическое картографическое обслуживание;
- тематико-картографическое обслуживание;
- визуально-картографическое представление цифровых баз геоданных в интересах их распространения.

Как видно, все перечисленные направления в любом случае опираются на картографическое представление запроса или его результата, что позволяет считать практически все WebGIS-серверы «Картографическими Интернет-Серверами».

Технологические стратегии WebГИС-серверов. Существуют различные технологические стратегии, с помощью которых геоинформационные функции встраиваются в Web-технологии. Например, так называемые ***«серверосторонние» (server-side)*** стратегии позволяют пользователям (клиентам) посылать запросы, касающиеся геоданных, их анализа и представления на Web-сервер. Сервер обрабатывает запросы и возвращает результаты их выполнения (геоданные или полученные решения) удаленному клиенту. В этом случае клиент считается «тонким».

«Клиентосторонние» (client-side) стратегии позволяют пользователям выполнять некоторое манипулирование геоданными и их анализ «на месте», т.е. на собственном компьютере, при этом сам клиент считается «толстым».

Возможности сервера и клиента могут комбинироваться в гибридных стратегиях, которые оптимизируют функциональные возможности конкретных технологических решений и отвечают каким-либо особым потребностям пользователя. При этом разработчики либо сами разрабатывают геоинформационные модули (ядра), используя собственные или коммерческие ГИС-оболочки и существующие программные библиотеки и языки программирования, которые затем интегрируются в Web-сервер, либо (что встречается все чаще) приобретают специализированные модули у производителей программного обеспечения ГИС. В любом случае до настоящего времени нетривиальной задачей остается проектирование и программная реализация образного (графического) интерфейса WebGIS-сервера, обеспечивающего эффективное выполнение им различных геоинформационных функций.

«Серверосторонние» стратегии. Эти стратегии ориентируются на предоставление геоданных или результатов их анализа в режиме «по требованию» от специализированного сервера, имеющего, в свою очередь, доступ к базам геоданных и программным средствам их обработки. Такая стратегия в значительной мере напоминает традиционные «terminal-to-mainframe» модели, используемые для обеспечения работы ГИС в локальной сети. В этом случае клиенту необходимы незначительные мощности собственного компьютера (в традиционных сетевых моделях его называют «dumb terminal» — немым терминалом). От клиентского компьютера требуется только обеспечить возможность составить запрос и представить ответ. Для такой стратегии характерна следующая последовательность процедур:

- пользователь составляет запрос с помощью окна Web-браузера;
- запрос посылается по сети Интернет на сервер;

• сервер обрабатывает запрос;

• ответ возвращается по сети Интернет пользователю и визуализируется с помощью Web-браузера.

К такому виду серверной конфигурации часто применяется термин «*картографический сервер*»: запросы пользователя на ту или иную карту «обслуживаются» головным компьютером. Программы, которые обслуживают запросы клиента, могут быть написаны на различных языках программирования и с помощью различных инструментальных сред, включая Perl, VisualBasic, C ++, Delphi. Для того чтобы Web-сервер мог взаимодействовать с ГИС-приложениями, используются различные интерфейсные стандарты, такие как CGI (Common Gateway Interface), Java, ISAPI (Internet Server Application Programming Interface) или NSAPI (Netscape Server Application Programming Interface).

К преимуществам «серверосторонней» стратегии организации WebGIS-сервера можно отнести следующие:

• при условии использования быстродействующего сервера клиент может получить доступ к большим и комплексным базам геоданных, которые трудно передать в сети Интернет и обрабатывать на месте из-за их существенных объемов;

• при условии применения быстродействующего сервера даже клиентами, у которых нет доступа к мощным компьютерным системам, могут эффективно использоваться сложные аналитические процедуры обработки геоданных;

• возможно обеспечение надлежащего контроля за тем, как соблюдается режим доступа к геоданным, а главное, корректно и методически правильно ли использует клиент эти геоданные.

Недостатками этой стратегии являются следующие:

• при организации работы с клиентом каждый его запрос, независимо от того, насколько он мал и даже незначителен, должен обязательно быть передан серверу и обработан, а результаты обработки обязательно возвращены клиенту по сети Интернет;

• эффективность работы зависит от пропускной способности и уровня траффика сети Интернет между клиентом и сервером, что становится особенно критичным, когда ответы на запрос содержат большие по объему файлы;

• прикладные программы сервера не предоставляют преимущества в работе тем клиентам, которые имеют мощное техническое оснащение своего локального компьютера и не используют его для повышения эффективности работы сервера.

Таким образом, при работе с WebGIS-сервером мощный компьютер клиента используется неэффективно.

Такая стратегия лучше всего подходит для решения задач, требующих реализовать ограниченный перечень геоинформационных функций WebGIS-сервера одновременно для очень широкого круга пользователей (порядка нескольких тысяч).

«Клиентосторонние» стратегии. Приложения, реализующие эти стратегии, пытаются «нагрузить» часть обрабатываемых запросов на компьютер пользователя, сделать его «толстым клиентом».

Вместо того чтобы постоянно заставлять сервер выполнять большинство работ, некоторые программно-реализованные геоинформационные процедуры передаются на компьютер клиента по сети Интернет при каждом сеансе с сервером или постоянно находятся на клиентском рабочем месте. Они управляются через Web-браузер клиента и обрабатывают геоданные на месте, т.е. локально.

К преимуществам «клиентосторонней» стратегии организации WebGIS-сервера можно отнести следующие:

- прикладные программы сервера используют при обработке геоданных преимущества мощного технического оснащения локального компьютера клиента;
- пользователь получает больший контроль над процессом анализа данных;
- после получения от сервера ответа на свой запрос, клиент может работать с данными без необходимости вновь посылать и получать информацию по сети Интернет.

Недостатками этой стратегии являются следующие:

- ответ сервера может включать пересылку на клиентский компьютер большого количества геоданных, а также файлов программных приложений, вызывая задержки продуктивной работы;
- при условии наличия у клиента недостаточно мощного компьютера обработка больших и комплексных наборов данных будет значительно затруднена;
- сложные аналитические геоинформационные процедуры на недостаточно мощном компьютере клиента могут выполняться очень медленно;
- клиенты могут не обладать навыками и знаниями, которые необходимы для эффективного и корректного применения процедур и функций работы с геоданными и их обработки.

Соответственно такие стратегии представляются наиболее удобными для организации работы служб, состоящих из относительно небольшого числа хорошо подготовленных в геоинформационном отношении пользователей и могут применяться, например, в сетях Интранет.

Можно выделить две разновидности «клиентосторонней» стратегии.

Использование ГИС-апплетов (applets), поставляемых клиенту по его требованию. При этом геоинформационные процедуры реализуются в виде относительно небольших по размеру программ, или апплетов, которые запускаются и выполняются на компьютере клиента. Апплеты передаются клиентскому компьютеру по его требованию, когда необходимо выполнение тех или иных процедур или поддержка определенных ГИС-функций.

После того как геоданные и апплеты переданы с сервера на компьютер клиента, последний получает возможность работать с ними независимо от сервера, а файлы запросов и ответов не передаются по сети Интернет.

Апплеты могут реализовываться на языках Java, JavaScript или ActiveX. Языки Java и JavaScript разработаны корпорациями Sun Microsystems и Netscape Communications. Трансляторы для программ Java и JavaScript запускаются внутри Web-браузеров и обрабатывают апплеты по мере необходимости. Язык ActiveX разработан корпорацией Microsoft. Приложения, написанные на ActiveX, допускают их использование клиентами совместно с другими программами, функционирующими в среде Windows.

Использование ГИС-апплетов и приложений типа *Plug-in*, постоянно размещаемых на компьютере клиента. Как отмечалось выше, «клиентосторонние» стратегии основаны на подключении дополнительных геоинформационных функций к Web-браузерам, которые передаются им от сервера.

Пересылка необходимых геоданных и апплетов по сети Интернет может потребовать очень много времени, особенно если приложения используются часто. Поэтому в качестве альтернативы существует стратегия, по которой ГИС-апплеты передаются и физически устанавливаются на компьютер клиента на постоянной основе, в результате чего отпадает необходимость их пересылки с сервера каждый раз, когда они могут понадобиться для обработки геоданных.

Так называемые геоинформационные «Plug-in»-приложения могут быть инсталлированы в среде Web-браузера, расширяя возможности последнего. С другой стороны, уже «Plug-in»-приложения, реализующие функции Web-браузера, могут быть инсталлированы в программной среде ГИС, также расширяя возможности последней. В настоящее время для любого программного пакета ГИС, который имеет встроенный язык прикладного программирования или библиотеку программных модулей с возможностью формирования обращений к внешним файлам или их структурам, могут быть созданы приложения, осуществляющие загрузку геоданных с сервера на компьютер клиента по сети Интернет.

Таким образом, применяя такую стратегию, пользователи могут выбрать (и программно обеспечить) те сетевые связи, которые им могут потребоваться для доступа к источникам геоданных, размещенных в Интернете. Серверы же будут востребованы клиентами лишь для того, чтобы передать геоданные, необходимые для выполнения конкретной процедуры. При этом клиент осуществляет полный контроль за геоданными, которые он использует и анализирует.

Отметим, что на принципе «клиентосторонней» стратегии в настоящее время разрабатываются ГИС, которые должны обраба-

тывать геоданные в режиме реального времени, т.е. поступающие непосредственно от постоянно действующих датчиков или от служб, обеспечивающих оперативное обновление информации. К ним относятся системы мониторинга местонахождения транспортных средств или интенсивности транспортных потоков, мониторинга погодных или гидрологических условий, миграции животных и т.д. Привлекательность создания подобных систем на основе WebGIS-технологий заключается в том, что геоданные из многих источников могут передаваться по открытым сетям Интернет, без необходимости создания специальных каналов связи, а пользоваться информацией с подобных серверов могут практически все пользователи Интернет.

Выше отмечалось, что и «серверосторонняя», и «клиентосторонняя» стратегии имеют свои преимущества и недостатки. На практике обе стратегии, как правило, комбинируются в так называемые гибридные технологические решения, «настраиваемые» на определенный круг геоинформационных задач, которые должен уметь решать WebGIS-сервер. Разумеется, гибридные решения должны опираться на учет и анализ различных сторон функционирования WebGIS-сервера, включая возможную аудиторию пользователей, уровень оснащения их клиентских мест, типовые запросы и прочее.

В зависимости от используемых технологических стратегий и платформ все существующие WebGIS-серверы можно разделить на несколько групп.

1. Серверы, передающие исходные данные на компьютер клиента. Это наиболее простой тип взаимодействия клиента и сервера. Он подразумевает организацию на сервере архива файлов в форматах, поддерживаемых различными ГИС-оболочками. Как правило, эти файлы размещаются на FTP- или HTTP-серверах, а для того, чтобы они были видны клиенту «извне», организуется какая-либо навигация по этим файловым структурам. Лучший результат в этом случае достигается с использованием обоих типов серверов: HTTP — для навигации по архиву и описания карт и FTP (как более быстрый протокол передачи данных) — для их передачи по сети Интернет.

Далее эти файлы обрабатываются ГИС-приложением, имеющимся на компьютере клиента. В данном случае сетевое программное обеспечение позволяет только пересылать файлы данных, главным образом цифровых карт, с сервера на компьютер клиента. Данный тип WebGIS-сервера обходится лишь стандартными FTP- и Web-программными средствами.

2. Серверы, передающие статичные географические изображения в растровом и, реже, в векторном формате. Для растровых обычно используются форматы GIF или JPEG, для векторных — CGM, DXF или Shockwave. В последнем случае на компьютере кли-

ента должны быть установлены соответствующие «Plug-in»-приложения-визуализаторы. Технология изготовления подобных систем мало чем отличается от обычного Web-проектирования. В первую очередь с помощью какой-либо ГИС-оболочки подготавливается набор карт, сохраняемый в графическом файле. После этого формируются Web-страницы, в которые эти файлы встраиваются. Такие серверы не обрабатывают запросы к географическим или метаданным. В них иногда применяется псевдомасштабирование, при котором растровое изображение растягивается за счет повторения пикселов.

3. Серверы, обрабатывающие запросы к метаданным, используя картографическое изображение. Эта технология похожа на предыдущую тем, что карты, предоставляемые пользователю, также находятся в статичном (растровом) формате и обрабатываются технологией imagemaps. Отличие состоит в том, что после выбора определенного региона на карте запрос пересылается серверному приложению, которое связывается с базой метаданных (она может физически располагаться совершенно в другом месте, нежели сервер) и в качестве ответа передает клиенту, как правило, адреса Интернета, где может быть найдена интересующая его информация.

4. Серверы, формирующие карты в интерактивном режиме. Этот способ передачи геоизображений является самым популярным. Карта, приходящая к клиенту, создается «на лету» в процессе формирования HTML-страницы в результате работы специального программного обеспечения, имеющегося на сервере. Формирование HTML-страницы и карты происходит в зависимости от параметров запроса, таких как масштаб, местоположение, тематика и т.д. Карты могут формироваться как стандартными программными средствами ГИС (ArcView, MapInfo и др.) посредством небольших управляющих специализированных программ сервера, так и специально созданными для этой задачи приложениями. В любом случае карты формируются на основе одной или более баз геоданных. Сервер «на лету» формирует растровое изображение, которое затем передается на компьютер пользователя и визуализируется с помощью Web-браузера. Когда пользователь хочет что-либо изменить (сместить карту, увеличить или уменьшить масштаб, включить/выключить тематическую раскраску и т.д.), на сервер передается новый запрос, по которому немедленно формируется новая карта с новыми параметрами. Она также передается пользователю, замыкая цикл.

При использовании подобной технологии карты получаются полностью интерактивными, отвечающими любым запросам пользователя в рамках предоставляемых ему возможностей. Однако в этом случае на сервер ложится большая нагрузка, поскольку он должен иногда формировать много карт для разных пользователей одновременно. Поэтому на WebGIS-серверах данной группы

могут использоваться специализированные Web-браузеры (или специализированные «Plug-in»-приложения для широко распространенных Web-браузеров), которые сами формируют карты на компьютере клиента по геоданным, переданным сервером.

5. Серверы, использующие конверторы данных «на лету». Подобные системы мало распространены в сети Интернет. Многие настольные ГИС-оболочки не имеют развитых возможностей конвертирования баз геоданных из других форматов в тот, с которым они способны работать, и именно для пользователей подобных ГИС эта технология очень полезна. Функция подобных серверов похожа на функцию серверов первой группы, т.е. они также доставляют пространственные данные клиенту, и эти данные затем обрабатываются ГИС-приложением на компьютере пользователя.

Отличие их состоит в том, что пользователь может выбрать удобный (или необходимый) для него формат представления данных, нужную проекцию и ряд других параметров. Далее серверное приложение «на лету» делает нужные изменения, конвертирует данные и передает их пользователю в виде, соответствующем запросу.

6. Удаленные аналитические WebGIS-серверы. Это один из самых сложных в исполнении и использовании типов WebGIS-систем. С другой стороны, серверы этой группы предоставляют пользователю самые широкие возможности. Последний может получать картографические изображения, сформированные «на лету» по результатам его запроса, текстовую информацию по объектам на карте, включать и выключать слои. Может проводить тематическое картографирование, строить буферные зоны, находить кратчайший путь и многое другое, вплоть до редактирования позиционных и атрибутивных данных.

Пользователь осуществляет полный контроль над всеми операциями визуализации геоданных, так, как будто эти данные находятся на его локальном диске. Нередко подобные серверы предоставляют пользовательский интерфейс в виде Java-апплетов, что довольно сильно «утяжеляет» клиента, но дает большую гибкость и удобство в управлении запросами и визуализацией полученных геоданных.

Интерактивный картографический Интернет-сервис. Интерактивный картографический Интернет-сервис (ИКС) в настоящее время является одним из обязательных и популярных разделов основной линейки сервисов крупнейших ***Интернет-порталов***.

Под интерактивным картографическим Интернет-сервисом понимается формирование документов, содержащих изображения справочных или тематических карт различного содержания и назначения, полученных в результате взаимодействия пользователя Web-сайта со специализированным картографическим сервером.

Главными компонентами принципиальной схемы организации ИКС-схемы являются компьютер клиента с установленным на нем

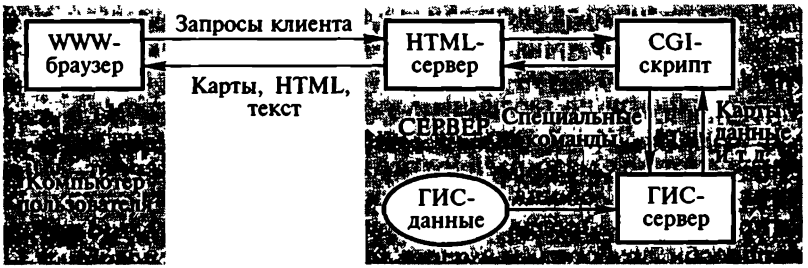


Рис. 42. Принципиальная схема организации и функционирования интерактивного картографического сервиса

Web-браузером и специализированный сервер с соответствующим программным обеспечением.

Согласно схеме, представленной на рис. 42, запрос от пользователя передается через Интернет-сети на сервер, где он предобрабатывается специализированной программой (CGI-скриптом). Преобразованный запрос передается далее программе — ГИС-серверу (процессору), которая работает непосредственно с позиционными и атрибутивными данными. В виде ответа ГИС-сервер обратно по цепочке передает сформированную на основе запроса карту и сопутствующие атрибутивные данные. Нередко функции по формированию карты и поиску необходимой текстовой информации разделяются между приложениями. В этом случае ГИС-сервер выполняет работу только по формированию карты, а поиском и отбором текстовой информации занимается промежуточный CGI-скрипт.

Поскольку проектирование и создание ИКС является составной частью Интернет-проекта, при выборе правильной стратегии приходится находить ответы на ряд важных вопросов:

- для какой Интернет-аудитории или какого сегмента Интернет-рынка предназначена картографическая информация, и каковы их характеристики;
- какая картографическая информация и в какой форме будет представлять стабильный интерес для аудитории;
- какие типы картографических изображений, запросов, возможностей пространственного анализа, Интернет-сервисов целесообразно предложить аудитории, на которую рассчитан ИКС;
- каким должен быть интерфейс для показа картографической информации, каковы должны быть логика и последовательность реализации в нем пользовательских возможностей;
- где должна проводиться обработка запросов к картографическому содержанию, справочной информации, сервисным базам данных: на сервере, компьютере клиента или где-то между ними?

Функциональные требования к ИКС. Как правило, ИКС должен поддерживать следующие базовые функции:

• выбор карты;
• масштабирование карты;
• смещение участка карты на половину экрана по восьми основным направлениям (румбам);
• включение-выключение отображаемых на карте базовых и тематических слоев;
• получение информации по объектам, попавшим в заданный радиус от места «клика» пользователем по участку карты, в отдельном информационном окне;
• центрирование карты по месту «клика» по карте;
• обработка запроса к базе данных, результатом которого является список объектов, удовлетворяющих запросу. Например, функция поиска объектов по географическому названию, по справочной информации, по статистическим показателям;
• позиционирование найденного объекта или группы объектов на карте в укрупненном (подробном) масштабе;
• формирование тематических карт с показом различий в качественном состоянии объектов на текущий момент с помощью разных картографических способов изображения: значкового, картограмм, картодиаграмм;
• нанесение пользователем на карту собственных знаков с подписью. Набор знаков согласовывается с требованиями соответствующих учебных курсов и предметов среднего и профессионального образования;
• подготовка макета печати карты;
• сохранение растрового картографического изображения и уникальной URL-ссылки на него;
• отсылка карты по e-mail (электронной почте) в виде уникальной URL-ссылки и комментированного текста.

Технология, функции и интерфейсы основных карт и вспомогательных страниц ИКС должны обеспечивать возможность сохранения любого количества картографических изображений и организации любого количества URL-ссылок на любые картографические темы и сюжеты (спозиционированные карты с определенно настроенным тематическим содержанием), которые могут размещаться на Web-ресурсах зарегистрированных пользователей в целях интеграции ИКС в их логическую и информационную среду.

ИКС должен обладать оригинальным графическим дизайном, соответствующим требуемой функциональности пользовательских интерфейсов и общему стилю портала. Необходимо использовать набор уникальных элементов фирменного стиля и визуальной идентификации: знак, логотип, цветовое решение, условные значки для элементов интерфейса.

ИКС реализует образный (интуитивный) интерфейс, способный предоставить возможности полнофункциональной работы с картой неподготовленному пользователю. Для этого используются

графические элементы и вспомогательные текстовые сообщения и ссылки. Основными элементами страницы являются фрагмент картографического изображения, настроенного пользователем с помощью функций и сервисов, а также навигатор (уменьшенная копия карты), показывающий местоположение фрагмента относительно всей карты.

Дизайн обеспечивает соответствие следующим основным требованиям:

- графические элементы должны быть выполнены с учетом специфики представления графической информации на Веб-страницах;
- внимание пользователя должно концентрироваться на наиболее важных навигационных элементах;
- основная информация, меню и другие элементы навигации должны быть доступны без горизонтального прокручивания полностью открытого окна браузера при базовом видеорежиме $800 \times 600 \times 256$; для видеорежима $640 \times 480 \times 16$ должна сохраняться возможность чтения контента и различения элементов навигации;
- использование фреймов должно быть сведено к минимуму;
- применяется HTML-код с использованием вставок JavaScript для организации пользовательского интерфейса и удобства работы с картой;
- поддерживаемые типы браузеров: Internet Explorer v. 3.0 и выше, Netscape Navigator v. 3.0 и выше;
- страницы администраторского интерфейса должны выполняться с минимальным использованием декоративных графических элементов, обеспечивать наглядное представление имеющейся информации и быстрый переход к основным разделам и функциям системы;
- страницы ИКС используют общие перевязки, колонтитулы, заголовки и прочие элементы, определенные как общие универсальные атрибуты всех страниц портала.

Интеграция интерактивного картографического сервиса в Интернет-порталы. Правомерность включения ИКС в линейку общих Интернет-сервисов крупных Интернет-порталов обусловлена его высокой универсальностью как по отношению к другим Интернет-сервисам (линейкам новостей, поисковым машинам, системам организации опросов и статистики посещений и т.д.), в контенте которых присутствует территориально координированная информация, так и по отношению к образовательно-предметным областям знаний, для которых карты являются одним из обязательных или рекомендуемых учебно-методических материалов.

С другой стороны, как показывает мировой и отечественный опыт создания картографических Интернет-ресурсов, разработка, создание и поддержка ИКС является достаточно сложной информационно-технологической проблемой, решение которой требует особого опыта и навыков работы с Интернет- и ГИС-технология-

ми, цифровыми картографическими материалами. Именно поэтому этот сервис все чаще развивается в Интернете, главным образом в виде ASP-услуг (Application Service Provision).

В Интернет-порталах ИКС способен эффективно выполнять следующие функции:

- информационно-справочные услуги, касающиеся образно-картографического отражения местоположения отдельных объектов или инфраструктуры в целом. Сервис сопрягается со справочными базами данных, имеющими адресную (географическую) привязку к картографическим основам. По результатам поиска найденные объекты или группы объектов отображаются на интерактивной карте;
- услуги по тематическому картографическому моделированию и анализу геоинформационных ресурсов;
- услуги по организации взаимодействия посетителей портала с базами данных и хранилищами документов, в том числе распределенными, имеющими в качестве одного из атрибутов их описания пространственную привязку (образно-картографический интерфейс пользователя);
- услуги по повышению эффективности работы средств поиска информации (машин поиска) в части учета пространственных свойств запрашиваемой информации, например, местоположения или географических названий с возможностями картографического представления результатов поиска.

Как правило, ИКС разрабатывается, позиционируется и поддерживается как автономный картографический сервер, состоящий из «машины» по генерации картографических изображений, средств управления «машиной», баз позиционных и атрибутивных данных, типовых шаблонов выходных документов, средств сопряжения сервера с другими сервисами и базами данных порталов.

С учетом роста потребностей пользователей Интернета прежде всего в картографических материалах (актуальных, качественных и интерактивных), вызванного общим повышением мобильности людей, усложнением территориальной инфраструктуры сред обитания (городов, местностей), картографические Интернет-ресурсы и сервисы (в количественном и качественном отношении) должны развиваться более быстрыми темпами, нежели другие информационные ресурсы глобальной сети.

Это означает переход от представления и интерпретации карт как статичных документов к получению географической информации в процессе интерактивных запросов в различной форме. В технологическом аспекте будет наблюдаться переход от частичной к более глубокой взаимной интеграции элементов ГИС- и Интернет-технологий и сервисов. Такая интеграция может развиваться в нескольких направлениях и будет связана с встраиванием картографического сервиса в тематические базы данных для обеспечения

и визуализации географических запросов, в поисковые системы для обеспечения поиска с учетом географических предпочтений, в системы обработки текстов, например новостей, для обеспечения дополнительного картографического представления содержания.

Контрольные вопросы

1. Что означает термин «распределенная географическая информация»?
2. Перечислите основные направления функционального применения WebГИС-технологии.
3. В чем различия «серверосторонней» и «клиентосторонней» технологических стратегий реализации WebГИС-серверов?
4. Опишите две разновидности «клиентосторонней» технологической стратегии реализации WebГИС-серверов.
5. Дайте определение интерактивного картографического Интернет-сервиса картографирования.
6. Опишите принципиальную схему функционирования интерактивного картографического Интернет-сервиса.
7. Перечислите основные функциональные требования, предъявляемые к интерактивному картографическому Интернет-сервису.

3.4. Понятие о мультимедиа

Слово «мультимедиа» или словосочетания «мультимедиа-произведение», «мультимедиа-технология» встречаются в разговорной лексике чрезвычайно часто, но не всегда правильно и без четкого понимания сути этих терминов. И причина этого не в том, что термин англоязычный, не нашедший точного и короткого адекватного русского определения, а в том, что даже в англоязычной литературе сами носители языка называют этот термин неудачным определением (ill-defined). Поэтому попытка дать определение понятию «мультимедиа» приводит в лучшем случае к чему-то длинному и непонятному типа «новый способ коммуникации, включающий в себя синергию между звуком, образами и текстом» и в худшем — к малопонятному термину «многосреда». По этой причине интереснее взглянуть на такое явление, как «мультимедиа» в историческом плане и рассмотреть перспективы его развития и использования.

Важно отметить, что понятие «мультимедиа» в настоящее время используется даже людьми искусства — художниками, музыкантами (особенно теми, кто применяет в своем творчестве компьютеры). Термин этот ведет свое происхождение из истории развития информатики и напрямую связан с компьютерными технологиями. Например, прогноз погоды, который мы регулярно видим на экране телевизора, обильно снабжен элементами анима-

ции, возможно созданных с помощью того же компьютера, никому не приходит в голову назвать «мультимедиа». А тот же прогноз, с теми же элементами «оживления» различных природных явлений, но полученный посредством Интернета и просмотренный на мониторе компьютера, большинством однозначно будет классифицирован как «мультимедиа».

На раннем этапе развития компьютерной индустрии человек видел на экране монитора или печатающего терминала только цифры и буквы. Такая информация относилась к семиотическому (знаковому) типу и была обращена лишь к одному способу восприятия — вербальному. Этот способ передачи информации, в противоположность «мультимедиа», можно было бы назвать «мономедиа». После появления в компьютерах оборудования для записи и воспроизведения звука появилась возможность воздействовать на совсем другие органы чувств и расширилось количество способов передачи информации.

Следующий шаг — появление возможности передачи графического изображения в виде картинок, уже апеллировало к образному восприятию, а возможность воспроизведения движущегося изображения подключало к восприятию информации почти все органы чувств.

В настоящее время мало задействованными «каналами передачи информации» остаются разве лишь органы обоняния. Даже воздействия на органы осязания и вестибулярный аппарат человека с успехом применяются при использовании экспериментальных костюмов виртуальной реальности.

Таким образом, воспроизведение разного типа информации, обращенной к различным органам чувств и способам восприятия, и явилось попыткой, может быть и не совсем удачной, обозначить термином «мультимедиа», в противоположность раннему знаковому «мономедийному» способу общения человека и компьютера.

Рождение первого «мультимедийного» компьютера относят к 1984 г. Это был компьютер с графическим интерфейсом. Компьютер получил известное всем в дальнейшем название Macintosh и был изготовлен фирмой Apple Computer, выпускавшей до этого первые в мире популярные персональные компьютеры — Apple и Apple II. Впервые массовый пользователь получил возможность общаться с компьютером не только с помощью клавиатуры, но и поразившей всех «мыши». Вместо букв на черном экране пользователь увидел «иконки» (закладки), изображающие объекты операционной системы: мусорную корзину; папки, выдвигающиеся наподобие ящиков письменного стола; строки меню; символизирующий человеческую руку курсор.

С тех пор термин «графический интерфейс пользователя (GUI)» прочно занял свое место в лексиконе компьютерной индустрии, а использующие графику компьютеры сделали возможным массо-

вое их распространение. Создание графического интерфейса стимулировало развитие средств графического отображения. Спустя несколько лет появились цветные графические мониторы (EGA, VGA, SVGA) и изображение стало еще более реалистичным. Вслед за Macintosh возникли и другие, основанные на графическом интерфейсе, операционные системы. Они позаимствовали основные принципы работы с графическими элементами интерфейса у Macintosh, что послужило даже основой для скандалов и судебных разбирательств. Но для массового пользователя графический интерфейс по сегодняшний день не имеет альтернативы, и поэтому практически все современные операционные системы используют его и непрерывно совершенствуют.

Одновременно с развитием средств отображения графической информации происходило и развитие средств передачи звуковой информации. Вначале только компьютеры Macintosh имели встроенные средства воспроизведения звука. Но постепенно требования пользователей заставили и других производителей компьютеров наладить как массовый выпуск звуковых плат, так и компьютеров с предустановленными звуковыми возможностями.

И наконец, в 1989 г. компания Apple Computer, ставшая признанным лидером компьютерных новшеств, приступила к разработке технологии, позволяющей просматривать на экране компьютера движущееся изображение, названное «цифровым видео», вместе со звуковым сопровождением. Эта технология, выпущенная в свет в 1991 г. под названием QuickTime, и стала фундаментом явления, получившего широчайшее распространение под названием «мультимедиа».

Появление технологии QuickTime произвело огромное впечатление на широкую публику. Компьютер приобрел свойства телевизора и привлекательность его для массового пользователя возросла необычайно. Но если для обычных пользователей QuickTime означает лишь средство для просмотра конечного продукта — в основном различных мультимедиа-компакт-дисков (CD-ROM), то для специалистов — это в первую очередь набор стандартов и форматов, т.е. основа для производства цифрового видео, звука, анимации, графики — всего того, что по-английски называется media content. В последнее время также часто употребляется и еще один термин digital art — художественное творчество с использованием цифровых технологий.

Выдающуюся роль в популяризации идей «мультимедиа» и внедрении ее в массы сыграла корпорация Microsoft и ее операционная система Windows. Microsoft не отвергает, но и не повторяет программные разработки компании Apple Computer, а предлагает свои альтернативные решения по созданию стандартов и форматов «мультимедиа». Учитывая огромное влияние корпорации Microsoft на мировую компьютерную индустрию, несомненно, что в бли-

жайшие годы многие решения в области «мультимедиа» будут приниматься с учетом мнения этой компании.

Еще одной идейной предпосылкой, слагающей фундамент появления мультимедиа, считают концепцию организации памяти «MEMEX», предложенную в 1945 г. американским ученым Ваннивером Бушем. Она предусматривала поиск информации в соответствии с ее смысловым содержанием, а не по формальным признакам (по порядковому номеру, индексу или по алфавиту). Заложенная в ней идея нашла свою замечательную компьютерную реализацию и развитие в виде гипертекста, что явилось основой для создания гипертекстовых и мультимедийных систем.

Гипертекст можно представить как разбитую на группы информацию, соединенные ассоциативными (смысловыми) связями. Если значительная часть комбинируемой на основе гипертекста информации не является текстовой (связываются графика, звук, видео, анимация), то конечный продукт в этом случае часто называют гипермедиа (например, в атласных информационных системах — см. 5.3). Популярность идеи гипертекстовой организации информации заключается в ее простоте и соответствии процессу мышления. И поэтому практически любой мультимедиа-продукт в настоящее время обязательно содержит те или иные черты гипермедиа.

На начальной стадии своего развития «мультимедиа» не признавалась профессионалами. Сейчас напротив, трудно представить себе профессиональный персональный ПК без развитых средств мультимедиа. Уже в 1990 г. 12 ведущих фирм, представляющих совет по маркетингу продуктов мультимедиа, разработали спецификацию MPC (Multimedia Personal Computer), а в 1995 г. был принят стандарт MPC-3, который определяет минимальную базовую конфигурацию компьютера, на котором возможно воспроизведение мультимедиа-продуктов.

В России мультимедиа появилась примерно в конце 80-х годов, но не использовалась на домашних компьютерах ввиду их ограниченного количества, а применялась в основном специалистами-энтузиастами. Поэтому в газетах и журналах тех лет редко встречались статьи о мультимедиа. Но уже в 1993 г. многие начали понимать важность этого явления и осознавать ту роль, которую технологии мультимедиа предстояло сыграть в 90-е годы. Стали создаваться коллективы разработчиков мультимедиа-систем и конечных продуктов мультимедиа и появились потребители таких систем и продуктов.

В феврале 1993 г. состоялась конференция, на которой обсуждалось положение дел в области мультимедиа в России и перспективы развития этого нового направления. Годом начала бума домашнего мультимедиа на российском компьютерном рынке можно назвать 1994 г.

Немногим ранее, в 1992 г., Министерством образования РФ (тогда Госкомвуз России) была развернута первая межвузовская

научно-техническая программа «Мультимедиа технологии» и создана первая профессиональная инфостудия «ЭКОН», в которой были разработаны первые российские мультимедиа-продукты. В 1995 г. начат второй этап — программа «Мультимедиа в образовании», объединившая уже около двадцати коллективов из крупнейших университетов и научных центров, работу которых координировал Республиканский мультимедиа-центр (РМЦ). В результате этой деятельности были выполнены десятки законченных разработок, которые представлялись на международных и российских выставках и специализированных тематических конференциях. В том числе на крупнейших в мире CeBIT в Германии, Comdex Fall в США, Milia во Франции, ED-Media в Канаде и Австрии, Worldclidac в Швейцарии и др. Многие отечественные мультимедиа-продукты издаются в других странах.

В силу того что понятие мультимедиа является достаточно емким, в настоящее время используются три различных понимания этого термина:

- мультимедиа как идея, т.е. способ хранения, организации и передачи информации различного типа;
- мультимедиа-оборудование, которое позволяет работать с информацией различной природы и доставлять ее потребителю;
- мультимедиа-продукт, т.е. продукт, составленный из данных всевозможных типов, объединенных некоей общей идеей и представляющий интерес для пользователя.

Согласно приведенному выше делению удобно рассмотреть понятие мультимедиа с этих точек зрения.

Мультимедиа как идея. Мультимедиа-контент (цифровое представление медиа-данных) формируется на основе различных типов данных. Достаточно условно, но согласно установившемуся представлению, мультимедиа-контент можно представить как синхронизированное объединение двух потоков данных: видеоряда и аудиоряда.

Видеоряд состоит из следующих основных элементов данных:

- Текст. В мультимедиа-продуктах текст по прежнему играет основную роль при передаче потребителю семантической информации (мультимедиа-киоски, справочники, энциклопедии, электронные учебники и т.д.). Различают текст форматированный и неформатированный. Форматированный текст более выразительно передает содержание мультимедиа-документа за счет использования различных способов изображения текстового материала, но требует в несколько раз больше места для своего хранения в отличие от неформатированного текста. В сравнении с другими типами медиа-данных текст является самым простым типом и требует наименьших ресурсов для своего хранения.
- Статичные изображения (still images). К этому типу данных относятся: цифровые фотографии, отсканированные изображения,

изображения, подготовленные в графических редакторах. Метод, используемый для представления (хранения) изображения, называется форматом. В настоящее время существует более сотни форматов, что создает значительные сложности при одновременном их использования в одном мультимедиа-продукте. Большинство форматов допускают их взаимное преобразование без искажения информации. Статичные изображения могут требовать для своего хранения значительные объемы на носителе данных. Так, например, полноцветное изображение размером 640 × 480 точек занимает около 1 Мб. По этой причине большинство форматов предусматривают хранение изображений в сжатом виде, что уменьшает требуемый объем хранения в несколько раз.

• Анимация. Под анимацией обычно понимают последовательный показ рисованных статичных изображений. Каждое такое изображение называется кадром. Если изображения в соседних кадрах не сильно отличаются друг от друга, а частота показа кадров составляет 15 кадров в секунду или более, то в силу особенностей зрения человека создается иллюзия непрерывной смены изображения.

• Живое видео/кино (life video, movie). Живое видео по сути очень похоже на анимацию, но источником изображения являются объекты реального мира. Изображения фиксируются с помощью специального оборудования, например видеокамеры, и преобразуются в цифровой формат. Для нормального восприятия человеком живого видео требуется частота показа 24 (кино)/25 (телевидение) кадров в секунду. Хранение и обработка видео требуют значительных ресурсов. Так, например, цифровое представление 1 секунды видео с разрешением 640 × 480 занимает около 22 Мб и требует от компьютера, соответственно, такой же скорости передачи и обработки. Даже современные DVD-диски вместимостью 4 Гб в этом случае позволяют хранить всего 3 минуты видео. Видео, сравнимое по качеству и разрешению с телевизионным изображением, требует еще больших ресурсов (более 30 Мб/с). Ни один современный персональный компьютер (ПК) не в состоянии справиться с такой работой. По этой причине видеоданные всегда хранятся и передаются в сжатом виде. Средство, используемое для сжатия видео, называется кодеком (codec). Кодек является аналогом формата для статичных изображений. С ростом быстродействия ПК многие кодеки реализованы в виде программ и не требуют специального оборудования. В настоящий момент насчитывается более 30 типов различных кодеков. Методы сжатия видеокодеками основаны на следующих основных принципах: уменьшение количества информации за счет снижения качества (удаление несущественных деталей, сглаживание переходов, уменьшение количества цветов и т.д.); хранение только изменений от кадра к кадру, а не кадра целиком; сжатие данных внутри каждого кадра и т.п. За счет ис-

пользования кодеков достигается сжатие видео в несколько раз. Так, например, кодеки MPEG-2 и MPEG-4 позволяют поместить фильм продолжительностью 1,5 ч с приемлемым качеством на стандартном CD вместимостью 650 Мб.

• Двухмерная (sprites) и трехмерная (tween) анимации. Идея этого метода заключается в том, что результирующее изображение каждого кадра создается «на лету» программными средствами. Вся изобразительная сцена состоит из небольших объектов (спрайтов). Каждый спрайт является рисованным или синтезированным изображением. Движение и преобразование спрайтов определяет управляющая информация, которая задается посредством табулированных данных или с помощью математических функций. Достоинство данного метода заключается в малом количестве данных, требуемых для создания продолжительных отрезков видеоизображения.

• Виртуальная реальность. Этот тип данных позволяет описать объекты трехмерного мира и их взаимное расположение. Изображение генерируется «на лету» на основе описания трехмерных объектов и интерактивного взаимодействия с пользователем.

Аудиоряд включает следующие основные элементы:

• Оцифрованный звук (wave). Данный тип данных является цифровым эквивалентом аналоговой формы звука (электрического сигнала в усилителе или изменяющегося во времени давления воздуха, действующего на барабанную перепонку уха человека). Процесс оцифровки звука (дискретизация) состоит из последовательной фиксации амплитуды аналогового сигнала через определенные промежутки времени. Качество оцифрованного звука определяется следующими тремя параметрами: 1) частотой дискретизации (количеством отсчетов в секунду); 2) разрешением (количеством бит информации, выделяемым для фиксации амплитуды); 3) количеством звуковых каналов. Чем выше частота дискретизации и выше разрешение, тем качественнее оцифрованный звук, но и количество ресурсов, требуемых для его хранения, также больше. Стандартное значение этих параметров для музыкального CD: частота дискретизации — 44 100 отсчетов в секунду, разрешение — 16 бит (65 536 возможных значений амплитуды), количество звуковых каналов — 2 (стерео). Например, 10 с оцифрованного звука в этом формате занимают 1,7 Мб. Для уменьшения хранимого объема звука, по аналогии с видеоизображениями, используются аудиокодеки.

• MIDI (Musical Instrument Digital Interface) — цифровой интерфейс музыкальных инструментов. Принципиально другой тип звуков. Здесь звуки музыкальных инструментов и звуковые эффекты синтезируются электронными синтезаторами. Сами MIDI-данные содержат всего лишь управляющую информацию для синтезатора звуков: тип инструмента, высоту звука, длительность звука и

т.д. MIDI-звуки включают музыку (одно- и многоголосую) и звуковые эффекты, в том числе не имеющие естественных аналогов. Достоинство MIDI-данных — небольшой объем.

• Синтезируемый звук. Звуки и звуковые эффекты, создаваемые «на лету» на основе математических методов и библиотек образцов звуков. Примером может служить синтез речи, хотя в настоящее время успехи в этой области являются относительными.

Мультимедиа-оборудование. Практически все периферийное оборудование современного ПК можно отнести к разряду мультимедийного, поскольку оно участвует в отображении, обработке или подготовке медиа-данных. Кратко перечислим основные устройства периферийного оборудования.

• Устройства хранения. Устройства этого типа предназначены для хранения мультимедиа-данных. Информационный носитель в этих устройствах отличается большой вместимостью и низкой стоимостью единицы информации. Основные устройства такого типа CD и DVD. Оба типа устройств относятся к классу оптических, в которых информация на съемном носителе кодируется посредством чередования отражающих и не отражающих свет участков. Для считывания информации применяется инфракрасный лазер и оптический датчик отраженного света. Устройства этого типа выпускаются как только для чтения, так и для чтения и записи. Вместимость CD составляет 700 Мб, DVD — 4 Гб и более.

• Видеокарты. К устройствам данного типа относятся устройства захвата и оцифровки видеосигнала (capture devices), TV-тюнеры, преобразователи сигналов VGA-TV, MPEG-проигрыватели. Устройства захвата и оцифровки принимают видеосигнал от видеомагнитофона, телевизора или видеокамеры, производят дискретизацию сигнала и позволяют сохранять отдельные кадры на жестком диске. Дорогие устройства этого класса содержат встроенный кодек, что позволяет им сжимать поступающий сигнал и сохранять всю видеопоследовательность на диске в реальном времени. TV-тюнеры преобразуют аналоговый телевизионный видеосигнал, поступающий по сети кабельного телевидения или от антенны и позволяют просматривать телевизионные программы на экране монитора. Преобразователи VGA-TV изменяют изображение, подаваемое на экран монитора, в аналоговый телевизионный сигнал, пригодный для ввода в телевизионный приемник. MPEG-проигрыватели позволяют воспроизводить видеоизображения (фильмы), записанные на DVD в формате MPEG, а также выводить видеосигнал на телевизионный приемник.

• Звуковые карты. Эти устройства предназначены для ввода, вывода и обработки аудиосигнала. Современная звуковая карта содержит следующие основные компоненты: микрофонный усилитель; аналого-цифровой преобразователь (АЦП) входных аналоговых звуковых сигналов в цифровую форму; аппаратно-реали-

зованные кодеки; цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) цифрового звука в аналоговый сигнал для вывода на внешние устройства; стереофонический выходной усилитель; синтезатор музыкальных звуков, удовлетворяющий стандарту MIDI; цифровой сигнальный процессор DSP (или расширенный сигнальный процессор ASP) для воспроизведения ряда специальных звуковых эффектов (объемный звук, эхо и т.д.).

Мультимедиа-продукт. Создание любого мультимедийного продукта включает несколько этапов:

- разработка идеи мультимедийного продукта. Начальный этап, на котором определяется назначение продукта, круг потребителей, исследуется рынок аналогов, формируется состав разработчиков;
- создание сценария. Детальная проработка сюжета, отдельных элементов медиа-данных и связей между ними;
- создание макета. Этап «обкатки» будущего мультимедиа-продукта. Связывание различных разделов медиа-данных на работающем макете, уточнение сценария, «проигрывание» различных сюжетов использования продукта;
- подготовка материала. На этом этапе производится окончательный сбор и обработка материалов в соответствии с требованиями сценария и макета. Этап может быть достаточно дорогостоящим, поскольку к работе могут привлекаться профессиональные дизайнеры, художники, кино-, фото-, звукооператоры, возможно приобретение или аренда профессионального оборудования;
- техническая реализация проекта — окончательная реализация мультимедиа-продукта и его подготовка к изданию.

Техническая реализация проекта, т.е. создание полноценного мультимедиа CD или DVD, может оказаться достаточно трудоемким и длительным процессом. На данном этапе очень важно выбрать ту среду разработки, которая наиболее полно отвечает поставленной цели, поскольку неверно выбранное решение обязательно приведет к потере времени и средств.

Не вдаваясь в подробности, можно утверждать, что существуют два основных способа создания мультимедийного приложения: использовать специализированные средства разработки или поручить эту работу программистам для создания мультимедийного приложения с «нуля». Если речь идет о презентации, то второй способ является слишком медленным и дорогостоящим и выбор однозначен в пользу специализированных средств подготовки. В остальных случаях возможны оба варианта. Наилучшим решением часто является применение готового пакета и расширение его возможностей за счет использования языков программирования, но такое решение возможно не для всех специализированных пакетов.

Бóльшую часть мультимедийных продуктов можно отнести к одной из следующих категорий:

- Web-приложения;

- презентации;
- прототипы приложения;
- обучающие программы;
- гипертекстовые/гипермедийные приложения;
- игры.

За исключением последнего пункта для остальных категорий приложений в большинстве случаев можно подобрать подходящий специализированный пакет.

Вследствие быстрого развития мультимедийных технологий и увеличения к ним интереса со стороны непрофессионалов в области мультимедиа (создание малотиражной продукции рекламно-информационного характера, каталогов, справочников, презентаций) на рынке появилось большое количество специализированных систем, позволяющих этой группе людей быстро и просто создавать мультимедийные приложения. Такие системы получили специальное название — авторское средство разработки или авторская система.

Обычно для разработки интерактивного мультимедийного приложения с использованием авторской системы требуется значительно меньше времени и средств, чем с использованием средств программирования. Однако на подготовку мультимедиа-материала (текста, аудио- и видеоряда) авторская система не влияет и выигрыш во времени при подготовке конечного продукта получается за счет ускоренной компоновки материала и организации связей.

Для классификации авторских систем используется понятие авторской метафоры — методологии, в соответствии с которой авторская система выполняет свои задачи. Наиболее полной классификацией авторских систем в настоящее время является классификация, предложенная Джеми Сигларом и выделяющая восемь типов авторских систем, использующих следующие метафоры:

1) язык сценариев (Scripting Language);
2) изобразительное управление потоком данных (Icon/Flow Control);
3) кадр (Frame);
4) карточка с языком сценариев (Card/Scripting);
5) временна́я шкала (Timeline);
6) иерархические объекты (Hierarchical Object);
7) гипермедиа-ссылки (Hypermedia Linkage);
8) маркеры (Tagging).

Приведем краткую характеристику каждого типа авторских систем.

Язык сценариев наиболее близок по форме к традиционному программированию. Этот объектно-ориентированный язык программирования с помощью специальных операторов описывает взаимодействие элементов мультимедиа: расположение активных зон, назначение кнопок, синхронизацию аудио- и видеопотоков и т.д.

Использование данного метода несколько увеличивает период разработки (требуется относительно большое время на изучение возможностей системы), но в результате можно получить более мощное взаимодействие элементов. Примеры систем, основанных на языке сценариев:

— Ten Core Language (фирма Computer Teaching);
— Media View (фирма Microsoft).

Изобразительное управление потоком данных обеспечивает минимальное время разработки; лучше всего подходит для быстрого создания прототипа проекта или выполнения задач, которые необходимо завершить в кратчайшие сроки. Его основа — палитра пиктограмм (Icon Palette), содержащая всевозможные функции взаимодействия элементов программы, и направляющая линия (Flow Line), которая показывает фактические связи между пиктограммами. Наиболее развитые пакеты этого типа, такие как Authorware или IconAuthor, являются чрезвычайно мощными и обладают большим потенциалом.

Главное достоинство этого метода состоит в том, что он позволяет ускорить работу над дизайном приложения. Вся работа сводится к перемещению пиктограмм из палитры на бланк страницы и заполнению связанных с ними диалоговых окон, определяющих поведение объектов и их связь с другими компонентами проекта.

Применение авторских систем этого типа — наиболее подходящий путь для построения мультимедийных приложений со сложными функциями взаимодействия, подобных программам машинного обучения и мультимедийным киоскам.

К системам, основанным на изобразительном управлении потоком данных, относятся:

— Authorware (фирма Macromedia);
— IconAuthor (фирма Aim Tech);
— TIE (фирма Global Information Systems).

Кадр подобен методу изобразительного управления потоком данных. В него тоже обычно включается палитра пиктограмм (Icon Palette), однако связи между пиктограммами могут представлять собой сложные ветвящиеся алгоритмы. Авторские системы, построенные по этому методу, отличаются высокой скоростью исполнения. Самые развитые программы такого рода позволяют использовать для описания сценария компилируемые языки.

К системам, основанным на кадре, относятся:

— Quest (фирма Allen Communication);
— Ten Core Producer (фирма Computer Teaching);
— CBT Express (фирма Aim Tech).

Карточка с языком сценариев — мощный по своим возможностям (через включенный язык сценариев) метод, требующий точной и жесткой структуризации сюжета. Он превосходно подходит для гипертекстовых приложений. Возможности программ этого типа

легко расширяемы с помощью модулей DLL. Такие системы часто используются для разработки прикладных программ общего назначения, а самые развитые из них позволяют большинство объектов, включая графические элементы, создавать внутри самой системы. Многие развлекательные и игровые программы проходят этап создания прототипа по данному методу.

Главный недостаток авторских систем на основе карточки с языком сценариев — невозможность обеспечить точное управление синхронизацией и выполнение параллельных процессов. Наилучшее применение для этих авторских систем — подготовка приложений, которые можно логически организовать в виде отдельных карточек с гипертекстовыми связями между ними.

Примеры систем, основанных на карточке с языком сценариев:
— HyperCard (фирма Apple Computer);
— Multimedia ToolBook (фирма Asymetrix).

Временна́я шкала — по структуре пользовательского интерфейса авторская система на основе этого метода похожа на звуковой редактор для многоканальной записи. Синхронизируемые элементы показываются на различных горизонтальных «дорожках» с рабочими связями, отраженными через вертикальные столбцы. Основными элементами данного метода являются «труппа» (cast) — набор объектов и партитура (score) — покадровый график событий, происходящих с этими объектами. Основное достоинство метода заключается в том, что он позволяет написать сценарий поведения для любого объекта. Каждое появление объекта из труппы в одном из каналов партитуры называется спрайтом (sprite) и также считается самостоятельным объектом. Для управления спрайтами в зависимости от действий пользователя в пакет встраивается объектно-событийный язык сценариев (Scripting language). Подобные системы используются при создании многих коммерческих прикладных программ.

Авторские системы на базе временно́й шкалы лучше всего подходят для подготовки приложений с интенсивным использованием мультипликации или таких, где требуется синхронизация различных мультимедийных составляющих. Эти системы легко расширяются с целью реализации дополнительных функций (таких как гипертекст) через модули типа DLL. Их основной недостаток — сложность освоения языка сценариев.

К системам, основанным на временно́й шкале, относятся:
— Director (фирма Macromedia);
— Power Media (фирма RAD Technologies).

Наиболее известная система, построенная по данному методу и являющаяся самой популярной авторской системой мультимедиа, — Macromedia Director. С ее помощью разрабатываются достаточно сложные коммерческие приложения и даже компьютерные игры.

Иерархические объекты — здесь, как и в объектно-ориентированном программировании, применяется метафора объекта. Метод достаточно сложен для новичков, но благодаря визуальному представлению объектов и информационных составляющих мультимедийного проекта позволяет реализовать достаточно сложные и развитые сюжеты. Системы этого типа имеют довольно высокую стоимость и используются в основном профессиональными разработчиками мультимедийных приложений.

К системам, основанным на иерархических объектах, относятся следующие:

— mTropolis (фирма mFactory);
— New Media Studio (фирма Sybase);
— Fire Walker (фирма Silicon Graphic Studio).

Гипермедиа-ссылки. Метафора этого метода подобна метафоре кадра, в которой показываются концептуальные связи между элементами, однако ей недостает визуального представления связей. Авторские системы, построенные по этому методу, весьма просты в освоении.

При использовании авторских систем с гипермедиа-ссылками можно создавать разнообразные гипертекстовые приложения с элементами мультимедиа. Они имеют те же области применения, что и системы, построенные по методу «Карточка с языком сценариев», но более гибки.

К системам, основанным на гипермедиа-ссылках, относятся:

— HyperMethod (фирма Prog. Systems AI Lab);
— Formula Graphic (фирма Harrow Media).

Маркеры (теги). Системы на базе маркеров используют специальные команды — теги в текстовых файлах (например, SGML/HTML и WinHelp), чтобы связать страницы для обеспечения взаимодействия и объединения элементов мультимедиа. Они имеют, как правило, ограниченные возможности по отслеживанию связей и лучше всего подходят для подготовки диалоговых справочных материалов, подобных словарям и руководствам. Активно используются для подготовки Интернет-страниц.

К системам, основанным на маркерах, относятся:

— WebAuthor (фирма Quarterdeck);
— FrontPage (фирма Vermeer);
— HoTMetaLPro (фирма SoftQuad);
— Adobe PageMill (фирма Adobe).

Применения мультимедиа. Заметим, что в экологии и географии мы давно сталкивались с элементами того, что сейчас стали называть мультимедиа. Так, в атласах карты сочетались с пояснительным текстом, графиками, фотографиями и другими элементами, хотя естественно, что использование звука, анимации изображений и фильмов вывело нас на качественно новый уровень комплексирования различных возможностей характеристики простран-

ственных явлений. Неудивительна поэтому и большая доля работ в области мультимедиа, которая связана с проектами создания электронных атласов [C. Armenakis, E. M. Siekierska, 1991; J.-L. Raveneau, M. Miller, Y. Brousseau, C. Dufour, 1991; F. Ormeling, 1993; E. M. Siekierska, 1993 и др.].

Из других географических сюжетов [В. С. Тикунов, 1995] наиболее очевидны политико-географические исследования, когда анализ результатов выборов при многопартийной системе ведется не только на основе серий карт, характеризующих проценты голосов, поданных за ту или иную партию, но и дополняется картографическим фильмом — как менялось поведение электората во времени перед выборами. Весьма полезно для анализа отображение корреляций между степенью активности партии в том или ином регионе и количеством поданных за нее голосов. Для ознакомления с широким спектром партий целесообразно создание фонда программных положений каждой партии, которые могут озвучиваться в виде дикторского текста. Легко получить серию фотографий лидеров партий с их краткими биографическими сведениями. Полезно хранить также фрагменты программных выступлений. Для этого удобно использовать специальное меню в виде карты страны с пунсонами городов и указанием дат, где происходили важные для партии события. Подведя курсор к этому месту и указав временной срез, когда происходило событие, на экране дисплея воспроизводятся фрагменты фильма о нем, состав задействованных политиков с фрагментами их выступлений, принятых постановлений, документов и т. д., озвученных в виде дикторского текста.

Обратимся к другой сфере исследований — финансовому рынку. Так, например, существуют информационные системы котировок акций компаний на биржах и внебиржевом рынке. Здесь весьма полезно в виде таблиц и графиков иметь перед глазами их курсовую стоимость за какой-то промежуток времени. Характеристика компаний (виды деятельности, уставной капитал, характеристика, балансовая стоимость, их оценка независимыми экспертами и т. д.) может быть сообщена в виде текста. Пригодятся также копии наиболее важных публикаций прессы.

Нечто похожее подойдет и для банков. В этом случае показывается размещение сети банков на фоне карты города с характеристикой, например, депозитных процентных ставок (по вкладам), сроков прохождения платежей, спектра банковских услуг, условий кредитования, обменных курсов покупки и продажи валюты на текущий день, графики их изменений за последний месяц, а в качестве звукового сопровождения может быть использована информация об уставном капитале банков, их учредителях и т. д.

Еще бóльшие возможности предоставляет мультимедиа для обеспечения туризма на всех уровнях, начиная с международного и

заканчивая краеведением. Для ознакомления со страной в целом полезна ее общегеографическая характеристика и просмотр серий карт, фотографий наиболее примечательных и исторических мест. Рекомендации экспертов по выбору маршрутов, оценки стоимости туров, предлагаемых разными компаниями, могут дополнять характеристику стран в виде текста.

Прототипом таких систем можно считать широко известный пакет PC GLOBE, представляющий сведения о населении, экономике, флаге, гербе, гимне каждой страны. Добавив музыкальное сопровождение характерными для страны мелодиями, дикторским текстом о наиболее важных исторических событиях, а также о современной политической и экономической ситуации, мы получаем систему гораздо более привлекательную для широких масс населения.

Информация о наиболее примечательных местах, зданиях, церквях, памятниках природы, живописных ландшафтах в виде фотографий может сопровождать просмотр карты региона или города. Не лишними будут базы данных о гостиницах, автозаправках, ресторанах и других объектах, связанных с туризмом. Причем звуковое сопровождение может быть представлено не только текстами, но и музыкой или, например, звуками падающей воды на фоне фотографии водопада.

Перспективы мультимедиа в географии и экологии. Уровень обучения поднимется на качественно иной уровень, когда наряду с традиционным учебником появится и электронный, позволяющий в соответствующих разделах просмотреть фильм, например, о механизме схода лавин и селей, оползней, увидеть различные формы рельефа как трехмерные изображения под разным углом зрения, самостоятельно наметить и мгновенно получить профиль или разрез для характеристики геологического строения территории. Студенты-биогеографы смогут идентифицировать фотографии птиц с их голосами, упорядоченными по зонам их обитания, характеризуемых в виде карты. Более того, в перспективе откроются и новые возможности воздействия на органы обоняния и осязания, о чем впервые упомянул Р. Ф. Тейлор в своей работе [D. R. F. Taylor, 1991. — P. 7]. Изучая лекарственные растения, биогеографы смогут не только просмотреть карты их ареалов, но и прослушать лекцию об их свойствах, просмотреть их фотографии, а также уловить запах валерьяны, мяты или ландыша, которые создаются специальными распылителями и достаточно быстро ликвидируются мощными вентиляторами.

Набор перечисленных сюжетов может быть легко расширен и видоизменен, причем здесь найдут свое применение и пока еще мало используемые средства когнитивной или познавательной графики, наталкивающей на постановку или решение каких-либо содержательных задач. Это могут быть не только специальные те-

матические карты, но и «мысленные карты», анаморфозы и др. Так, для развития сети туристических маршрутов весьма полезен анализ «коллективного мнения» об атрактивности регионов или стран, сложившегося в представлении тех или иных групп населения.

Большое количество сюжетов таких карт: экономических, политических предпочтений, оценок состояния окружающей среды в США по мнению студентов из штата Иллинойс или предпочтительности жизни в странах Европы с точки зрения шведов, итальянцев, немцев и других можно найти в книге [P. Gould, R. White, 1974]. Разнообразные примеры имеются также в работах [L. Bielawski, R. Lewand, 1991; A. Fonseca, C. Gouveia, A. S. Camara, F. C. Ferreira, 1992; B. J. Haan, P. Kahn, V. A. Riley, J. H. Coombs, N. Meyrowitz, 1992; P. Mogorovich, C. Magnarapa, M. V. Masserotti, S. Mazzotta, 1992; C. Armenakis, 1993; H. Asche, C. M. Herrmann, 1993; A. Fonseca, C. Gouveia, J. Raper, F. C. Ferreira, A. S. Camara, 1993; N. H. Huffmann, 1993; N. D. Polydorides, 1993; D. Hadden, 1994 и др.].

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию «мультимедиа».
2. Когда появились первые мультимедиа-системы в мире и России?
3. Что такое мультимедиа как идея?
4. Охарактеризуйте мультимедиа-оборудование.
5. Что понимается под термином «мультимедиа-продукт»?
6. Охарактеризуйте авторские средства разработки мультимедиа.
7. Приведите собственный географический сюжет, где полезно применение средств мультимедиа.
8. Каковы перспективы применения мультимедиа?

Глава 4

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ И ПОДДЕ́РЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ГЕОИНФОРМАТИКЕ

4.1. Технологии искусственного интеллекта и экспертные системы

Технологии искусственного интеллекта. Одной из основных задач ГИС, которую ставят перед собой исследователи, является получение новых знаний, представлений о природе пространственных данных. В то же время пользователи иногда недооценивают возможности ГИС в области поддержки принятия решений, которые эти системы могут обеспечивать, уделяя основное внимание главным образом представлению, в частности визуализации данных. Ценность географической информации в системах поддержки принятия решений становится особенно значимой, когда в ГИС включаются программные средства, базирующиеся на технологиях и методах ***искусственного интеллекта*** (ИИ) — «раздела информатики, изучающего методы, способы и приемы моделирования и воспроизведения с помощью ЭВМ разумной деятельности человека, связанной с решением задач» [Математический.., 1988].

Идея создания искусственного подобия человеческого разума для решения сложных задач и моделирования мыслительной способности витала в воздухе с древнейших времен. Впервые ее выразил Р.Луллий (ок. 1235 — ок. 1315), который еще в XIV в. пытался создать машину для решения различных задач на основе всеобщей классификации понятий.

В XVII в. Г.Лейбниц (1646—1716) и Р.Декарт (1596—1650) независимо друг от друга развили эту идею, предложив универсальные языки классификации всех наук. Эти идеи легли в основу теоретических разработок в области создания ИИ.

Развитие ИИ как научного направления стало возможным только после создания ЭВМ. Это произошло в 40-х годах XX в. В это же время Н.Винер (1894—1964) создал основополагающие работы по новой науке — кибернетике.

Термин «искусственный интеллект» был предложен в 1956 г. на семинаре с аналогичным названием в Стенфордском университете (США). Семинар был посвящен разработке логических, а не вычислительных задач.

В книге [S. J. Russell, P. Norvig, 1995] история ИИ разделена на периоды: 1943—1956 гг. — период созревания ИИ; 1952—1963 гг. — этап раннего энтузиазма и великих ожиданий; 1966—1974 гг. — период первых разочарований, основной причиной которых явился типичный «комбинаторный взрыв» в задачах ИИ. Провал «кавалерийских атак» в форме программ типа GPS (общий решатель задач — General Problem Solver) заставил исследователей строить системы более специализированные и основанные на достаточном объеме экспертных знаний, т.е. для того, чтобы создаваемая система ИИ смогла решать трудные задачи, разработчик примерно должен знать, на какой базе знаний это реализуемо. Соответственно, период с 1969 г. явился временем нового энтузиазма, а именно периодом создания ***экспертных систем*** (ЭС).

Экспертные системы были первыми коммерчески значимыми продуктами в области ИИ. Важность таких средств ИИ, как экспертные системы и нейронные сети, речь о которых пойдет далее, состоит в том, что они существенно расширяют круг практически важных задач, которые можно решать на компьютерах, и их решение приносит значительный экономический эффект.

Результатом успешного развития методов и технологий ИИ стало создание многочисленных приложений, ориентированных на конечных пользователей, включая специалистов в области ГИС. Интеграция систем ИИ с ГИС особенно эффективна в задачах оценки, контроля и принятия решения. В этом контексте развитие нейронных сетей, эволюционных вычислений (автономное и адаптивное поведение компьютерных приложений и робототехнических устройств), нечеткой логики, самоорганизующихся СУБД, обработки изображений, экспертных систем и ряда других технологий ИИ связано сегодня с расширением функциональных возможностей в части поддержки принятия решений (см. 4.3). Есть все основания полагать, что в следующее поколение программного обеспечения ГИС будут встроены элементы ИИ.

В настоящее время функциональные возможности пространственного анализа в ГИС еще относительно слабы. В математике средства многомерного пространственного анализа постоянно развиваются и хорошо обеспечены методами исследования геометрии, топологии и других свойств абстрактных объектов, их множеств и структур. Поэтому их широкое внедрение в геоинформационные технологии становится все более актуально и осуществляется по следующим направлениям:

- расширение функциональной полноты традиционных методов, технологии и программных средств пространственного анализа в ГИС за счет использования возможностей развитых математических методов анализа многомерных данных;
- развитие новых методов, основанных на интеллектуальных вычислительных технологиях, как базы для создания следующего

поколения удобных и более сильных инструментальных программных средств анализа геоданных в условиях все возрастающих объемов первичной информации;

• создание новых моделей данных, информационных технологий и программных средств, специально предназначенных для многомерного анализа данных, моделирования и прогноза территориально распределенных процессов и обеспечивающих интеграцию с традиционными ГИС.

Первое направление характерно для ГИС практически с момента их появления, второе и третье связаны с фундаментальными исследованиями на стыке математики, информатики и нейрофизиологии. За последние 10 лет исследователи разработали целый класс статистических и адаптивных методов анализа многомерных данных, получивших название *нейросетевых методов* (см. 4.2). Нейросетевые методы применяются не только для анализа данных, но и, что существенно, для построения моделей процессов, разворачивающихся в многомерных пространствах. Уже сегодня предлагаются интересные классы нелинейных моделей, построенных на основе статистического анализа первичных данных. При этом средства информационных технологий используются для организации доступа и предобработки первичных данных, хранящихся в ГИС и БД. Статистические и адаптивные методы анализа геоданных позволяют улучшить качество исходной информации и построить нейросетевую модель, адекватную как по назначению и качеству исходных данных, так и по суждениям экспертов и задачам исследователей.

Экспертные системы. В последние годы в геоинформатику стали широко внедряться экспертные системы. Экспертную систему можно определить как «систему искусственного интеллекта, использующую знания из сравнительно узкой предметной области для решения возникающих в ней задач, причем так, как это делал бы эксперт-человек, т.е. в процессе диалога с заинтересованным лицом, поставляющим необходимые сведения по конкретному вопросу» [Экспертные.., 1987. — С. 5].

Экспертные системы используются для решения так называемых неформализованных задач, общим для которых является следующее:

• задачи не могут быть выражены в числовой форме;

• цели нельзя выразить в терминах точно определенной целевой функции;

• не существует алгоритмического решения задач;

• если алгоритмическое решение есть, то его нельзя использовать из-за ограниченности ресурсов (времени, памяти).

Кроме того, неформализованные задачи обладают ошибочностью, неполнотой, неоднозначностью и противоречивостью как исходных данных, так и знаний о решаемой задаче.

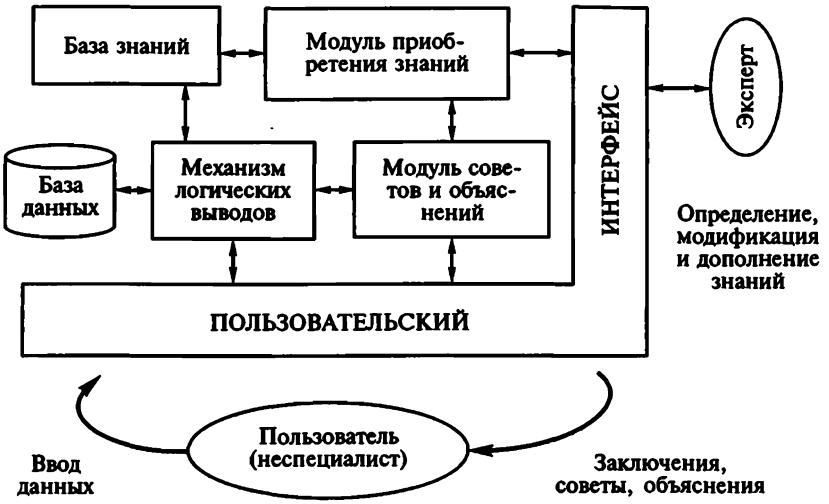


Рис. 43. Базовая структура экспертной системы

Упрощенная базовая структура ЭС представлена на рис. 43.

Основу ЭС составляет ***база знаний*** (БЗ) о предметной области, которая накапливается в процессе построения и эксплуатации ЭС. Накопление и организация знаний — важнейшее свойство всех экспертных систем.

Знания в работах по ИИ принято разделять на предметные, или общедоступные, и индивидуальные, или эмпирические [Построение.., 1987; Дж. Элти, М. Кумбс, 1987]. К общедоступным знаниям относятся наборы сведений, например в учебниках и другой литературе, а вот индивидуальные знания зачастую носят эмпирический характер, основанный на правилах и подходах, которые эксперт иногда даже не может четко или однозначно сформулировать — их называют эвристиками.

Если при традиционном процедурном программировании вычислительной системе необходимо указать, что и как она должна сделать, то специфика ЭС состоит в том, что используются механизмы автоматического рассуждения (вывода) и «слабые методы», такие как поиск и эвристика.

В ЭС, способных самообучаться на основе накопленного опыта, анализа, контроля и принятия решений, в процессе исследования явлений реального мира появляются как бы знания второго уровня, или метазнания.

Существует несколько способов описания знаний.

В так называемых ***фреймовых моделях*** фиксируется жесткая структура информационных единиц, которая называется ***протофреймом***. В общем виде она выглядит следующим образом:

(Имя фрейма:
Имя слота 1 (значение слота 1),
Имя слота 2 (значение слота 2),
.....
Имя слота K (значение слота K)).

Значением ***слота*** может быть практически что угодно (числа или математические соотношения, тексты на естественном языке или программы, правила вывода или ссылки на другие слоты данного фрейма или других фреймов). В качестве значения слота может выступать набор слотов более низкого уровня, что позволяет во фреймовых представлениях реализовать «принцип матрешки».

При конкретизации фрейма ему и слотам присваиваются конкретные имена и происходит заполнение слотов. Таким образом, из протофреймов получаются ***фреймы-экземпляры***. Переход от исходного протофрейма к фрейму-экземпляру может быть многошаговым, за счет постепенного уточнения значений слотов.

Поясним суть фреймового представления знаний на примере оценки состояния природной среды с точки зрения ее антропогенной трансформации и прежде всего загрязнения [В.С.Тикунов, 1989]. Образуем протофрейм:

(Состояние природной среды:
выбросы вредных веществ в атмосферу (значение слота 1),
загрязнение подземных и поверхностных вод (значение слота 2),
состояние геологической среды (значение слота 3),
состояние почвенного покрова (значение слота 4),
состояние растительного и животного мира (значение слота 5)
.....)

Каждый слот кроме имени может иметь одно или несколько значений (качественных или количественных), например, «выбросы вредных веществ предприятием в атмосферу» → «изобутилен», «200», «600», «400», «600»; «этиленгликоль», «40», «70», «60», «80» и т.д. При характеристике выбросов изобутилена, этиленгликоля и других загрязняющих веществ первое числовое значение может определять фоновые, второе — максимальные, третье — реальные концентрации, а четвертое — предельно допустимую концентрацию. В качестве слота могут использоваться сложные структуры, включающие иерархию слотов более низкого порядка.

Так, в слот «выбросы вредных веществ в атмосферу» можно включить слот «состояние атмосферы», который, в свою очередь, будет характеризоваться слотами: «скорость ветра», «распределение температур», «стратификация атмосферы» и т.д. Изменяя содержание слотов, преобразуется вся семантическая структура в зависимости от конкретных целей, например связанных с выработкой рекомендаций по охране природной среды.

В ***продукционных моделях***, наиболее распространенных в настоящее время, знания представляются правилами вида

$$(i);\ P;\ A \to B;\ Q, \tag{4.1}$$

где i — имя ***продукции***, с помощью которого данная продукция выделяется из всего множества продукций; $A \to B$ — ядро; P — условие применимости ядра продукции; Q — критерий, описывающий постусловия продукции.

В качестве имени может выступать некоторая лексема, отражающая суть данной продукции (например, «размещение завода в пункте (i)»), или порядковый номер продукций в их множестве, хранящемся в памяти системы.

Основным элементом продукции является ее ядро: $A \to B$. Интерпретация ядра продукции может быть различной и зависит от того, что стоит слева и справа от знака секвенции $\to$. Обычное прочтение ядра продукции выглядит так: ЕСЛИ A, ТО B, более сложные конструкции ядра допускают в правой части альтернативный выбор, например, ЕСЛИ A, ТО B_1, ИНАЧЕ B_2. Секвенция может истолковываться в обычном логическом смысле как знак логического следования B из истинного A (если A не является истинным выражением, то о B ничего сказать нельзя). Возможны и другие интерпретации ядра продукции, например A описывает некоторое условие, необходимое для того, чтобы можно было совершить действие B.

Элемент P — условие применимости ядра продукции, обычно представляет собой логическое выражение (как правило, предикат). Когда P принимает значение «истина», ядро продукции активизируется. Если P «ложно», то ядро продукции не может быть использовано.

Критерий Q описывает постусловия продукции. Они актуализируются только в том случае, если ядро продукции реализовалось. Постусловия продукции описывают действия и процедуры, которые необходимо выполнить после реализации B. Выполнение Q может происходить сразу после реализации ядра продукции.

При использовании продукционных моделей у систем, основанных на знаниях, имеется возможность:

- применения простого и точного механизма использования знаний;
- представления знаний с высокой однородностью, описываемых по единому синтаксису.

Эти две отличительные черты и определили широкое распространение методов представления знаний правилами.

Программные средства, оперирующие со знаниями, представленными правилами, получили название ***продукционных систем*** (или систем продукции) и впервые были предложены А. Постом в 1941 г.

В качестве примера применения «продукции» рассмотрим задачу, сформулированную по аналогии с примером из книги

[И.А.Портянский, 1989]. Допустим, требуется найти место для размещения завода (A) по производству алюминия (объем производства — 100 тыс. т в год). Для этого желательно выполнение следующих условий:

P_1 — залежи бокситов удалены не более чем на 500 км;

P_2 — добыча бокситов не менее 400 тыс. т в год;

P_3 — производство из бокситов не менее 200 тыс. т глинозема;

P_4 — наличие значительных энергоресурсов;

P_5 — район размещения завода — Северный Кавказ;

P_6 — город, где будет находиться завод, должен обеспечить полное укомплектование персоналом (700 чел.).

«Продукция», описывающая ситуацию для пункта (i), такова:

$$(i);\ P\ \&\ P_6\ (N > 700),\ A \rightarrow B,\ Q,$$

где P определяет выполнение первых пяти условий размещения предприятия (A), т.е.

$$P = P_1\ \&\ P_2\ \&\ P_3\ \&\ P_4\ \&\ P_5;$$

P_6 определит, достаточно ли свободных трудовых ресурсов (более 700 чел.), B фиксирует пригодность пункта (i) для размещения завода, а Q определяет условия в связи с тем, что в пункте i будет завод.

Применение «продукции» упрощает диалог и объяснения пользователю, почему принято то или иное решение. Соответствующие примеры показаны в книге [И.А.Портянский, 1989]. Для подчеркивания сильных сторон фреймов и «продукций» возможен их синтез [Г.С.Поспелов, Д.А.Поспелов, 1985], например «продукции» в качестве слотов во фреймах.

Важной особенностью экспертных систем является возможность работать с «нечеткими» данными [L.A.Zadeh, 1965; Нечеткие.., 1986; C.Rolland-May, 1987; В.С.Тикунов, 1989], но и, что самое главное, с «нечеткими» знаниями. Для этого применяются понятия ***нечеткой логики*** — надмножества булевой логики, которая была расширена в целях обработки концепции частичной правды — значения истинности между «полностью истинным» и «полностью ложным». *Нечеткая логика* была введена доктором Л.А.Заде в 60-х годах XX в. как способ моделирования неопределенностей естественного языка.

Основная идея Л.А.Заде состояла в том, что человеческий способ рассуждений, опирающийся на естественный язык, не может быть описан в рамках традиционных математических формализмов. Этим формализмам присуща строгая однозначность интерпретации, а все, что связано с использованием естественного языка, имеет многозначную интерпретацию. С самого начала основная прагматическая цель Л.А.Заде — создание аппарата, способного моделировать человеческие рассуждения и объяснять человеческие приемы принятия решений в ходе решения различных задач,

привлекла в эту область многочисленную армию прикладников. Идеи Л. А. Заде и его последователей находят применение при создании систем, понимающих тексты на естественном языке, при создании планирующих систем, опирающихся на неполную информацию, при обработке зрительных сигналов, при управлении техническими, социальными и экономическими системами. Используя комбинации элементов знаний, можно прийти к вполне определенным заключениям, т. е. даже на основе ненадежных данных есть возможность получать правдоподобные выводы. «Нечеткость» определений, которыми оперирует географ, ведет к «нечеткости» знаний. Например, обратившись к понятию «широкая река», мы отчетливо представляем, что для разных людей этот размер может варьировать в значительных пределах. Для характеристики фактов используется *нечеткая логика*, разработаны коэффициенты уверенности для измерения степени доверия к любому заключению [Экспертные.., 1987].

Другим важным элементом экспертной системы является ***механизм логических выводов*** (***машина вывода***). «Машина логического вывода является универсальной думающей машиной, а база знаний — это то, над чем ей предстоит думать» [Экспертные.., 1987. — С. 65]. Иными словами, в ответ на запрос система способна строить логические выводы и на их основе приходить к заключениям. Здесь проверяется выполнимость условий конкретной ситуации по отношению к имеющимся правилам и подбирается путь их удовлетворения. Причем в отличие от традиционных алгоритмов, осуществляющих механический перебор всех правил, в экспертной системе пространство поиска сужается за счет того, что, как и человек, ЭВМ должна ожидать, что же ей встретится. Например, анализируя видовой состав смешанных и широколиственных лесов средней полосы европейской части России, географ ожидает встретить ель, березу, дуб, липу, клен, но не пальмы или мангры, перебор которых для анализа противоречит здравому смыслу.

Процедуру получения выводов путем анализа фреймов или «продукций» называют прямой стратегией. В том случае, если человек выдвигает гипотезы (делает он это, как правило, с охотой), а ЭВМ их проверяет (что проще для машины), то мы переходим к обратной стратегии. Используются и смешанные стратегии, когда машина выдает ряд вариантов решения, а экспертная система именно так и поступает, выбрав из них какое-нибудь одно, которое анализируется с помощью обратной стратегии. Естественно, что этот путь будет неоднозначным, причем могут добавляться новые значения и т. д.

Модуль приобретения знаний проверяет непротиворечивость вновь поступающих сведений имевшимся правилам. Достигается это путем проверки семантической непротиворечивости, а также автоматическим тестированием. Проверка семантической непротиворечивости определяет согласование вносимых изменений прави-

лам базы знаний, а автоматическое тестирование проверяет нововведения на большом количестве задач, чтобы оценить, сколь положительно они влияют на работу экспертной системы [Построение.., 1987]. В случае конфликтных ситуаций требуется пересмотр правил. Здесь применяются различные степени доверия для потенциальных решений, чтобы они не противоречили здравой логике, хотя сделать это не всегда просто.

Здесь может оказаться целесообразным характеристика не отдельных явлений, а их классов, когда конкретная ситуация сравнивается с типичными примерами. Допустим, географ, классифицируя типы берегов (риасовый, шхерный, фьордовый), как бы сравнивает их с идеальными моделями: фьорды — узкие, глубоко вдающиеся в сушу клинья и т.д. Но экспертная система не ограничивается алгоритмической классификацией и учитывает семантику. Классифицируя географические объекты «Москва», «Орел», «Брянск», человек легко сгруппирует их в города, но «Москву» в сочетании с «Волгой» и «Леной» отнесет к рекам, а вот «Орел» в сочетании со словами «Коршун» и «Ястреб», так же, как и «Лена», «Ирина», «Валентина» приводят к совершенно иным смысловым значениям, то же должна уметь эвристическая программа.

Более того, иногда требуется и не совсем «логичное» заключение. Например, анализируя уровни социально-экономического развития стран по ряду формальных критериев, в том числе таким, как национальный доход на душу населения, число автомобилей на 1 тыс. жителей и другим показателям, Кувейт должен быть отнесен к числу ведущих стран, но эксперт-географ, сильно занизив его оценку, не выглядит странным. Так же должна поступать и экспертная система, выводя одни правила из других, и приходить к заключениям, получить которые из формальной логики невозможно.

Существует еще один характерный момент для экспертной системы. Так как правила, создаваемые одним географом, чаще всего сильно отличаются от того, как это делает другой специалист, экспертная система как бы становится «вторым я» того или иного ученого, копируя его стиль работы.

Модуль советов и объяснений (***система объяснений***) используется для разъяснения пользователю того, как экспертная система пришла к тому или иному конкретному выводу. Причем в процессе работы пользователь может задавать дополнительные вопросы о получении промежуточных результатов, уточнять цёли, инспектировать правила с точки зрения их согласования между собой и соответствия поставленным целям и др. «Метод рассуждения, который не может быть объяснен человеку, является неудовлетворительным, даже если с ним система работает лучше, чем специалист» [Экспертные.., 1987. — С. 19].

Как правило, модуль советов и объяснений делает трассировку хода проведения рассуждений в обратном порядке от того места, к

которому относится вопрос, или от конечного результата. Каждый шаг рассуждения подкрепляется выводами из правил базы знаний. Экспертная система объясняет также, почему она не пошла другим путем, какие правила базы знаний этот путь заблокировал. Объяснения экспертной системы помогают пользователю совершенствовать базу знаний, показывая слабые места, ведущие к неправильным выводам. Пример работы экспертной системы и блока объяснения логики решений приведен в книге [И.А.Портянский, 1989].

Экспертные системы могут сильно отличаться своей конфигурацией в зависимости от целей их создания, имеющихся технических средств, объема данных и знаний [Искусственный.., 1990; Г.В.Рыбина, 1991; Введение.., 1995; Статистические.., 1996; Экспертные.., 1996; П.Джексон, 2001]. Причем важной является возможность комбинирования экспертных систем с математическими моделями, служащими для алгоритмических вычислений. Такие системы принято называть интегрированными.

В обобщающих работах по экспертным системам выделяют несколько их типов [Построение.., 1987; Экспертные.., 1987]: ***интерпретирующие***, позволяющие на основе полученных фактов делать описания и выводы; ***прогнозирующие*** — выводящие следствия из совокупности состояний исследуемых явлений, например, прогноз погоды, урожайность сельскохозяйственных культур и др.; ***диагностические***, прежде всего в медицине; ***проектирования*** — в строительстве; ***планирования***; ***мониторинга***; ***ремонта***; ***обучения*** и др.

Важны классификационные аспекты географии, и здесь роль экспертных систем в решении неподдающихся математической формализации и сложных для логического анализа задач может быть велика, например, в случае типизации географических ситуаций, при применении метода ситуационного управления, предложенного Д.А.Поспеловым, в частности в географии при разработках ***геоситуационного направления*** [А.М.Трофимов, М.В.Панасюк, 1982].

Типология геоситуаций необходима для выработки правил, фактов и связей в соответствующих базах знаний, формируемых на основе знаний экспертов. Сценарии, построенные на базе типов геоситуаций, позволяют в каждом конкретном случае обращаться не к перебору нескольких вариантов, а, идентифицировав тип, анализировать структуру соответствующих пространственных образований по отношению к характеристикам их типа. В дальнейшем экспертные системы смогут определять структуру геоситуаций и рекомендовать мероприятия для их целенаправленных трансформаций или консервации, например при выработке рекомендаций по охране окружающей среды и т.д.

Одно из интересных приложений экспертных систем может состоять в их применении не только для обучения отдельным дисциплинам с использованием опыта наиболее известных препода-

вателей (безгранично расширив их аудиторию), но и служить в качестве «интеллектуального интерфейса» для связи, например, с вычислительными пакетами программ, с которыми пользователь мало знаком, т.е. быть своеобразным гидом.

С распространением экспертных систем в географии и экологии специалисты получат возможность использовать технику для уточнения, распространения, пропаганды, а главное, получения новых индивидуальных знаний, сопоставлять между собой конечные и промежуточные выводы при несовпадающих мнениях. Кстати, экологи и географы, обходившиеся в своей работе без математических методов и расчетов на компьютере, смогут использовать вычислительные машины без применения алгоритмических подходов. Роль специальных знаний еще более возрастет, а их передача от «учителя к ученику» облегчится, улучшится сохранность накопленных знаний и возможность их дальнейшего пополнения и совершенствования. Для специалистов особенно важно, что наиболее ценной и дорогостоящей частью в экспертных системах оказываются их профессиональные знания. В целом экспертные системы могут рассматриваться как одно из самых мощных средств исследований на ближайшую перспективу.

Контрольные вопросы

1. В чем специфика систем искусственного интеллекта?
2. Какова типовая структура экспертной системы?
3. Что такое «фреймы»?
4. Что такое «продукции»?
5. В чем смысл методов нечеткой логики?
6. Что такое «база знаний»?
7. Объясните механизм логических выводов ЭС.
8. Как работает модуль приобретения знаний?
9. Для чего необходима система объяснений?
10. Как классифицируют ЭС в географии и экологии?

4.2. Нейронные сети и ГИС

Основы создания нейронных сетей. Современные компьютеры устроены по так называемой схеме фон-Неймана, реализующей быстрые последовательности большого числа бинарных операций. Видимо, такой подход отчасти был обусловлен структурой математики первой половины XX в., когда высшие разделы математики опирались на арифметику, а последняя — на бинарную логику. Понятно, что если бы за основу было взято что-то иное, а не булева алгебра, могли бы получиться существенно иные компьютеры.

В качестве основной альтернативы подходу Дж. фон-Неймана обсуждалась ориентация на воспроизведение принципов работы био-

логических *нейронных сетей*. Примерно в те же годы, что и первый компьютер, была создана первая нейроподобная система — персептрон Розенблатта. Некоторое время оба направления — Дж. фон-Неймана и Ф. Розенблатта — развивались независимо, затем персептронное направление пережило кризис и возродилось уже в 80-е годы под именем нейронных сетей, при этом на новом этапе бинарно-логический и бионический принципы стали сочетаться. Интересно, что кризис бионического направления во многом был обусловлен не техническими сложностями и не отсутствием приложений, а содержательным математическим рассмотрением, проведенным М. Минским и С. Пейпертом, — они показали, что не существует персептрона, способного надежно определять топологические характеристики образа, такие, как связность, и этого оказалось достаточно для резкого падения первоначального энтузиазма. Любопытно также, что и возрождение энтузиазма было связано не с опровержением выводов Минского и Пейперта, а просто с формированием обширной ориентированной на приложения сферы деятельности. Впрочем, в последние годы появились некоторые приложения нейроподобных *алгоритмов* и к задачам топологий.

Сопоставление *машины фон-Неймана* и биологической *нейронной сети* приведено в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Сопоставление машины фон-Неймана и биологической нейронной сети

Показатель	Машина фон-Неймана	Биологическая нейронная сеть
Процессор	Сложный	Простой
	Высокоскоростной	Низкоскоростной
	Один или несколько	Большое количество
Память	Отделена от процессора	Интегрирована в процессор
	Локализована	Распределенная
	Адресация не по содержанию	Адресация по содержанию
Вычисления	Централизованные	Распределенные
	Последовательные	Параллельные
	Хранимые программы	Самообучение
Надежность	Высокая уязвимость	Живучесть
Специализация	Численные и символьные операции	Проблемы восприятия
Среда функционирования	Строго определенная	Плохо определенная
	Строго ограниченная	Без ограничений

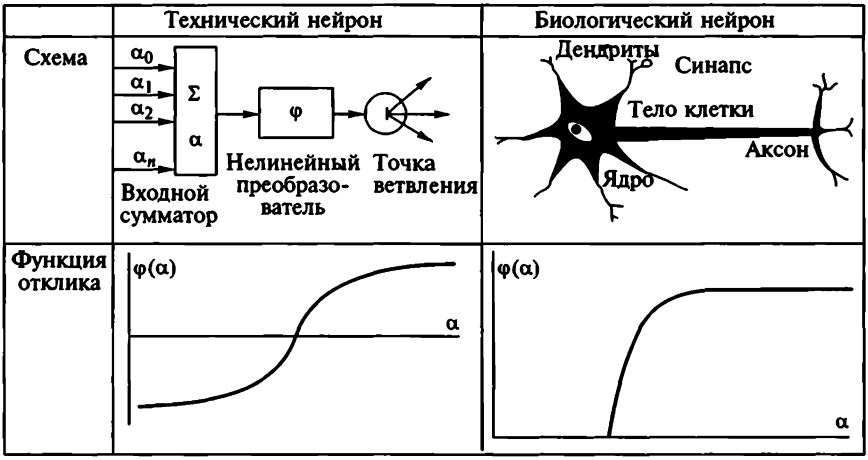


Рис. 44. Сравнение технического и биологического нейронов

Более конкретные характеристики мозга человека: кора головного мозга образована нейронами поверхностью толщиной от 2 до 3 мм и площадью около 2,2 дм^2, содержит около 10^{11} *нейронов*, каждый нейрон связан с 10^3 — 10^4 другими нейронами.

Нейроны взаимодействуют посредством короткой серии импульсов, как правило, продолжительностью несколько миллисекунд. Сообщение передается посредством частотно-импульсной модуляции. Частота может изменяться от нескольких единиц до сотен герц, что в миллион раз медленнее, чем самые быстродействующие переключательные электронные схемы. Тем не менее достаточно сложные решения по восприятию информации человек принимает за несколько сотен миллисекунд.

Сопоставим биологический *нейрон* с наиболее часто рассматриваемой схемой технического нейрона (рис. 44).

Оба типа нейронов реагируют на воздействие со стороны многих нейронов, в зависимости от величины связей с этими нейронами. В отличие от технических нейронов, реакция биологического нейрона всегда неотрицательна, причем, если воздействие на него не достигло критического уровня, то реакции нет. Возможно, что с этим связано одно из наиболее очевидных отличий биологических нейронных сетей от существующих в настоящее время нейропрограмм — один и тот же мозг, в зависимости от того, какие нейроны «молчат», может работать весьма различным образом, это выглядит так, как будто мозг — «склад» процессоров, которые по-разному соединяются при разных задачах. Аппаратное обеспечение, реализующее технические нейроны, постепенно усложнялось — сначала это были релейные схемы, сейчас, например, операционные усилители, но чаще всего — эмуляция в обычном ком-

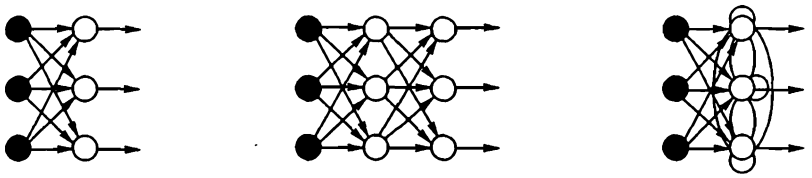


Рис. 45. Типы технических нейросетей

пьютере. Характеризуя вычислительную мощность, можно отметить, что по экспертным оценкам современные ПК могут моделировать уровень нервной системы сложных червей, лучшие нейросетевые спецпроцессоры — уровень мухи.

Если рассматривать биологические нейронные сети, то для них существует принципиальное внутреннее деление: нейронные сети могут реализовывать либо рефлекторное поведение, либо мышление. Нейрофизиологически рефлекторному поведению соответствует относительно короткий всплеск процессов в ответ на внешнее воздействие с последующим возвращением в спокойное состояние, а мышлению — длительная работа сети, нередко с весьма умеренным, но постоянным уровнем возбуждения мозга, при этом внешние воздействия скорее мешают. В технических системах воспроизводят в основном рефлекторное поведение, хотя возможно, что некоторые нейроалгоритмы, решающие «внутренне сложные» задачи, могут сопоставляться и с процессами мышления.

Типы технических нейросетей. В литературе заметное внимание уделяется вопросам архитектуры технических нейронных сетей, приведем вариант соответствующей классификации схем (рис. 45).

Более принципиальным является разбиение нейроалгоритмов на два класса — Supervised (обучающиеся по образцу, с учителем) и Unsupervised (обучающиеся без образца, без учителя). В первом случае обучение организовано как воспроизведение набора правильных образцов (обучающей выборки), после чего сеть может адекватно реагировать и на примеры, которых не было в обучающей выборке, во втором случае образцы правильной реакции исходно отсутствуют. В части русскоязычной литературы утвердились термины «обучение с учителем» и «обучение без учителя», что не является точным переводом с английского и не вполне точно по нормам русского языка. Видимо, нейросети, обучающиеся по образцу, неплохо воспроизводят рефлекторное поведение. Нейросети, обучающиеся без образца, быть может, иногда моделируют более интересную вещь — мышление, однако делают это несравненно менее успешно.

Нейросети, обучающиеся по образцу, произошли от персептронов и в современной трактовке могут рассматриваться как варианты и модификации сетей с обратным распространением ошибки (иногда как результат примитивизации такого рода сетей, в целях

упрощения реализации). К этому классу можно отнести, например, однослойный и многослойный перцептроны, машину Больцмана, сети, обучающиеся по правилу Хебба, рекуррентные слоистые и полносвязные сети обратного распространения ошибки, сети, использующие радиальные базисные функции. Различия между указанными системами порой достаточно велики, но всегда есть немало общего, а детали классификации различаются у разных авторов.

Нейросети, обучающиеся без образца, более разнообразны, хотя стоящая за ними теория математически порой более примитивна — это карты Кохонена, системы с множественными локально устойчивыми состояниями, такие как сеть Хопфилда, сети, настраивающиеся на основе адаптивного резонанса. Прямые аналогии между данными классами не просматриваются, хотя часто исходно имеются необработанные данные, а в итоге возникают их образы, построенные в ходе работы нейросети, либо сама сеть, меняя свою структуру, моделирует образы данных. В живой природе есть аналоги и этому — строились карты возбуждения участков коры мозга в зависимости от возбуждения участков тела, получившие названия «гомункулусов», оттого, что на этих картах формируется узнаваемый образ человека, только ладони, например, получаются увеличенными, а спина — уменьшенной.

Наконец, разрабатываются, хотя и не нашли широкого применения, комбинированные подходы. Идеология такого комбинирования заставляет вспомнить лозунг «человека создал труд». За основу здесь берется алгоритм обучения по образцу, произвольно устанавливающий некое первоначальное, можно сказать «абстракционистское», соответствие между «сырыми данными» и «обработанными данными». Затем «обработанные данные» меняются в ходе внешней «трудовой деятельности» с учетом «свойств материала», так что соответствие улучшается. Устанавливается новое соответствие между исходными и обработанными данными, вновь меняются обработанные данные и так далее. В итоге нейросеть порождает, с одной стороны, «художественный образ» ситуации, а с другой — собственный навык быстрого, как бы рефлекторного, соотнесения реальных данных и их образов. Например, так можно проверять связность образа данных — если «природа материала» не позволяет ему изменять связность, а вышеобозначенный подход работает, то значит и у образа данных связность та же. Этот пример дан для того, чтобы напомнить о кризисе нейросетевого подхода, имевшем место до 80-х годов, в связи с пессимизмом по части возможностей использования нейроалгоритмов в задачах топологии.

В заключение укажем задачи, которые принято относить к чаще всего рассматриваемым в рамках нейросетевого подхода:

• обучение по образцу — классификация образов, аппроксимация функций, предсказание, управление, анализ данных, категоризация внутри класса, сжатие данных;

• обучение без образца — категоризация, категоризация внутри класса, анализ данных, сжатие данных, ассоциативная память.

Нейросетевые алгоритмы — математические аспекты. Под именем нейросетевых алгоритмов в настоящее время объединяется несколько подходов к обработке данных, которые их авторы, не согласовывая друг с другом, сочли напоминающими принципы организации биологических нейронных сетей. Видимо, сыграла роль привлекательность названия вместе с тем обстоятельством, что по-настоящему принципы работы таких сложных биологических систем, как мозг человека, никому не известны, и в этом смысле все равны и свободны. Это несколько нарушает существующие в математике традиции логически обоснованной классификации алгоритмов, но поскольку некоторые нейроалгоритмы достаточно эффективны, приходится считаться с установившейся практикой. Рассмотрим два типа нейроалгоритмов, наиболее часто используемых в приложениях, — алгоритмы обратного распространения ошибки (back error propagation algorithms; BackProp; в российских публикациях 80-х годов использовалось математически более точное название: алгоритмы двойственного функционирования; АДФ) и карты Кохонена (самоорганизующиеся карты, self-organization maps, SOM).

Алгоритм обратного распространения ошибки. Такие алгоритмы создавались во многом для решения классической задачи математической статистики — задачи регрессии табличных данных. Хорошо известны простейшие задачи регрессии — такие как задача проведения прямой, наилучшим образом приближающей облако точек (например, прямой, сумма квадратов расстояний точек до которой минимальна). В этом примере речь идет о линейной регрессии, алгоритм которой должен определить параметры положения прямой, — ее углы наклона к осям координат и координаты одной из точек прямой.

Если речь идет о нелинейной регрессии, в качестве аппроксимирующего облака точек многообразия выступает не прямая, не плоскость или гиперплоскость, а некоторая гладкая кривая, поверхность или гиперповерхность. Чтобы описать такие нелинейные многообразия, требуется увеличить число параметров по сравнению со случаем линейной регрессии: возникает задача многопараметрической нелинейной регрессии.

Задолго до возникновения алгоритма обратного распространения ошибки были известны сложности проведения нелинейной многопараметрической регрессии данных:

• при большом числе параметров регрессии увеличивается время счета;

• параметры регрессии определяются неоднозначно (так называемая плохая обусловленность задач многопараметрической регрессии);

• неясно, как выбрать лучший из множества вариантов нелинейной регрессии.

Алгоритм обратного распространения ошибки успешно преодолел первую из указанных сложностей, после чего был накоплен практический опыт в отношении двух оставшихся сложностей, так что в настоящее время эти сложности уже не смущают, хотя полной математической теории по их поводу так и не было создано. Можно говорить о том, что нейроалгоритм обратного распространения ошибки эффективно решает задачи многопараметрической нелинейной регрессии: имеются программы, осуществляющие «хорошую» нелинейную регрессию для десятков и сотен тысяч точек с определением десятков тысяч регрессионных параметров за приемлемое время (до нескольких суток счета). Суть метода изложена в специальной литературе.

Алгоритмы квантования данных и карты Кохонена. Карты Кохонена — это вариант алгоритмов квантования данных, т. е. представления N точек данных с помощью меньшего числа точек-образцов. Изложим один из вариантов — Batch SOM.

1. Выбирается регулярная сетка M узлов, расположенная так, чтобы примерно соответствовать наиболее важной части пространства данных, обычно M существенно меньше N.
2. Каждая точка данных «приписывается» к ближайшему для нее узлу.
3. Определяется среднее арифметическое положение векторов «приписанных» групп, пусть для узла i это будет $\bar{r}_i$.
4. Определяется среднее арифметическое положение векторов, «приписанных» к первым соседям групп, пусть для узла i это будет $\bar{p}_i$.
5. Новое положение узлов задается вектором $\bar{p}_i + \lambda\bar{r}_i$, где λ — параметр метода порядка десятых единицы.
6. Шаги 2—5 повторяются несколько раз.

В итоге получается сетка, не лишенная черт регулярности, но сгущающаяся там, где густы исходные данные. Такая сетка может рассматриваться как компактная модель исходного множества данных либо как средство классификации новых данных — этим данным можно приписывать тот же класс, который ранее был приписан ближайшему к вектору данных узлу карты Кохонена.

Прочие нейросетевые алгоритмы. Комбинируя два изложенных типа алгоритмов, можно получать новые варианты алгоритмов обработки данных. Например, если данных много, то можно сначала по ним построить компактную карту Кохонена (точнее, ее многомерную версию), и уже к этой карте применять методы нелинейной регрессии. Однако не все нейроалгоритмы сводятся к такого рода комбинациям — с ними следует знакомиться по многочисленным специализированным изданиям.

Области применения нейросетевых ГИС. Интегрированные с геоинформационными системами нейронные сети — мощный инструмент для решения широкого круга задач, обеспечивающий эффективную поддержку принятия решений. В качестве входных и выход-

ных данных нейронная сеть может использовать пространственно координированные данные. Программы, созданные на основе нейросетевых алгоритмов, будут динамически модифицировать слои электронной карты, изменять характеристики существующих объектов, создавать новые объекты. В результате обработки массива имеющихся данных могут также возникать новые слои карты, в то время как существующие слои будут приобретать динамические свойства.

Можно привести много примеров, демонстрирующих эффективность нейросетевых подходов, реализуемых в ГИС-среде. Наиболее выигрышно они проявляют себя в ситуациях, когда приходится иметь дело с большими массивами информации, хранящимися в крупных организациях, на основе которых принимаются решения. В них нуждаются специалисты, оценивающие и прогнозирующие состояние какой-либо области человеческой деятельности, например, рынков сбыта продукции, реальной стоимости недвижимости, загрязнения территории. Планирование очередности действий при развитии территорий и их инвестиционной привлекательности, выявление зон с наиболее напряженной экологической, социальной или экономической ситуацией, анализ характеристик геологических объектов — эти и многие другие задачи уже невозможно решать на современном уровне без привлечения интеллектуальных геоинформационных систем.

Приведем несколько примеров.

В сельском хозяйстве одни слои ГИС могут содержать сведения о посеве зерновых культур, а другие — об урожайности. Нейросеть в этом случае будет обобщать практический опыт методов и технологий выращивания зерновой культуры с учетом конкретных климатических, почвенных и прочих характеристик выбранной территории.

В лесоустройстве с помощью нейросети можно анализировать динамику приростов деревьев по высоте, диаметру и объему. Обработка тематических слоев ГИС с такой информацией поможет спланировать лесоустроительные работы, например при выращивании насаждений сосны в лесопарках и в зеленых зонах.

Прогностические нейросетевые модели могут использоваться ***в демографии и организации здравоохранения***, опираясь на пространственные данные по плотности населения, медицинской статистике, загрязнению окружающей среды, представленные в виде слоев ГИС. Экспертная система будет определять, например, вероятностную продолжительность жизни, зависимость различных категорий заболеваемости от экологического состояния территории, прогнозировать вспышки эпидемий.

Обработка ДДЗ — одна из традиционных задач, решаемых геоинформационными системами. Анализ изображений с точки зрения математики опирается на теорию распознавания образов, когда по входным данным необходимо отнести объект к тому или иному классу. В данной области нейронные сети наряду с методами нечеткой

логики нашли наиболее широкое применение, с их помощью можно описать правила классификации, не прибегая к точным математическим значениям (используя понятные человеку термины типа «небольшой», «значительный» и т.д.). И, наоборот, извлекать из обученных нейронных сетей правила классификации по исходным данным, представляя их на обычном языке. В отличие от традиционных статистических методов, основанных на вычислениях в рамках той или иной математической формализации, классификаторы, базирующиеся на нейронных сетях, используют адаптацию в процессе обучения, не требующую предварительного обоснования модели. В то же время доказано, что результаты классификации и в том и в другом случае могут совпадать, т.е. нейронная сеть способна сама построить соответствующую математическую формализацию.

Для классификации используются различные нейросетевые алгоритмы. В нейронной сети с обучением без образца проводится анализ цветных или черно-белых пикселей снимка без привязки к другим слоям карты в целях выделения однородных фрагментов изображения (объектов) по тону, структуре, оттенку. Обучение по образцу полагается на доступные пространственные данные для выбранного участка территории. Если известно априори, что выбранному фрагменту снимка соответствует, например, лесной массив с известной степенью антропогенной нарушенности, то эта информация может быть использована нейронной сетью для классификации изображения.

Нейронные сети все чаще используются в задаче выявления пространственно однородных участков изображения. Эта задача является очень актуальной при разработке теоретических и методологических основ новых альтернативных систем земледелия, принципов экологически безопасного землепользования и проектов землеустройства на ландшафтной основе. Отдельные элементы ландшафта могут быть выявлены на основе анализа фрагментов изображения, их формы, цвета, взаимосвязей, неоднородности. Нейронная сеть также позволит оценить взаимосвязи отдельных элементов ландшафта.

В транспортной отрасли нейронная сеть может стать эффективным дополнением к ГИС при мониторинге автомобильных дорог. Здесь речь идет об анализе транспортной нагрузки и состояния полотна дороги, выборе оптимальных коридоров для строительства новых трасс и определении приоритетов в строительстве, анализе различных стратегий проведения ремонтных работ и соответственном распределении финансовых вложений. Задачей для нейронной сети может стать оперативное принятие решения по оптимизации распределения транспортной нагрузки на автомобильные дороги в случае дорожно-транспортного происшествия в определенном месте, повлекшего за собой скопление автомобилей (пробку). Нейронная сеть будет использовать в качестве входных данных слои ГИС

с автодорогами, местоположением аварии, текущими погодными условиями и прочими характеристиками, которые влияют на скорость движения. Все параметры системы, имеющие отношение к указанному происшествию, будут скорректированы нейронной сетью, и их откат в исходное состояние станет возможен после стабилизации ситуации. Следующим шагом в развитии данного направления должна стать возможность онлайнового доступа из автомобиля с помощью карманных ПК (КПК, PDA) и других мобильных устройств к картографическому серверу, содержащему оперативную информацию об обстановке на дорогах и подготовленные с помощью нейросети рекомендации по выбору оптимального маршрута.

Программное обеспечение. На рынке программного обеспечения в настоящее время имеется множество самых разнообразных программ для моделирования нейронных сетей. Поиск в Интернете дает сотни ссылок на зарубежные и российские сайты. Можно выделить несколько основных функций, которые реализованы во всех этих программах:

- формирование, конструирование нейронной сети;
- обучение нейронной сети;
- имитация функционирования (тестирование) обученной нейронной сети.

С точки зрения компьютерной технологии и программных интерфейсов они опираются на современные стандарты — от простых программ, ориентированных на платформу Unix с текстовым интерфейсом, до сложных модульных продуктов, базирующихся на последних технологических решениях от Microsoft.

Интегрированные решения на основе ГИС и нейронных сетей пока представлены слабо, несмотря на то, что повышение функциональной мощности геоинформационных пакетов за счет интеграции специальных модулей расширения или ГИС-приложений — одна из важнейших черт современных геоинформационных систем. Проблема интеграции нейронных сетей и ГИС может быть решена по крайней мере тремя способами:

1) интеграция (встраивание) нейросетевых моделей в ГИС с использованием специализированных средств геоинформационной системы (программирование на встроенных языках типа Avenue, MapBasic и т. п.);

2) развитие интерфейса между отдельными приложениями нейросетевого анализа и ГИС, как самостоятельными системами;

3) создание прикладного программного обеспечения нейросетевых систем с элементами ГИС (например, с использованием библиотек классов типа MapObjects, GeoConstructor, MapX и пр.).

Выбор конкретного варианта связан с требованиями и постановкой задачи, имеющимися ресурсами и опытом работы. Ниже приводятся два конкретных примера — программных продукта, которые уже созданы на основе нейросетей и ГИС.

Программа ScanEx-NeRIS

Программа NeRIS предназначена для тематической интерпретации пространственных данных, в первую очередь данных дистанционного зондирования Земли. Основной инструмент, реализованный в программе, — нейронные сети Кохонена. Являясь одним из методов классификации многомерных данных, нейронные сети Кохонена обладают важными дополнительными свойствами, на которых основана значительная часть используемых в программе алгоритмов.

Возможности пакета тематической обработки растровых изображений в программе ScanEx-NeRIS:

— оценка количества классов, требуемых для описания тематики и составления тематической карты;

— оценка внутренней дробности, неоднородности тематических объектов (контуров);

— оценка распределения свойств экспертных объектов в признаковом поле модели;

— оценка вероятностей присутствия тематических объектов, заданных экспертом в поле признаков снимка (выделение на изображении областей с различным уровнем оценки: оптимистическим, реалистическим, пессимистическим);

— построение иерархических классификаций с оценкой близости классов между собой;

— создание тематически ориентированных нейронных сетей для последующей обработки растра с целью выявления тематических объектов;

— автотрассировка (векторизация) результатов поклассовой обработки;

— поддержка системы координат наиболее распространенных отечественных и зарубежных картографических проекций;

— экспорт растровых покрытий и векторных слоев в наиболее распространенных обменных форматах;

— представление результатов классификации для всех видов нейронных сетей как присвоением индекса класса каждому классифицированному пикселу, так и созданием растровых слоев «вероятности» (possibility) принадлежности пиксела одному конкретному классу (создание нескольких таких слоев с последующей их визуализацией позволяет наглядно представлять результаты классификации, например, выявлять «белые пятна» (неклассифицированные области пространства) и представлять данные для окончательной классификации традиционными методами).

Модуль Arc-SDM для ArcView

Модуль Arc-SDM — одно из свободно доступных расширений ArcView для моделирования в ГИС на основе алгоритмов нечеткой логики и нейронных сетей. С точки зрения пользователя ГИС про-

цесс пространственного моделирования с использованием этого модуля состоит в построении нового тематического слоя на основе нескольких уже существующих. Arc-SDM использует два нейросетевых алгоритма, которые вынесены в самостоятельный программный модуль DataXplore. Первый построен на основе нейросети, реализующей радиальные базисные функции, второй — на основе кластеризации в нечеткой логике. Нейросеть, использующая радиальные базисные функции, должна пройти этап обучения, в результате которого будет сгенерирован набор параметров, определяющий взаимосвязь между входными слоями данных и выходным (результирующим) слоем. После этого для классификации данных можно применять обученную нейросеть.

Например, в геологической задаче исследования полезных ископаемых, результирующий слой содержит сведения о наличии или отсутствии месторождений. Входные данные, используемые в процессе обучения, можно разделить на два типа — расположения известных месторождений и участки территории, про которые известно, что там полезных ископаемых нет. На основе исходных векторных тематических слоев геоинформационной системы создается грид-тема, далее подготовленный набор данных передается в программный модуль DataXplore. Результат вычислений отображается в виде нового тематического слоя.

Контрольные вопросы

1. В чем состоят перспективы интеграции технологий ИИ с ГИС? Какие особенности ГИС составляют основу этой интеграции? Какое отношение к системам ИИ имеют нейросетевые методы?
2. Проведите сравнение машины фонНеймана с биологической нейронной системой.
3. Нарисуйте схемы и поясните принципы работы технического и биологического нейронов.
4. Классификация нейронных сетей и ее принципы. Чем отличаются нейросети, обучающиеся без образца, от нейросетей, обучающихся по образцу? Для решения каких задач они используются?
5. Нейросетевой алгоритм обратного распространения ошибки. В чем состоят сложности проведения нелинейной многопараметрической регрессии данных?
6. Охарактеризуйте нейросетевые алгоритмы квантования данных. Поясните на примерах анализа геоданных принцип построения карт Кохонена.
7. Перечислите области применения нейросетевых ГИС.
8. Сформулируйте основные функции нейросетевого программного обеспечения. Каким образом оно может быть соединено с ГИС в единую систему?
9. Дайте характеристику программного обеспечения нейросетевых ГИС на примере программных продуктов ScanEx-NeRIS и модуля Arc-SDM для ArcView.

4.3. Системы поддержки принятия решений

Системы поддержки принятия решений (СППР) — новое, пока не устоявшееся, но очень перспективное направление в геоинформационных технологиях. Имеется множество определений СППР. Например, согласно работе [G. Biswas, M. Oliff, A. Sen, 1984] они характеризуются как совокупности инструментальных средств, обеспечивающих формирование (моделирование) альтернативных решений на разных этапах принятия решений, их анализ и выбор вариантов, удовлетворяющих поставленным условиям. В. В. Пржиялковский [2001] трактует их как системы, обеспечивающие получение информации, необходимой для тактического планирования и деятельности лиц, принимающих решения. Эти системы основаны на анализе данных из баз данных, в том числе с использованием математических методов и с применением средств визуализации. Пользователями таких систем обычно являются представители среднего управляющего персонала. А вот компьютерные системы, позволяющие готовить сведения и предоставлять их в распоряжение старшего управляющего персонала с ограниченным опытом использования ЭВМ, называют ***информационными системами руководителя*** (ИСР). Они должны предоставлять информацию по конкретным возникающим запросам с любой допустимой степенью детализации. Такие системы играют важную роль в стратегическом управлении организациями.

Абитуриент, поступающий в университет, премьер-министр, планирующий реформы, или брокер, скупающий и продающий акции, — все они решают задачи выбора лучшего варианта действий. В этих задачах есть много общего, например, возможности и ограничения переработки информации человеком, а также методы анализа вариантов действий, которые принято называть ***методами принятия решений*** [О. И. Ларичев, 2000]. СППР, как указывалось выше, используют материалы баз данных не только в виде исходных («сырых») данных, но и предварительно обработанных. Цель такой обработки состоит в том, чтобы сделать данные пригодными и удобными для аналитического использования разными группами пользователей, сохранив при этом их исходную информативность. Процедуру «очистки» исходных данных, заключающуюся в устранении избыточности, противоречивости и в элиминации шумов называют ***первичной обработкой данных***. Более сложная обработка может включать восстановление пропущенных значений в исходных данных и др. Использование статистических, оптимизационных и других алгоритмов (корреляции, классификации и т. д.), позволяющих находить закономерности и зависимости в данных, а также синтезировать их, называют **исследованием данных** [В. В. Пржиялковский, 2001]. ***Интеллектуальный анализ данных*** (ИАД) обычно определяют как метод поддержки принятия

решений, основанный на анализе зависимостей между данными [В.Львов, 2001]. Методики, которые на основе каких-либо моделей, алгоритмов, математических теорем позволяют оценивать значения неизвестных характеристик и параметров по известным данным, являются ***аналитическими технологиями. Генетические алгоритмы*** — это другой вид технологий, применяемых для поиска оптимальных решений. В этих алгоритмах используется идея естественного отбора среди живых организмов в природе, поэтому они и называются генетическими. Генетические алгоритмы часто применяются совместно с нейронными сетями, позволяя создавать гибкие, быстрые и эффективные инструменты анализа данных (НейроПроект, 1999). ***Познавательные модели*** являются формой организации и представления знаний, средством соединения новых знаний с имеющимися. ***Прагматические модели*** представляют собой инструмент управления и организации практических действий, способ отображения «образцово правильных» действий или их результата [Ф.И.Перегудов, Ф.П.Тарасенко, 1989]. ***Ситуационный план*** — план, содержащий конкретные предписания, которые должен выполнять каждый принимающий решения в той или иной ситуации, а также возможные последствия реализации такого решения. Имея конкретный ситуационный план, появляется возможность действовать согласно этому плану в непредвиденных обстоятельствах. При этом уменьшается неопределенность в действиях лиц, принимающих решения, при ситуации риска [EDI-Press & Web Mission, 2000—2001].

История систем поддержки принятия решений. Возникновение и применение термина «Системы поддержки принятия решений» относится к 70—80-м годам XX в. Кроме этого, в последнее десятилетие этому термину придаются новые значения, что естественно связано с развитием информационных технологий (ИТ). Сам термин возник не на пустом месте. Понятия, вкладываемые в его смысл, существовали и ранее, но только с развитием ИТ он приобрел самостоятельное значение. Естественно, что составляющие его и предшествующие ему понятия сформировались еще раньше. Так, управление является одной из основ рассматриваемого нами вопроса, так как для него и создаются СППР.

История человечества показывает, что успех сопутствует ему в тех областях, где действия человека или групп людей с накоплением опыта приобретают признаки технологии, т.е. подчиняются выработанным ранее правилам. Развивая такие технологии, люди сохраняют опыт предшественников и их деятельность становится более эффективной. Только те люди или социальные сообщества (общины, государства, предприятия и т.п.) имели продолжительный успех, которые постоянно совершенствовали технологии управления, создавали системы поддержки принятия решений в зависимости от меняющихся условий существования. Там, где со-

вершенствование прекращалось, рано или поздно происходил упадок, вплоть до исчезновения самих общин, предприятий и даже государств.

Обычно историки приписывают крах любой системы переходом к авторитарному стилю управления ею. Только большие экономические депрессии XX в. заставили ученых и управленцев обратить внимание на технологизацию управления.

Одна из первых научных теорий управления представлена в работе М.А.Ампера [«Опыт о философии наук, или аналитическое изложение классификации всех человеческих знаний». — Ч. I — 1834 г., Ч. II — 1843 г.], где автор выделил специальную науку об управлении государством и назвал ее кибернетикой. Б.Трентовский в статье «Отношение философии к кибернетике как искусству управления народом» (1843) подтвердил эту идею [Ф.И.Перегудов, Ф.П.Тарасенко, 1989]. Далее наука о системах управления получила существенное продвижение в работах Н.Винера [1948, 1958]. Следующим крупным шагом стало создание общей теории систем Л.Бертанфи [1950], где дано определение кибернетики как науки об оптимальном управлении сложными динамическими системами. Современный «прорыв в незнаемое» в исследовании систем совершен бельгийской школой во главе с И.Пригожиным. В книге В.С.Диева «Философско-методологические аспекты» в разделе «Нечеткость в принятии решений» описана история вопроса. В последние десятилетия самостоятельной научной дисциплиной стала теория принятия решений, которая рассматривает процессы управления сложными системами различной природы. Место этой дисциплины в системе наук определить довольно трудно. Возникла она вследствие экономических и политических потребностей, но сегодня ее уже нельзя отнести только к экономической или политической науке. Современное управление является феноменом двадцатого столетия, и именно в последние девяносто лет оно стало самостоятельной научной дисциплиной. Значимость философско-методологического анализа проблем управления обусловлена и тем, что управление, являясь синтезом науки и искусства, знания и опыта, представляет широкое исследовательское поле для изучения человека, понимания его природы в различных ситуациях [В.С.Диев, 1997]. Основной функцией управления является принятие решений. В кратком виде методика и особенности принятия решений описаны О.И.Ларичевым [2001].

Особым направлением в развитии СППР можно считать и традиционное проектирование, и составление карт. Так, если взглянуть на карты с точки зрения управления, то можно сказать, что это и есть СППР, так как для красоты карты никто не строил — они всегда были утилитарны и создавались в том числе и для целей управления. И даже первые карты — наскальные рисунки, где изображена окружающая местность с реками, пастбищами диких

животных и лесами, были чисто утилитарными [К. А. Салищев, 1982]. Оперативные карты, скорее всего, строились вначале на песке, а уже позднее стали переноситься на твердые носители. Ситуационные карты военных сражений и планы походов широко применялись на практике. История картографии свидетельствует о том, что функция карт в СППР была и остается доминирующей. Парадокс заключен еще и в том, что эта часть СППР приобрела признаки самостоятельной области на много веков раньше, чем появилась отрасль науки, связанная с СППР.

Современное состояние в области создания и использования СППР. Разработка и применение СППР имеет, как отмечалось ранее, краткую историю и не несет каких-либо основополагающих и фундаментальных признаков, которые можно считать окончательно устоявшимися. СППР развивается вместе с инструментальной базой, которая во многом и определяет ее структуру. Предлагаемые на рынке услуг структуры СППР имеют различную конфигурацию в зависимости от степени освоения новых технологий различными группами разработчиков. Следует отметить, что реальные и потенциальные пользователи этих услуг естественно находятся на более низкой ступени, чем разработчики данных систем, и в этой связи рынок СППР не всегда готов к принятию передовых решений. Поэтому еще не пришло время установления единых стандартов в данной области и каждый вариант применения СППР должен рассматриваться как отдельный проект, учитывающий способности пользователя освоить данную технологию и его финансовые возможности. Другими словами, не представляется рациональным создавать СППР из отдельных блоков, имеющих разную степень сложности.

В настоящее время процесс разработки СППР начинается с установления регламента работы по подготовке управленческих решений. Это происходит на уровне экспертного анализа и выражается в предложениях по улучшению деятельности группы, отдела, подразделения и предприятия (организации) в целом. Анализ таких предложений позволяет руководителям подразделения или вышестоящей инстанции понять проблемы, связанные с улучшением работы. Это статический анализ для улучшения СППР. Если эти предложения целесообразны, то принимаются адекватные действия по оптимизации СППР.

Наиболее существенным по эффективности аналитическим анализом для улучшения СППР является текущий или поэтапный анализ, при котором лицо, принимающее решения, корректирует деятельность исполнителей в зависимости от качества предложений. Это динамический анализ. Однако он не дает оценки причин сбоев в работе СППР.

Успешность работы СППР зависит от:

- наличия быстрого доступа к необходимой информации;

• полноты сведений (включая исторические справки и прогнозы);

• наличия инструмента (алгоритма) эффективного анализа информации;

• компетентности специалистов, готовящих управленческие решения (наличие знаний, опыта, профессионализма);

• желания и умения специалистов работать в коллективе, команде и т. п.;

• правильного руководства коллективом, готовящим управленческие решения (постановка задач, стимулирование, адекватная оценка работы).

СППР должна быть структурирована. В основе этой системы должны быть сотрудники, успешно работающие в своих подразделениях и в то же время состоящие в коллективе, готовящем управленческие решения. Образно говоря, такие специалисты могут иметь два рабочих места, разных по своим задачам и параметрам работы. Их рабочие места должны быть соответствующим образом и подготовлены. К СППР следует относиться как к виртуальному подразделению, решающему задачи, которые на момент рассмотрения проблемы не имеют алгоритма решения. Для этого необходима четкая и слаженная работа всех участников или подразделений организации по предоставлению информации в СППР. В настоящее время невозможно обойтись без использования современных информационных технологий и методов аналитической обработки информации, особенно если уровень принимаемых решений носит стратегический характер, а последствия от принимаемых решений могут быть критичными для деятельности предприятия.

В начале реализации проекта важно иметь представление о системе управления ее составными частями и их взаимодействием, т. е. до практической реализации системы должна быть создана ее модель, максимально решающая задачи проекта. Прежде всего необходимо создать концепцию системы управления, а затем переходить к составлению технического задания и выполнению проекта по ее информатизации.

Пример общей системы управления представлен на рис. 46 и будет описан ниже по каждому из представленных блоков.

Постановка задач, как правило, исходит из стратегии управления и конкретное их выполнение (технология) осуществляется на тактическом (оперативном) уровне. При постановке задач необходимо как можно более четко представлять себе цели, так как понимание цели есть представление модели решения задачи. Цель — это субъективный образ (абстрактная модель) несуществующего, но желаемого состояния среды, которое решило бы возникшую проблему [Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко, 1989]. Все задачи можно сгруппировать в блок, который состоит из следующих разделов:

• положение, устав организации, предприятия, ведомства и т. п.;

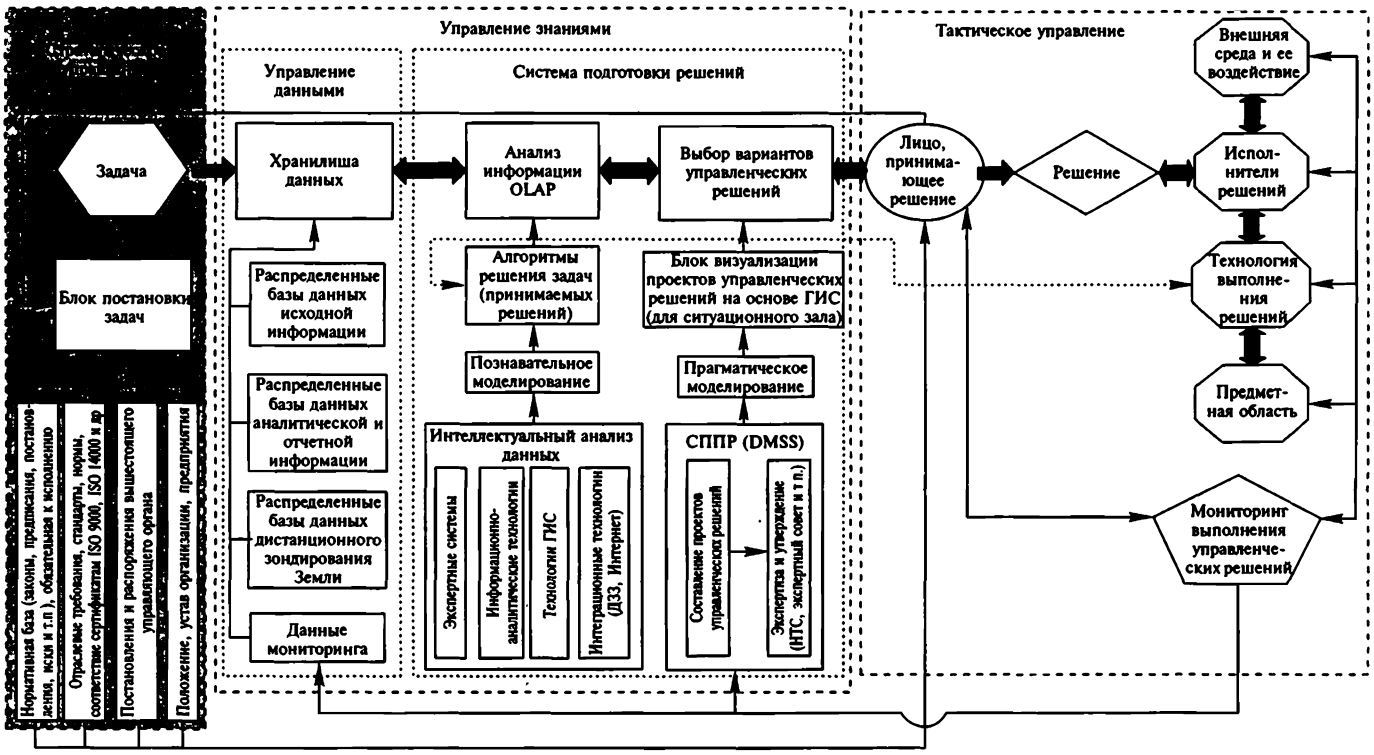


Рис. 46. Общая схема системы управления

• постановления и распоряжения вышестоящего управляющего органа;

• отраслевые требования, стандарты, нормы, соответствие сертификатам и др.;

• нормативная база: законы, предписания, постановления, иски, обязательные к исполнению;

• задачи, которые ставит лицо, принимающее решения, на основании анализа ситуации.

Задачи можно условно разделить на рисковые и нерисковые. Нерисковые задачи не требуют сложной интеллектуальной подготовки для их решения. Это не означает, что они просты — даже сложные задачи при их многократном повторении обретают алгоритм решения и решаются в дальнейшем по отработанной технологии. За последствиями таких решений ведется мониторинг, который отслеживает, когда следует вносить коррективы в технологию решения. Рисковая задача — это ситуация, в которой имеется неопределенность относительно результата, т.е. исход, который будет получен лицом, принимающим решение (ЛПР), зависит от событий, которые невозможно предвидеть с полной определенностью. Выбирая альтернативы, ЛПР рискует, поскольку имеется вероятность того, что его выбор приведет к невыгодному исходу, т.е. к проигрышу [Ю. Козелецкий, 1979].

Принципиальное различие между случайностью и нечеткостью заключается в том, что функция принадлежности, которая лежит в основе использования математического аппарата нечетких множеств, всегда является гипотезой. Она дает субъективное представление ЛПР об особенностях проблемной ситуации, характере целей и имеющихся ограничениях. Таким образом, эта форма утверждения гипотез открывает ЛПР новые возможности: позволяет строить оценки для альтернатив посредством формального аппарата. Затем в схемах анализа, использующих теорию нечетких множеств, так же, как в традиционных методах, строится некоторая система гипотез, только теперь они формулируются в терминах «субъективной» принадлежности. В итоге ЛПР получает результат, который также носит нечеткий характер и ведет к нечеткости в принятии решений [В.С.Диев, 1998].

Одной из наиболее распространенных задач принятия решений является упорядочение по качеству альтернатив, имеющих оценки по многим критериям. Существует множество методов, предписывающих лицу, принимающему решения, правила действий, этапы решения задачи ранжирования. Например, один из постулатов экономической теории состоит в том, что человек делает рациональный выбор на основе максимизации функции полезности. Полезностью называют воображаемую меру потребительской ценности различных благ. С содержательной точки зрения делается предположение, что ЛПР как бы взвешивает на внутренних весах различ-

ные альтернативы и упорядочивает их по полезности [О. И. Ларичев, 2001].

Наряду с системой постановки задач основу СППР составляют ***управление данными, интеллектуальный анализ*** и ***тактическое управление*** СППР. Важнейшим вопросом при формировании информационной системы при управлении данными и их использовании в рамках СППР является качество информации, к которой предъявляются следующие требования [Ю. Ю. Кинев, 1997]:

- достоверность (корректность) — мера приближенности информации к первоисточнику;
- объективность — мера отражения информацией реальности;
- однозначность;
- упорядоченность — количество передаточных звеньев между первоисточником и конечным пользователем;
- полнота — отражение исчерпывающего характера соответствия полученных сведений целям сбора;
- релевантность — степень приближения информации к существу вопроса, или степень соответствия информации поставленной задаче;
- актуальность (значимость) — важность информации для оценки риска;
- низкая стоимость.

Важность данных в системе управления представлена на рис. 47, где показаны уровни использования информации, затраты на сбор данных и количество пользователей.

Можно выделить несколько уровней использования информации.

Информационный уровень представляется регламентной отчетностью и другими данными, которые обрабатываются с использованием технологий управления данными, накапливаются и содержатся в хранилищах данных.

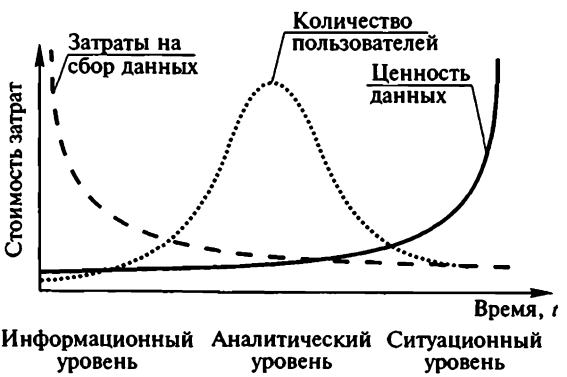


Рис. 47. График важности данных в системе управления

Аналитический уровень включает интеллектуальный анализ данных и может быть представлен:

- экспертными системами;
- информационно-аналитическими технологиями — это нейронные сети, атласные информационные системы, кадастры;
- технологиями ГИС;
- интеграционными технологиями (ДЗЗ, Интернет, мультимедиа и т. п.).

Ситуационный уровень характеризует тактическое управление. Для данного уровня особенностью является то, что информация здесь предоставляется ЛПР в таком виде, чтобы обеспечить принятие управленческого решения за требуемый промежуток времени.

Это означает, что информация на данном уровне как бы растворяется в информации других предметных областей. В таком сочетании образуется зрительный ряд, как правило организуемый в «ситуационных комнатах», «ситуационных залах», «ситуационных центрах» и т. п. (в зависимости от масштабности решаемых задач). На этом уровне целесообразно использование ГИС.

Взаимоотношение вышеописанных уровней представлено на рис. 48.

Термин «интеллектуальный анализ» данных широко применяется в СППР, но носит условный характер. В принципе не может быть анализа данных без интеллекта. Речь идет о том, что одна

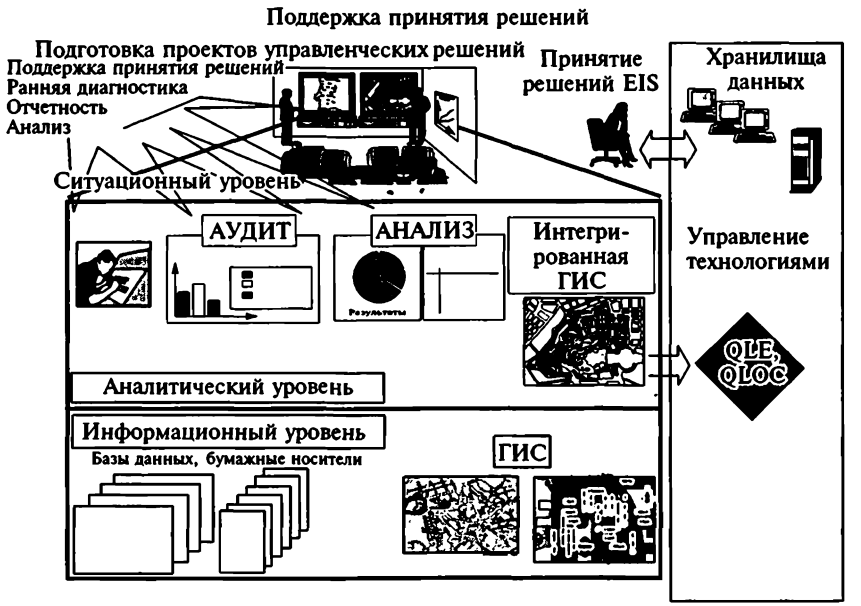


Рис. 48. Схема взаимоотношения информационных уровней в СППР

часть анализа во многих случаях ведется автоматически, а другая требует поиска или разработки алгоритмов. Правильность разработанных алгоритмов определяется временем, т.е. подтверждается эффективностью результатов после выполнения решения и мониторингом последствий. Если учесть переменчивость задач (изменения исходных данных), влияние внешней среды, качественный состав коллектива СППР и многие другие влияющие факторы, то существование стабильных алгоритмов решений весьма ограничено. Алгоритмы принятия решений — это не продукт, а процесс. Качество интеллектуального анализа всегда будет зависеть от полноты и качества исходных данных, оперативности их получения, квалификации и опыта специалистов СППР, времени, отведенного на подготовку управленческого решения для изучения и моделирования ситуации.

Из этого следует, что если учесть все влияющие факторы на время, отведенное для подготовки управленческого решения, то окажется, что количество используемой информации строго ограничено. Задача состоит в такой организации СППР, чтобы она позволила учесть оптимальное количество необходимой информации для решения задачи. Оптимальное количество информации определяется путем снятия ограничения по времени на ее подготовку и по объему той информации, которая действительно влияет на качество принимаемого решения. Во многом этот процесс субъективен и решается эффективно только коллективом специалистов.

Сколько же информации необходимо иметь для принятия решения? На рис. 49 показано, что работа по подготовке управленческого решения была начата в момент X_t, при этом определено семь влияющих факторов (1, 2, 3, 4, 5, 7, 8), по которым нужно было оценить ситуацию. На момент начала подготовки по всем факторам уже была накоплена информация (Область информации А). По факторам 1, 2, 3 информации было достаточно, по факто-

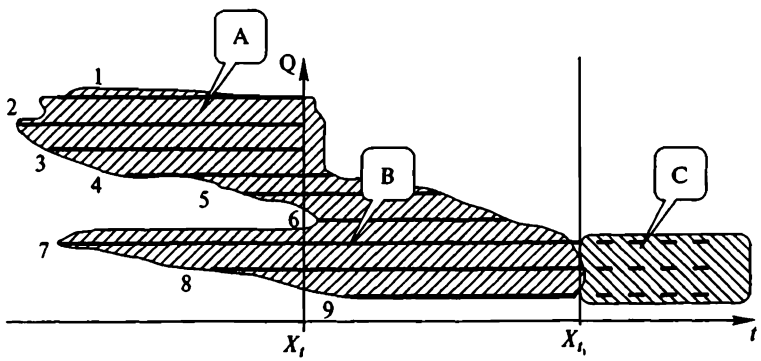


Рис. 49. Оценка количества информации, необходимой в СППР

рам 5, 7, 8 сбор информации продолжался. В процессе анализа и моделирования обнаружилось, что влияющими факторами следует считать факторы 6 и 9. Время для подготовки информации было ограничено моментом X_{II}. На момент принятия решения была собрана информация, показанная областью В. В расчет принималась информация А + В. В результате, на момент X_{II} оказалось, что по факторам 7, 8, 9 нет возможности получить полную информацию из-за отсутствия информации области С. В оценке этой ситуации возможны следующие варианты.

Вариант 1. Пренебречь отсутствующей информацией, принять решение, а параллельно вести работу по сбору недостающей информации и по возможности корректировать принятое решение (бывают необратимые решения!).

Вариант 2. Оценить влияние информации области С на принятие решения через так называемую «раскачку» информации области А + В, которая определяет, что потенциально информация области С заключена в интервале значений

$$\Delta I(C) = I(C)_{max} - I(C)_{min}, \qquad (4.2)$$

где $I(C)_{max}$ и $I(C)_{min}$ — максимальное и минимальное количество информации, необходимое для принятия решения.

Для автоматизации процесса интеллектуального анализа нужны соответствующие инструменты, методики, технологии, проверенные на аналогичных задачах, т.е. речь идет о методе аналогий. Данный метод дает экономию времени, выделенного для решения задачи, и позволяет начать моделировать ситуацию для выяснения недостающих данных или уточнения приоритетности влияния тех или иных условий.

Как отмечал один из австралийских геологов, на карте человек видит ровно столько, сколько позволяет ему ум. Решая многие задачи и принимая решения, важно знать одну из самых важных характеристик объекта — его пространственное положение. С возникновением ГИС у исследователей появился новый инструмент, обладающий небывалыми возможностями. Создавать ГИС на точной пространственной основе — достаточно дорого. Но для СППР на первом этапе работ создание упрощенных, не очень точных в пространственном отношении слоев позволяет руководству выйти на новый уровень управления и более оптимально решать свои задачи — в этом секрет успеха «неточных» систем. С развитием проекта руководство, увидев преимущества ГИС, обязательно приложит усилия по совершенствованию представления пространственно распределенных данных. Следует сказать, что есть такие области деятельности, где точная пространственная основа не имеет первостепенного значения и вполне устраивает пользователей. Давая руководству гибкий инструмент для принятия решений, ГИС во многих случаях становится основой для информационной си-

стемы. Применяя визуализацию в сочетании с функцией моделирования процессов, можно составлять объективные (основанные на реальных предпосылках) прогнозы.

Необходимо также отметить роль Интернета, дистанционного зондирования Земли и глобальных систем позиционирования как ***интеграционных технологий*** в СППР. С расширением использования ***Интернета*** все большее количество пользователей начинают применять его возможности уже в качестве подсистем своих ИС в составе СППР. На многих сайтах Интернета представлены слои ГИС, которые можно использовать по разным направлениям, спектр которых будет расширяться в соответствии с возрастающими потребностями пользователей.

Использование поисковых систем дает возможность ведения сбора необходимых данных и мониторинга за интересующими процессами. Такое оперативное получение данных дает возможность подготавливать для ЛПР дайджесты по интересующим направлениям. Многие организации, предприятия и учреждения уже создали отдельные подразделения, которые на постоянной основе ведут работу по поиску необходимой информации и мониторингу за интересующими их процессами по материалам публикаций в Интернете.

В настоящее время, благодаря Интернету, стало возможным не только покупать, но и получать бесплатно (оплата только за трафик) космические снимки. На рис. 50 показаны уровни использования данных ***дистанционного зондирования Земли*** (ДЗЗ), механизм их обработки, анализа и использования в СППР.

Экономично и эффективно по сравнению с наземным мониторингом использование ДЗЗ при необходимости постоянного мониторинга за текущими процессами на больших территориях, особенно для государственного контроля за окружающей природной средой и деятельностью природопользователей. Данные, полученные в результате дистанционного зондирования Земли из Космоса, являются одним из важнейших источников информации о состоянии окружающей среды, антропогенном воздействии на нее, в том числе и за счет трансграничного переноса загрязнителей. Такая информация помогает более рационально использовать природные ресурсы, выявлять состояние потенциально опасных объектов народного хозяйства и др. В настоящее время широкое распространение получают системы видео- и фотосъемки с малых летательных аппаратов — мотодельтапланов и минисамолетов.

Развитие глобальных систем позиционирования также дало удобный и эффективный инструмент в определении пространственного положения объектов и уже в ближайшее время станет частью СППР.

Подготовка **проектов управленческих решений** определяется необходимостью оценки эффективности принимаемых решений.

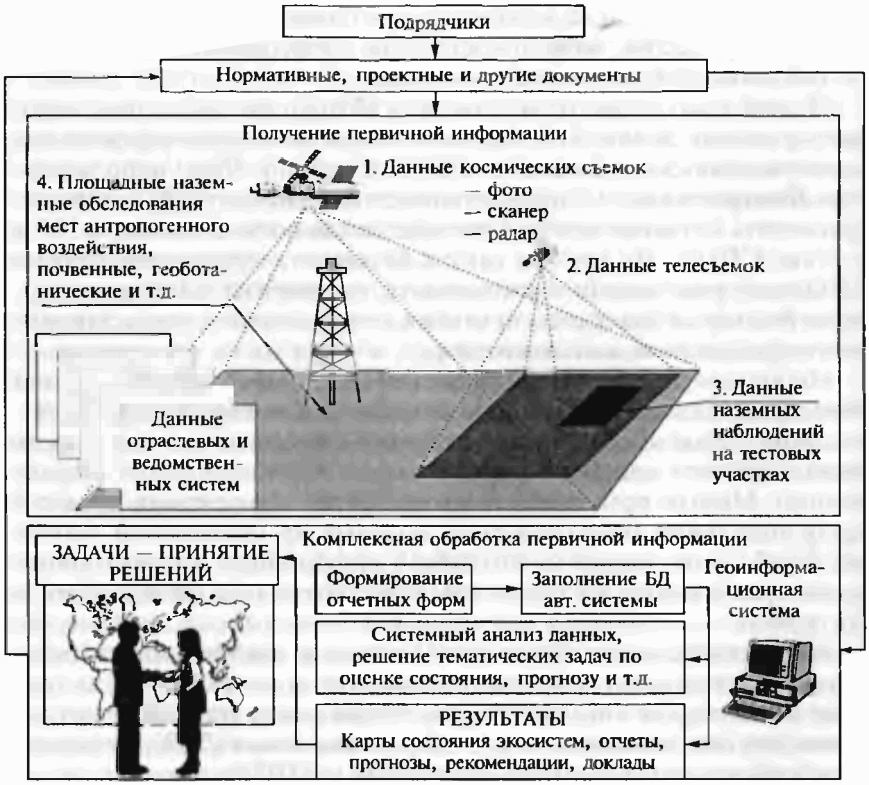


Рис. 50. Схема использования данных ДЗЗ, теле- и наземной съемки в СППР

В результате может быть получен ситуационный план, в котором определяется алгоритм решения задачи, как минимум, и технология ее решения с обязательной функцией мониторинга за ее выполнением. Определяющим фактором правильности в подготовке проекта управленческих решений является однозначное понимание ЛПР и коллективом СППР целей решаемых задач. СППР должна иметь такую организацию, регламент или технологию, чтобы максимально избегать влияния человеческого фактора и быть малочувствительной к ошибкам. Существует множество систем защиты от ошибок — двойная, тройная экспертиза данных и методик расчетов. В экспертных анализах должно быть представлено сравнение альтернатив применяемых технологий. Процесс подготовки управленческих решений должен фиксироваться и быть адресным, т.е. любой проект должен иметь авторов и быть изложен на материальном носителе с описанием исходных данных и процедур анализа.

Доказано, что правило выбора не может быть одновременно демократичным, рациональным и решающим. В случае индивидуального выбора мы видим, что иные три требования к результату применения метода одновременно не выполняются. Если потребовать одновременно от метода малую чувствительность к человеческим погрешностям при измерениях, рациональность и полноту отношений между альтернативами, то одновременное выполнение этих требований невозможно [О. И. Ларичев, 2001].

Из вышеизложенного следует, что ЛПР может определить методику и структуру инструментария, с помощью которого будет вестись подготовка управленческих решений, так как только ЛПР несет реальную ответственность за принятое решение. Разрабатывая СППР, необходимо определить план ее внедрения с расширением и усложнением процедур по мере освоения ЛПР предлагаемых методик и инструментов и создать взаимообучающуюся систему ЛПР и СППР.

Завершающим процессом в подготовке управленческого решения является моделирование. Применяя этот метод анализа, появляется возможность на основе имеющихся данных и известных условий составить прогноз на чувствительность проекта управленческих решений к изменениям условий, выявить области, где исходных данных недостаточно, перепроверить некоторые исходные данные и уточнить влияющие условия.

Системы отображения данных или визуализационные системы возникли давно и предназначены для наиболее полного, оперативного и доступного показа имеющейся информации для ее визуального восприятия. С развитием этой услуги выделилось два самостоятельных направления — это сами средства отображения данных (аппаратные средства) и программные продукты визуализации.

С развитием геоинформационных технологий оказалось, что инструмент, на котором создаются ГИС, БД и другие составные части системы, не всегда способен визуализировать данные в оперативном режиме. Кроме этого, конфигурация аппаратных средств не всегда оптимальна для визуализации. Появились специализированные сервисные фирмы, представляющее оптимизированное оборудование для визуализации, а также производящие консультационные услуги по выбору оптимальных конфигураций для этих целей в зависимости от данных, которые необходимо визуализировать. Также разработаны и предоставляются специализированные проекты дизайна ситуационных комнат, залов и центров, где устанавливается визуализационное оборудование, располагается обслуживающий его персонал, группы экспертов, администраторы и ЛПР (рис. 51). При создании ИС или системы управления в целом необходимо заранее определить конфигурацию визуализационного центра, аппаратных и программных средств.

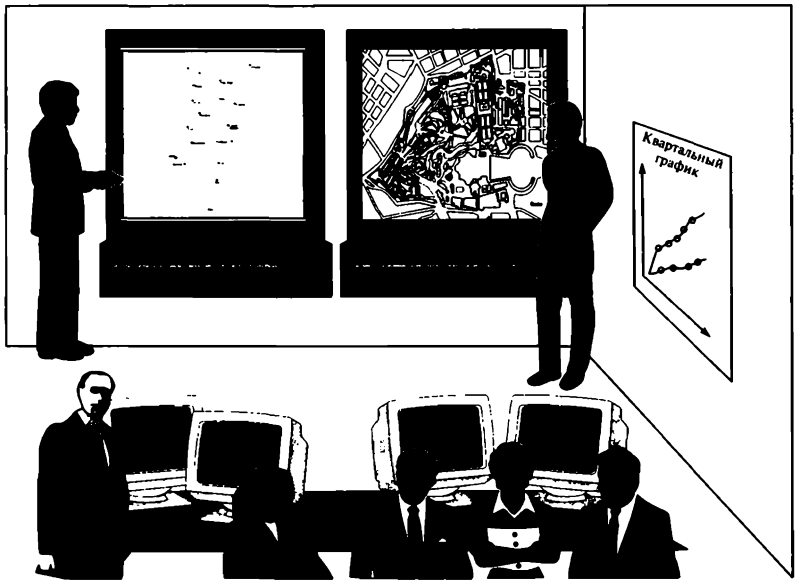


Рис. 51. Ситуационный центр

Любое решение имеет свою историю от постановки задачи до ее полного решения, после чего определяется эффективность полученного результата, причем история отслеживания этого решения может быть достаточно длительной. При мониторинге выполнения управленческого решения ГИС играет одну из основных ролей, так как может представить ретроспективный анализ изменения любого объекта. Кроме этого, используя интеграционные технологии, можно получить подтверждающую или контролирующую систему эффективности принятых решений.

Мониторинг управленческих решений можно условно разбить на четыре составляющие.

1. Мониторинг за исполнителями данного решения — это правильность применения алгоритма выполнения решения, отчетность, предложения по корректировке данного решения, если возникли трудности в его реализации.

2. Мониторинг за технологией выполнения решения. Иногда при принятии решения невозможно предвидеть многие аспекты, которые возникнут при его выполнении и в этом случае технологию необходимо корректировать.

3. Мониторинг за предметной областью. То, на что направлено управленческое решение, также со временем может изменяться по непредвиденным ранее параметрам. В этом случае необходимы корректировки самого решения, состава исполнителей и технологии выполнения решения.

4. Внешняя среда и ее воздействие. Мониторинг внешней среды и ее воздействия позволяет оперативно вносить те же корректировки, которые перечислены в п. 3.

Перспективы практического применения СППР. Основной областью применения СППР и информационных систем управления в ближайшем будущем видимо будет сфера природопользования, государственный сектор промышленности, военное дело. Но для этого необходимы значительные затраты, которые под силу крупным природопользователям (нефтяным компаниям, добывающим и металлургическим комплексам, транспортным компаниям). Особенно бурно будут развиваться блоки СППР, такие как интеграционные технологии, Интернет, ДЗЗ, глобальные системы позиционирования, мультимедиа.

СППР на основе баз данных, получившие наибольшее распространение в последние годы, естественно будут усложняться новыми блоками. В первую очередь через интеграцию с ГИС. Интеллектуальный анализ данных: экспертные системы, информационно-аналитические технологии (нейронные сети, генетические алгоритмы и т.д.), моделирование ситуаций развиваются как самостоятельно, так и во взаимодействии с ГИС и базами данных. Эффективность каждого блока системы управления получит многократное увеличение при интеграции всех блоков в единую систему управления. Это составляет основное направление перспективы развития СППР.

Немаловажным, но мало востребованным до настоящего времени является создание информационных систем руководителя. Перспективы их создания огромны, тем более что как раз руководители определяют финансовые рамки любого проекта. В этом направлении много проблем. Нынешние руководители, в большинстве своем, не готовы к использованию таких систем, но уже понимают их необходимость. Об этом можно судить даже по широкому использованию электронных записных книжек. Задача состоит в том, чтобы разработчики понимали, какая система управления нужна руководителю, а руководитель понимал, как можно его процесс управления связать с информационной системой и, в частности, с СППР. Если руководитель получит действенный инструмент управления, он будет его улучшать, а, значит, вся система получит перспективу развития. В последнее время появились беспроводные устройства доступа к сетям, кроме этого, Интернет через проводную и сотовую связь также дает возможность удаленного доступа к данным информационных систем. Перспектива состоит в том, чтобы наладить постоянную связь с руководителем в автоматическом режиме.

ГИС в настоящее время базируются на программных продуктах, которые не имеют широкого коммерческого применения, такого как офисные приложения Майкрософт или бухгалтерские и

финансовые приложения. ГИС-программные продукты приспосабливаются к индивидуальному заказчику. Кроме этого, работа с ГИС требует специального обучения. Перспектива состоит в том, чтобы профессиональные ГИС создавали основы, а пользовательские, с простым интуитивно-понятным интерфейсом, позволяли широкому кругу специалистов ими пользоваться и вносить в них дополнительные авторские слои в сфере их непосредственной деятельности. Необходимо также, чтобы пользовательские ГИС могли работать с файлами офисных приложений, так как они стали стандартом для широкого круга пользователей. Наиболее жизненные системы управления, использующие информационные технологии, будут применять принципы синергетики. В заключение хотелось бы пожелать, чтобы будущее поколение специалистов разработало новые стандарты управления для СППР с использованием комплексных информационных систем и технологий.

Контрольные вопросы

1. Что такое СППР?
2. В чем состоят особенности возникновения и развития дисциплины СППР?
3. Что определяет успешность работы СППР?
4. Какие основные требования характеризуют качество информации при формировании СППР?
5. В чем состоит важность правильной постановки задачи в начале формирования проектов управленческих решений?
6. Что снижает риски для ЛПР при принятии управленческого решения?
7. В чем состоит разница уровней информации составляющих СППР?
8. Почему ГИС является определяющим в СППР на ситуационном уровне? Каковы основные требования к информации на этом уровне?
9. Почему время подготовки информации для принятия управленческого решения является определяющим по ее количеству?
10. В чем различие между «точными» и «неточными» ГИС и преимущества каждой из них?
11. Как интеграционные технологии расширяют возможности СППР?
12. В чем состоит роль ЛПР при выработке управленческого решения?
13. Почему мониторинг выполнения управленческих решений является развивающей составляющей СППР?
14. В чем различие между профессиональными и пользовательскими программными продуктами ГИС? Перечислите преимущества каждого из них.

Глава 5

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИС

5.1. Разработка системного проекта ГИС

Основными слагаемыми ГИС являются инструментальная (аппаратная) база (от англ. — «hardware»), программное («software») и организационное («humanware») обеспечение. Организационным аспектам в геоинформатике уделялось недостаточно внимания. Однако для успешной организации работы геоинформационной системы мало приобрести технику и нанять или переподготовить штат; новые средства должны быть разумно интегрированы в рабочий процесс. Оценка осуществимости и стоимости юридических и политических аспектов должна включаться в проект ГИС наряду с оценкой целей и задач, требованиями к программному и техническому обеспечению. В последнее время цены на технику снизились, но качественное математическое обеспечение, данные и квалифицированный персонал остаются проблемой во многих организациях. Все эти аспекты стали учитываться уже на этапе построения модели системы.

Поскольку ГИС могут применяться для решения различных задач и в разных организационных схемах, подходы к разработке системного проекта могут варьировать в довольно широких пределах.

Наибольшее применение ГИС нашли в системах поддержки принятия управленческих решений или информационно-управляющих системах. Поэтому в этом подразделе рассмотрим порядок выполнения работ по разработке системного проекта таких ГИС. Многие из рассматриваемых вопросов имеют отношение и к информационно-справочным системам, и к системам для научных исследований, и т. п.

Основные функции информационно-управляющих систем (ИУС) — планирование и контроль. Эти функции взаимосвязаны. И для планирования, и для контроля необходима своевременная, точная информация, эффективная по отношению к затратам на ее получение.

ИУС должна выдавать информацию о прошлом, настоящем, давать прогноз на будущее и отслеживать все относящиеся к теме

события внутри организации и вне ее. Целью ИУС является облегчение эффективного выполнения функций планирования, контроля и производственной деятельности. Самой важной задачей ИУС является выдача необходимой информации нужным людям в определенное время.

ИУС не является единственной всеобъемлющей интегрированной системой для удовлетворения всех потребностей администрации в информации.

ИУС должна не только выдавать и обрабатывать некоторую информацию, но и быть ориентирована на пользователя, т.е. информация, которую она обрабатывает, должна служить потребностям тех управляющих, которые ее получают.

При проектировании информационной системы нужно иметь в виду, что информационные потребности управляющих различны в зависимости от их уровня в иерархии и функциональных обязанностей.

Принято разделять виды управленческой деятельности на три категории.

1. Стратегическое планирование — процесс принятия решений относительно целей и стратегий организации. Изменение целей, использование ресурсов для достижения этих целей. Выбор стратегий, обусловливающих получение, использование и размещение этих ресурсов.

2. Управленческий контроль — процесс, посредством которого управляющие обеспечивают получение ресурсов и их эффективное использование для достижения общих целей.

3. Оперативный контроль — процесс обеспечения эффективного и квалифицированного выполнения конкретных задач.

Системы, создаваемые для разных категорий управления, различны.

В табл. 5.1 показано изменение характеристик информации, используемой в различных видах управленческой деятельности.

Одним из наиболее важных этапов разработки системного проекта является этап разработки бизнес-плана.

Примерный состав стратегического бизнес-плана

1. Вводная часть:
– название и адрес фирмы;
– суть и цель проекта;
– стоимость проекта;
– потребность в финансах;
– вероятный уровень секретности.
2. Анализ положения дел в отрасли:
– текущая ситуация и тенденции развития отрасли;
– направление и задачи деятельности проекта.
3. Существо предлагаемого проекта:

Таблица 5.1

Характеристика информации в различных видах управленческой деятельности

Характеристика информации	Оперативный контроль	Управленческий контроль	Стратегическое планирование
Источник	В основном внутренний	→	Внешнее
Границы	Четко определенный, узкий	→	Очень широкое
Уровень обобщения	Детализированный	→	Агрегированное
Временны́е рамки	Прошлый	→	Будущее
Новизна	Текущий	→	Довольно старое
Требуемая точность	Высокий	→	Низкое
Частота использования	Очень частый	→	Довольно редкое

– продукция (услуги, в том числе информационные) или работы;
– технология;
– лицензии;
– патентные права.

4. Анализ рынка:
– потенциальные потребители продукции;
– потенциальные конкуренты;
– размер рынка и его рост;
– оценочная доля на рынке.

5. План маркетинга:
– цены;
– ценовая политика;
– каналы сбыта;
– реклама;
– прогноз новой продукции.

6. Производственный план:
– производственный процесс;
– производственные помещения;
– оборудование;
– программное обеспечение;
– источники поставки информации, материалов, оборудования и кадров исполнителей;
– субподрядчики.

7. Организационный план:
– форма собственности;

– сведения о партнерах, владельцах предприятия;
– сведения о руководящем составе;
– организационная структура.
8. Оценка степени риска:
– слабые стороны предприятия;
– вероятность появления новых технологий;
– альтернативные стратегии.
9. Финансовый план:
– план доходов и расходов;
– план денежных поступлений и выплат;
– балансовый план;
– точка безубыточности.
10. Приложения:
– копии контрактов, лицензий и т.п.;
– копии документов, из которых взяты исходные данные;
– прейскуранты поставщиков.

Этапы и правила проектирования ИУС

По мнению Рассела Акфора, процесс проектирования ИУС состоит из пяти основных этапов.

1. Анализ системы принятия решений. Процесс начинается с определения всех типов решений, для принятия которых требуется информация. При этом должны быть учтены потребности каждого уровня и функциональной сферы.

2. Анализ информационных требований. На этом этапе определяется, какой тип информации нужен для принятия каждого решения.

3. Агрегирование решений. Решения, для принятия которых требуется одна и та же или значительно перекрывающаяся информация, должны быть сгруппированы в одну задачу управления.

4. Проектирование процесса обработки информации. На данном этапе разрабатывается реальная система сбора, хранения, передачи и модификации информации. При этом должны быть учтены возможности персонала по использованию вычислительной техники.

5. Проектирование и контроль за системой — важнейший этап создания и воплощения системы, служащей для оценки выдаваемой ИУС информации и позволяющей распознавать и исправлять замеченные ошибки.

Любая система будет иметь недостатки и поэтому ее необходимо делать гибкой и приспособляемой. Геоинформационные технологии призваны автоматизировать многие трудоемкие операции, ранее требовавшие больших временны́х, энергетических, психологических и других затрат от человека. Однако разные этапы технологической цепочки поддаются большей или меньшей автоматизации. Наиболее велика роль интеллектуальных способностей

человека на этапе постановки задачи. Даже определяя конечную цель всей работы, она во многих случаях формулируется «размыто», неоднозначно. Специалисты по геоинформатике знают, как непросто получить от «заказчика» геоинформационной системы ясную формулировку того, что он хочет получить в результате всей работы, и весьма часто «разработчик» ГИС помогает «заказчику» в этом. «Разработчик» ГИС должен не только показать преимущества той или иной технологии, проиллюстрировать их ранее выполненными работами, но и постараться понять конечную и сопутствующие цели «заказчика». Здесь роль психологии может проявляться в определении семантического пространства «заказчика» и пользователя. Под семантическим пространством понимаются с определенной точностью установленные отношения («близость — удаленность», иерархия и т.д.) между понятиями, терминами, постулатами, научными пристрастиями и т.п. Семантическое пространство может быть определено как для отдельного субъекта, так и для коллектива.

Как показывает опыт, хорошо спроектированная, с точки зрения исполнителя, система может оказаться совершенно неработоспособной, если:

— к процессу проектирования не были привлечены те сотрудники, которые будут впоследствии ею пользоваться. В результате система может либо давать недостаточный для управления объем информации, либо перегружать менеджеров излишними сведениями;

— персонал оказывается в основном неподготовленным к ее использованию. Бóльшая часть деятельности осуществляется по старым технологиям, а использование системы становится дополнительной нагрузкой для персонала. Обновление данных начинает отставать от требуемого ритма, и через некоторое время процессы работы системы и реального управления совсем расходятся.

ИУС не может считаться эффективной, если выгоды от ее использования заметно не превышают затраты на ее создание. Наилучшая ИУС — это не обязательно такая система, которая дает наибольшее количество данных и обеспечивает наибольшую точность и скорость их получения. Лучшая ИУС предоставляет сведения такого количества и качества, которые необходимы для целей управления при наименьших возможных затратах. Стоимость эксплуатации ИУС значительно превосходит затраты на оплату труда специалистов и стоимость оборудования для обработки данных. В состав затрат входит время, затраченное на ее проектирование и установку, обучение персонала, а также время и расходы, связанные со сбором, накоплением и обработкой данных.

Изложенные выше общие подходы к планированию и разработке информационно-управляющей системы могут быть уточнены и детализированы на случай построения системы, использующей ГИС-технологии.

По мнению Р.Ф.Томлинсона, процесс планирования ГИС позволяет существенно снизить затраты на ее создание.

Как было указано в журнале «Moody» (октябрь 1996 г.), соотношения стоимости эквивалентных изменений на различных этапах создания ИС выглядят так:

1$ — на стадии разработки требований;

10$ — на стадии проектирования;

100$ — на стадии создания;

1000$ — на стадии внедрения.

После того как сформулированы стратегические цели и задачи создания информационной системы, начинается планомерная работа по разработке бизнес-плана.

Определение входных и выходных данных системы

I. Одним из самых важных этапов планирования является оценка потребностей всех потенциальных пользователей, формулирование требований к информационным продуктам, используемым в их работе или являющихся ее результатом. Отсюда вытекают два ключевых шага работы над геоинформационным проектом.

А. Моделирование бизнес-процессов.

Б. Описание информационных продуктов, участвующих в этих процессах, и их параметров:

– требований к распечатке карт;

– требований к распечатке таблиц, списков, документов;

– требований к поиску документов;

– требований к данным (с учетом применяемых функций, частоты использования, логических связей, допустимых ошибок, толерантности к ожиданию, стоимости, анализа выгод).

При этом следует иметь в виду, что информационный продукт всегда является адресным.

В результате выполнения указанных шагов планирования системы должен быть создан документ с условным названием «Общий список входных данных».

Этот список должен содержать следующую информацию о каждом элементе списка.

- Идентификация данных:
  - название набора данных;
  - номер набора данных;
  - название организации источника;
  - существующие метаданные.
- Объем данных:
  - носитель исходных данных;
  - формат цифровых данных;
  - процент цифровых данных (на момент создания списка);
  - тип первичных записей;
  - объем первичных записей;

общий объем данных.

- Сканирование:
  размер листа (см);
  минимальное разрешение при сканировании dpi;
  качество материала.
- Графическая часть:
  типы объектов;
  характер их локализации;
  правила их цифрового описания;
  способ установления соответствия с атрибутивной информацией;
  точность данных.
- Атрибутивная часть:
  структура атрибутивной информации;
  наличие словарей и т.п.

Из реальной жизни известно, что при реализации конкретных проектов выделяется как минимум два подхода: 1) сбор всех более или менее пригодных данных, которые когда-нибудь могут пригодиться и 2) жесткий отбор данных по принципу «чем меньше "мусора" в базах данных, тем лучше». У каждого из подходов есть свои плюсы и минусы, поэтому задача состоит в их оптимизации. Любопытно, что разные типы людей предпочитают разные подходы к сбору данных — так, более замкнутые в себе интраверты предпочитают второй подход, а экстраверты — первый.

II. Следующий этап проектирования системы — определение приоритетов, очередности создания и основных параметров (территориального охвата, функционального охвата и объема данных) создаваемой системы.

Этот этап включает анализ:

- приоритетности информационных продуктов.

Для определения приоритетности должны быть заданы критерии, например:

– увеличение скорости принятия решения;
– объективизация принятия решений;
– улучшение качества услуг и т.д.;

- нагрузки, связанной с обработкой данных.

Анализ потенциальных пользователей, территорий, на которых необходимо первоначальное внедрение, определение частоты обращений, сложности функций обработки данных, их ориентировочные объемы и т.д.;

- требований к наличию данных.

При каком объеме накопленных данных система может выполнять свои функции.

Далее определяются требования к используемым данным с учетом максимального их применения уже в начале реализации проекта, причем как у заказчика, так и в других организациях.

На данном этапе определяются концептуальные требования:

• логическая модель данных. Речь идет о моделях данных для хранения как позиционной, так и атрибутивной информации. От выбора адекватных моделей данных зависит возможность совершенствования системы по мере роста потребностей и возможностей организации. Например, при работе с сетями важно обеспечить решение как собственно сетевых задач (массоэнергоперенос, оптимизация нагрузок, перераспределение транспортных потоков при авариях), так и задач пространственного анализа (построение зон отчуждения, природоохранных зон, моделирование магнитных полей в зоне линий электропередач, опасных геологических процессов в местах расположения опор, фундаментов и т. п.);

• качество данных (разрешение, требования к точности, интеграции и обновлению, уровень ошибок, потребность в информационных продуктах);

• анализ допустимости различных типов ошибок: пространственного положения, топологических, ссылочных, ошибок в атрибутивной информации;

• пространственное расположение данных. В каких точках физически хранятся, накапливаются и обновляются данные, каковы условия предоставления данных в общую систему;

• стандарты данных (текущие, прогнозируемые, потребность в информационных продуктах, обеспечивающих их поддержку);

• требования к преобразованию данных. Многообразны аспекты, связанные с процессами цифрования различных картографических материалов. Несмотря на все большее распространение технологий сканирования с последующей векторизацией изображений, доля ручного труда на этом этапе самая существенная. Помимо аспектов, связанных с изучением появления ошибок при цифровании (см. 2.1.3), что исследовано достаточно хорошо, важны также оценки психологической предрасположенности людей к монотонным рутинным операциям.

Следует также учитывать возможные типы обмена цифровыми данными. Например, в системах мониторинга чрезвычайных ситуаций может быть необходимо обеспечение работы напрямую с данными в форматах других систем (мониторинга лесных пожаров, мониторинга наводнений и т. п.), а в системах градостроительного кадастра достаточно передавать информацию через обменные форматы. В ряде случаев требуется конвертация данных с участием специалистов, особенно если классификаторы данных в проектируемой системе не совпадают с классификаторами в системах, информацию которых предполагается использовать;

• оценка нагрузки и затрат, связанных с обработкой данных.

На этом шаге следует учитывать не только непосредственные работы по анализу и обработке данных, но и работы, связанные с обеспечением необходимой степени надежности их хранения.

Только изменение способа хранения данных, обеспечение его надежности приводит к изменению стоимости в 20—25 раз.

Экспертная оценка затрат, связанных с хранением данных (2001—2002), такова:

— персональный компьютер: до 40 Гб, безопасность не гарантируется, $5 за 1 Гб;

— подключение к серверу рабочей группы: 40—200 Гб, RAID 5, $70—90 за 1 Гб;

— массовое хранение в корпоративной сети: от 600 Гб до 10 Тб, RAID 1, полное «зеркало»;

— серверная и дисковая подсистема, высокая степень безопасности: $100—130 за 1 Гб;

• требования к технологии обработки данных.

Прежде всего оценке подлежат требования к функциональным возможностям системы.

Фирма Tomlinson Associates Ltd. ранжировала функции обработки и анализа данных, применяемые в ГИС по частоте их использования. В скобках указан относительный коэффициент использования различных функций:

— поиск объектов по атрибутам (1050);
— изменение масштаба (192);
— графическое наложение (154);
— топологическое наложение (полигон на полигон) (115);
— расчет центроида (109);
— кадрирование (98);
— обновление (88);
— анализ сети (78);
— топологическое наложение (точки в полигон) (54);
— расчетная арифметика — создание макросов (29);
— анализ непрерывности (28);
— измерение площадей (25);
— топологическое наложение (линия на полигон) (17);
— сжатие (12);
— повторная классификация атрибутов (8);
— функции САПР (6).

Наличие следующих функций необходимо в системе. Они нужны нечасто, но от их наличия может зависеть возможность решения некоторых задач:

ввод точек;
растеризация (переход к растровой модели данных);
построение буферных зон;
преобразования плоскости;
создание окружностей;
создание полигонов;
координатная геометрия: угол/расстояние между точками;
создание линий;

пообъектный просмотр;
подсчет количества объектов;
построение границы водоразделов;
поиск по регионам;
рассеивание линий/слияние атрибутов;
построение графиков;
определение зон прямой видимости;
измерение расстояний;
интерполяция рельефа;
трехмерная визуализация (перспективная проекция);
определение кратчайшего маршрута;
оконтуривание;
статистические функции;

• определение требований к интерфейсу системы и к передаче данных.

Требования к интерфейсу могут изменить настройку от «системы с одной кнопкой» до «системы с гибким интерфейсом пользователя». Первый вариант характерен для клиентских мест, установленных в диспетчерских или производственных службах, решающих конкретные задачи (выдача наряд-заказа и т. п.). Пользователи таких служб не обладают высокой квалификацией и не решают задач по серьезному анализу информации.

Информационно-аналитические службы, напротив, имеют множество нестандартных задач, предусмотреть которые заранее практически невозможно. В этом случае интерфейс должен обеспечить настройку системы для более удобного решения конкретной задачи текущего момента.

Требования к передаче данных зависят от способа их сбора, распределенности системы и необходимой оперативности их передачи.

Если ремонтные бригады в процессе работы или после ее окончания выполняют съемку территории и объектов на ней, то в современных условиях для этого могут быть использованы карманные компьютеры типа Palm или Cassipeia с блоками GPS. Для передачи данных между распределенными центрами сбора и обработки информации, не используемой в режиме реального времени, может быть использована электронная почта. При работе в режиме реального времени необходима сеть, параметры которой зависят от степени оперативности и надежности. В нефтегазовой отрасли для объектов, отключение которых может привести к выходу из строя всей системы добычи нефти, используются датчики, которые через спутниковые каналы периодически передают мониторинговые данные и координаты объекта. В современных условиях при существенном снижении стоимости микросхем, на базе которых создаются такие датчики, это позволяет значительно снизить затраты и повысить оперативность выполнения мониторинга.

Следует отметить, что все технологические решения очень быстро морально устаревают.

III. Разработка стратегии внедрения.

На этом этапе уточняются и доводятся до проектов нормативных документов ***требования к взаимодействию организаций*** и их подразделений на всех уровнях (локальных, региональных, федеральных). Особенно важно разработать документы, регламентирующие следующие вопросы:

— модели данных;

— метаданные;

— схемы обновления, ведения, доступа;

— уровни доступа к информации, доступность данных;

— совместные действия (кто принимает решения и кто финансирует их исполнение);

— административная структура для координации данных, функций и обязанностей.

Важным вопросом стратегии внедрения является ***обеспечение информационной безопасности***, т.е. выявление потенциальных опасностей и принятие решений по их предотвращению.

к возможным опасностям относят:

природные катастрофы;

техногенные катастрофы;

ненадежность компьютерных систем;

несанкционированный доступ к данным;

разрушение данных;

неполнота и неактуальность данных.

Заметим, что в одних организациях предпочитают как можно надежнее охранять «свои» данные, уделяя максимум внимания защите от несанкционированного доступа, в других, наоборот, стараются распространить «свои» данные. Здесь можно провести некоторые аналогии с ГИС-пакетами — одни фирмы создают хитроумную защиту, а другие не заботятся об этом вовсе. При этом неизвестно, какие из них получат бóльшую прибыль, возможно, те, чья продукция широко копируется (а тем самым и пропагандируется).

Среди рекомендуемых решений по защите информации можно выделить следующие.

• Обеспечение физической безопасности:

– предотвращение несанкционированного доступа в хранилище;

– изучение плана развития на предмет возникновения новых объектов;

– введение процедуры отметки документов и сопровождения;

– модернизация системы противопожарной безопасности;

– установка сигнализации во всех помещениях.

• Логическая безопасность:

– определение политики доступа к клиентским местам;

– контроль и защита устройств и средств передачи информации;
– внедрение стандартов защиты от вирусов;
– разработка ограничений доступа по типам документов.
• Безопасность архивов:
– резервное копирование;
– создание удаленных хранилищ.

Существенным является планирование обеспечения системы персоналом и разработка программы подготовки специалистов по категориям персонала:

— менеджеры ГИС (планирование и дизайн ГИС, администрирование системы);

— пользователи ГИС (программное обеспечение, методы обработки и анализа данных).

Для определения стратегии внедрения необходимо создать ***модель стоимости системы***, которая должна включать оценку стоимости создания, модернизации и эксплуатации и может содержать следующие позиции.

• Клиентские и серверные места:
– клиентские места;
– устройства массового хранения;
– устройства резервного копирования.
• Устройства ввода:
– сканеры;
– системы глобального позиционирования;
– карманные компьютеры.
• Устройства вывода:
– принтеры;
– плоттеры.
• Персонал:
– дополнительный;
– обучение;
– поездки.
• Программное обеспечение:
– ГИС;
– векторизаторы;
– программы полевого сбора данных;
– СУБД;
– конверторы.
• Данные:
– приобретение;
– редактирование;
– преобразование;
– обновление;
– ведение-исправление ошибок.
• Подготовка рабочих мест:
– помещения;

– мебель.
• Связь:
– фиксированная разводка;
– выделенные линии связи;
– концентраторы;
– маршрутизаторы;
– оборудование удаленной связи.

При создании производственной системы должны быть проанализированы и оценены ***выгоды от внедрения системы***.

• Экономия:
– снижение количества чел.-ч на решение задач;
– минимизация текущих расходов;
– минимизация расходов на эксплуатацию.
• Выгоды для организации:
– выгоды в результате получения новой информации;
– выгоды от изменения текущих операций;
– повышение эффективности планируемых расходов;
– повышение доходов;
– минимизация риска инвестиций;
– снижение ответственности;
– разработка лучших вариантов политики.

Одним из важных этапов планирования является разработка ***стратегии реализации проекта***, которая включает:

• принципиальный подход к внедрению: эволюция или революция;
• последовательность внедрения;
• временные схемы работы;
• использование существующих СУБД, САПР, документооборота и других унаследованных систем.

Необходимо выполнить также ***анализ рисков***, которые можно подразделить на следующие.

• Тхнологические:
– использование новых технологий;
– разрывы в технологиях;
– пробелы в технологиях;
– появление новых технологий.
• Функциональные:
– изменение целей и/или задач создания системы и, следовательно, ее функций.
• Организационные:
– множество организаций, разбросанных географически;
– необходимость введения изменений в управление.
• Ограничения:
– бюджет;
– время.
• Дополнительные проблемы:

– законодательство;
– режимные ограничения;
– согласованность действий поставщиков.
• Планирование проекта:
– качество разработки;
– соответствие существующей стратегии.
• Управление проектом:
– проверенные методы;
– отчетность;
– контроль качества на отдельных этапах.
• Проектные ресурсы:
– персонал;
– опыт;
– финансирование.
• Проектный график:
– рациональность;
– учет ключевых моментов.

При разработке стратегического плана внедрения следует учитывать общие правила:

— добавлять информационные продукты необходимо постепенно, в соответствии с корректировкой потребностей;

— в случае крупного институционального изменения должна быть пересмотрена работа всего предприятия;

— время разработки информационной системы не должно превышать срока жизни технологии, которую предполагается использовать.

Остановимся подробнее на некоторых специфических для разработки системах, использующих ГИС-технологии.

Выбор программного обеспечения ГИС

Имеется множество публикаций с оценками применяемых технических средств и ГИС-пакетов для разнообразных проектов и задач. Однако психологические аспекты их выбора рассматриваются гораздо реже. Так, формальные модели процесса закупки ГИС освещены в работах [M. F. Goodchild, B. R. Rizzo, 1987; M. F. Goodchild, 1987]. Кроме того, следует вспомнить, чем мы обычно руководствуемся, закупая технику и программное обеспечение. Видимо, определяющим является преемственность и элементы известности. Так, вряд ли кто закупит оборудование, не совместимое с тем, которое использовалось ранее, и начнет работу как бы заново.

Значительное влияние на выбор оказывает также программное обеспечение аналогичных организаций. Реклама, конечно, играет некоторую роль, но вот какова ее доля в процессе принятия решений, оценить довольно трудно.

Как известно, в ГИС выделяют четыре основные подсистемы:
ввода данных;
хранения данных;
пространственного анализа;
выдачи данных.

Каждая из этих подсистем может быть по-разному организована и построена на различных программных продуктах. Использование тех или иных возможностей, кроме всего прочего, определяется моделями данных, принятыми и реализованными в системе, т. е. теми моделями данных, которые корректно поддерживаются в СУБД и подсистеме анализа.

Рассмотрим более подробно современные подходы к реализации этих подсистем.

Подсистема ввода данных. Исходными данными служат карты, планы, снимки. Источниками сведений при создании конкретной системы могут быть кроме карт также другие внешние источники, позволяющие получить цифровые данные.

Чаще всего такими источниками являются другие ГИС, в которых необходимые данные уже имеются, или универсальные программы ввода информации. В этом случае информация передается или через обменные форматы, или (если это позволяют системы) импортируется из них в форматы создаваемой системы, или, наконец, используется в формате исходной системы без конвертации, если программные средства создаваемой системы имеют специальные модули или драйверы, обеспечивающие работу с данными в форматах других систем.

Например, если работа будет осуществляться в системе GeoMedia Professional, то необходимые данные можно:

- вводить непосредственно в системе;
- вводить, используя векторизаторы, например EasyTrace, с сохранением в одном из обменных форматов, которые может читать GeoMedia Professional (например, формат Mid/Mif системы MapInfo Professional);
- читать, используя текстовой формат, в том числе и для обмена данными с системами глобального позиционирования;
- читать напрямую из форматов тех систем, для которых имеются соответствующие драйверы. Для системы GeoMedia Professional это:
  - ArcInfo
  - ArcView
  - Framme
  - MapInfo
  - MGE
  - CAD.

Другим классом источников данных являются различные датчики, в том числе приемники глобального позиционирования (ГЛОНАСС или НАВСТАР).

Важным классом систем, в которых производится подготовка данных для ГИС, являются системы специализированной обработки материалов дистанционного зондирования, прежде всего системы фотограмметрической обработки и дешифрирования информации.

Все более популярным источником получения данных является Интернет-Интранет. В этом случае речь идет об информационных системах широкого пользования в качестве источников информации.

В зависимости от предполагаемой схемы ввода и обновления данных должно быть выбрано ПО, позволяющее приводить все материалы к согласованному виду и возвращать их партнерам в приемлемом для них виде. При этом может возникнуть проблема обмена цифровыми картами между различными ГИС.

Обменными форматами данных называются правила кодирования позиционной и атрибутивной информации вне среды ГИС.

Преобразование данных из внутреннего представления системы в другой формат называется ***экспортом*** данных. Наоборот, ввод содержимого файла, где записана позиционная и атрибутивная информация в некотором обменном формате, в какую-нибудь ГИС, называется ***импортом*** ее в среду ГИС.

Подавляющее число широко используемых обменных форматов не передают топологические отношения между объектами. К таким форматам относятся DXF (AutoCAD), MIF (MapInfo), GEN (ArcInfo), Shape (ArcView), F1-F20V, SXF и т.д. Для нетопологических карт никаких проблем нет; поскольку они не учитывают топологии, возможностей упомянутых форматов в этом случае вполне достаточно. А как быть с топологическими ГИС? Для них используется два подхода:

1) применение обменных форматов, передающих топологические отношения (например, S57 — формат международной гидрографической организации);

2) импорт с использованием нетопологического обменного формата и построение топологии в ГИС.

Еще одна проблема при обмене данными — это взаимодействие систем, работающих с аналогичными по сути материалами, например, топографическими картами масштаба 1 : 50 000, при описании которых использованы разные правила цифрового описания и классификаторы. Так, в течение 2000—2001 гг. решалась проблема обмена данными между Военно-топографическим управлением Генерального штаба РФ и Роскартографией, поскольку составленные ими классификаторы объектов топографических карт масштабов 1 : 25 000 и 1 : 50 000 отличались примерно на 30 %. При этом в обоих случаях при составлении классификаторов использовался один и тот же документ — Условные знаки топографических карт.

Подсистема хранения данных. Реализация этой подсистемы зависит от варианта организации работы пользователей с системой. Возможны следующие варианты:

- локальное рабочее место;
- сетевая организация с файл-серверным режимом доступа к данным без многопользовательского режима обновления информации;
- сетевая организация с файл-серверным режимом доступа к данным и многопользовательским режимом обновления атрибутивной информации;
- сетевая организация с файл-серверным режимом доступа к данным и многопользовательским режимом обновления метрической информации;
- сетевая организация с клиент-серверным режимом доступа к данным и многопользовательским режимом обновления информации, записанной в формате сервера;
- сетевая организация с клиент-серверным режимом доступа к данным и многопользовательским режимом обновления информации, с сервером, поддерживающим работу с данными в различных форматах;
- Интернет-Интранет режим с пассивным клиентом, позволяющим выполнять запросы к серверной информации;
- Интернет-Интранет режим с активным клиентом, позволяющим выполнять обновление информации на сервере.

До недавнего времени при организации хранения данных в ГИС позиционная и атрибутивная составляющие хранились в разных СУБД, при этом обе СУБД не являлись коммерческими, а были частью ГИС. На следующем этапе для хранения и обработки атрибутивной информации стали использоваться коммерческие СУБД, при этом появилась возможность с одной и той же ГИС использовать разные СУБД в зависимости от требований к объемам и скорости обработки данных, их защиты и надежности системы (защиты от разрушений, несанкционированного проникновения и использования материалов). Одной из таких СУБД для большинства ГИС является Oracle.

И наконец, на современном этапе коммерческие СУБД во многих географических информационных системах используются и для хранения позиционной информации.

Требования к системе в отношении используемой СУБД в основном определяются схемой работы системы и требованиями к надежности работы. Понятно, что, например, система земельного кадастра для крупного города будет сетевой и должна иметь практически 100%-ю надежность. Навигационная система автомобиля, скорее всего, будет реализована для работы на персональном рабочем месте (в автомобиле) и требования к ее надежности будут существенно ниже.

Подсистема пространственного анализа и визуализации результатов анализа. Первые две подсистемы несомненно являются важными подсистемами ГИС, но без подсистем пространственного анализа, а также визуализации и вывода они не были бы ГИС. Возможности пространственного анализа в различных системах различны.

Не всегда имеющегося программного обеспечения достаточно для решения всех задач, стоящих перед проектом. Необходимо дописывать некоторые фрагменты и модули.

При создании оригинального программного обеспечения любопытны рекомендации по организации работы программистов, заимствованные авторами из книги [M. Konecny, K. Rais, 1985]. Так, организация работы должна отвечать не только размерам поставленной задачи, но и возможностям участников работы; при этом следует помнить, что так называемый метод «монгольской орды» не может быть использован; иначе говоря, каждому проекту, каждому этапу отвечает некоторое оптимальное число людей, с толком участвующих в работе. Превышение этого оптимального числа может быть лишь помехой. Организация работы бригад по созданию программного обеспечения современных географических информационных систем должна исходить из следующих основных принципов:

1) задание распределяется таким образом, чтобы над относительно самостоятельными его разделами работали небольшие группы людей;

2) во главе проекта и каждой крупной группы стоит руководитель, который принимает участие во всех этапах реализации. Обычно у него есть заместитель, работающий с ним в течение всего периода реализации и являющийся соучастником всех решений; в случае необходимости он заменяет руководителя в решении вопросов, касающихся отдельных частей проекта;

3) остальные члены бригады совместно действуют в качестве программистов либо обеспечивают разного рода службы при компьютере в качестве составителя документации, контролера, заведующего библиотекой программ, секретаря, следят за выполнением проекта, а в случае необходимости исполняют обязанности системного аналитика, представителя заказчика и т. д.

Возможности программного обеспечения при выполнении анализа данных определяются, кроме всего прочего, теми моделями данных, которые позволяет использовать система. Поэтому самые современные разработки (ArcInfo 8.* и др.) поддерживают большой набор моделей данных.

Одним из наиболее сложных элементов в моделях данных ArcInfo 8.* является новая сетевая модель данных — геометрическая сеть.

Геометрическая сеть — это набор классов объектов, участвующих в линейной системе. Геометрическая сеть соответствует представлению сети в виде коллекции пространственных объектов.

Основными преимуществами модели геометрической сети по мнению разработчиков являются следующие:

- упрощается редактирование сетей. Корректное добавление объектов обеспечивается правилами связности сети;
- сетевые пространственные объекты могут представлять сложные части сети, например, переключатели;
- ArcInfo содержит комплект готовых решателей для простого и сложного сетевого анализа;
- база геоданных использует двойственное представление линейных систем, состоящее из геометрической и логической сетей;
- геометрическая сеть всегда связана с логической сетью, которая является графом, представляющим сеть и состоящим из элементов — ребер и соединений. Совместно эти два представления сети обеспечивают развитую модель данных для хранения и анализа линейных систем;
- центральной частью логической сети является таблица связности, которая описывает, как связаны сетевые элементы;
- каждая строка таблицы связности указывает все смежные соединения вместе с ребрами, которые их связывают. С помощью таблицы связности поддерживается целостность сети;
- естественно, что логическая сеть содержит также таблицу соединений и таблицу ребер.

В геометрической сети может участвовать любое число классов пространственных объектов. Например, один класс соединений (города) и два класса ребер (основные рельсовые пути и маршруты грузовых автомобилей).

Эта модель включает четыре типа сетевых объектов: простое и сложное ребро и простое и сложное соединение.

В приложениях для инженерных коммуникаций направление потока по ребрам должно быть встроенной частью сети. При определении направления указывается, совпадает ли оно с направлением пространственного объекта или противоположно ему, а кроме того вводятся два особых вида соединений — источники и стоки.

Источник — это соединение, через которое в сеть поступает продукт. Сток — это соединение, через которое весь попавший в него поток продукта удаляется из сети.

Это далеко не полное описание новой модели данных, которая необходима для характеристики всего многообразия сетевых объектов: дорог, инженерных коммуникаций, сетей, линий электропередач и др.

Важным звеном в организации данных в ГИС являются и ***модели атрибутивных данных***.

В настоящее время, как было отмечено выше, в ГИС применяются следующие модели атрибутивных данных:

- реляционная (записи фиксированного формата);

• объектно-ориентированная;
• объектно-реляционная.

По мнению Р.Ф.Томлинсона, каждая из моделей имеет свои преимущества и недостатки. Рассмотрим их более подробно.

Реляционная модель. Достоинства: простая структура; была оптимизирована для возможностей построения запросов и анализа; работает быстро и эффективно благодаря прямому доступу к данным. Около 90 % всех данных в мире хранятся именно в этой модели данных.

Недостатки: модель дает ограниченное представление реального мира; обладает ограниченной гибкостью построения запросов и управления данными.

Объектно-ориентированная модель. Достоинства: обеспечивает очень сложное представление реального мира; поддерживает множественные уровни обобщения, объединения и ассоциации; хорошо сочетается с методами имитационного моделирования; возможно множественное синхронное обновление (контроль версий).

Недостатки: комплексные модели более сложны для разработки и построения (критическим является выбор объектов); сложно производить обмен с другими базами данных (импорт и экспорт); большие и сложные модели замедляют скорость работы.

Объектно-реляционная модель. Достоинства: объекты являются факультативными по отношению к реляционной модели и используются главным образом для поддержания целостности реляционной базы данных и для создания специального режима работы; расширенные таблицы реляционной базы данных используются для документирования правил атрибуции, сетевых правил, правил деления и слияния, а также правил построения пространственных отношений.

Недостатки: является компромиссом между объектно-ориентированной и реляционной моделями; не происходит инкапсуляции данных.

Средства связи пользователя со средой ГИС (интерфейс пользователя) являются очень важным элементом функционирования всей системы. Пользователь может непосредственно или с помощью оператора взаимодействовать с ГИС, например, обращаясь к базе данных, а может в качестве конечного пользователя применять материалы в своей работе, допустим, принимая архитектурные решения на основе ряда предложенных вариантов, даже не представляя, каким путем эти варианты были созданы. Запросы подразделяют на явные и неявные: например, двойной щелчок мыши на объекте задает неявным образом вывод на экран содержательных сведений о нем, что заранее запрограммировано производителем программного обеспечения. Для явных запросов используются диалоговые окна или какой-либо специальный язык запросов, например SQL. Принято выделять несколько типов интерфейсов:

• команды — специальные записи, которые оператор должен набрать в командной строке, например copy (копировать файл), print (распечатать файл), sort (сортировать файлы) и т.д. Для этих целей ранее в подавляющем числе случаев использовались английские слова, но сейчас почти весь программный продукт предлагается пользователю русифицированным. Для пользователей, не владеющих английским языком, представлялось сложным точно, соблюдая все правила орфографии и пунктуации, набирать разнообразные команды, учитывая еще и то, что число команд может приближаться к тысяче;

• меню — текстовые или пиктографические — позволяют выбрать какую-либо команду из возможного в данное время их перечня, задаваемого словесно (текстовые меню) или в виде схематизированной или символической фигурки, например изображения принтера (пиктографические меню);

• окна — одновременный или последовательный вывод на экран изображений или текста (в том числе и гиперизображений и гипертекста, когда отдельные выделенные объекты или слова как бы переводят пользователя на другой уровень и дают более детальное изображение, объяснение термина и др.). Причем в разных окнах может демонстрироваться один и тот же объект, допустим при разных углах его наклона, с изменением масштаба, с «разрезом» по профилям и т.д.;

• комбинированные способы — иногда сочетающие сразу все ранее упомянутые типы интерфейсов. Эффективны диалоговые подходы, позволяющие путем выбора ответов на вопросы достигать требуемого результата.

Активно развиваются сенсорные (осязательные) методы интерфейса, когда пользователь прикосновением пальца к высвечиваемому на экране меню управляет работой компьютера.

Контрольные вопросы

1. Назовите три основные категории управленческой деятельности.
2. Как изменяются характеристики информации в трех основных категориях управленческой деятельности (положение источников, границы, уровень обобщения, актуальность, точность, частота использования)?
3. Назовите основные этапы проектирования информационно-управляющей системы, базирующейся на ГИС.
4. Назовите критерии качества информационной системы.
5. Как формируется и какие сведения содержит «Общий список входных данных»?
6. Как оцениваются требования к функциональным возможностям системы?
7. Какие параметры качества данных должны быть описаны на этапе определения требований к используемым данным?
8. Какие причины могут привести к потере данных в ГИС? Какие решения могут обеспечить сохранность информации?

9. Какие специалисты обеспечивают функционирование ГИС-проекта?
10. Какие документы определяют правила создания и движения информации в ГИС?
11. Из каких позиций складывается стоимость ГИС-проекта?
12. Какими могут быть выгоды от внедрения ГИС?
13. Какие могут быть риски при реализации ГИС-проекта?
14. Назовите основные различия проектирования карты и ГИС.

5.2. Инфраструктуры пространственных данных

Базовые наборы данных. Расширение сферы использования ГИС и интегрированных с ними технологий обусловливает огромное разнообразие выполняемых на их основе геоинформационных проектов разного территориального охвата, предметной специализации и проблемной ориентации. К принципиально новому классу проектов, начало разработки которых относится к середине 90-х годов XX в., принадлежат программы и проекты создания национальных и международных региональных *инфраструктур пространственных данных* (ИПД). Главный мотив создания ИПД — свобода и легкость доступа к информации со стороны государственных и коммерческих организаций, а также и простых граждан, удобство информационного взаимодействия держателей и потребителей данных, устранение ведомственных информационных барьеров, дублирования сбора пространственных данных, их эффективное использование.

Сложность реализации и масштабность подобных проектов, требующих мобилизации немалых финансовых, организационных и интеллектуальных средств для решения комплекса задач, связанных с инфраструктурным обеспечением использования национальных и межнациональных информационных (и геоинформационных) ресурсов, позволяет утверждать, что их разработка относится к приоритетным направлениям развития мировой геоинформационной индустрии на ближайшие 5—10 лет.

Предпосылки действительной тотальной интеграции технологий и информационных ресурсов на региональном, национальном и глобальном уровнях в форме ИПД были подготовлены к середине 90-х годов развитием сети Интернет. Начало работ над ними традиционно связывают с инициативой США по разработке национальной ИПД (NSDI) в соответствии с Указом Президента США Б. Клинтона от 13 апреля 1994 г. «Координация сбора и обеспечение доступа к географическим данным: Национальная инфраструктура пространственных данных», в котором, среди прочего, утверждается, что «...Географическая информация крайне необходима для содействия экономическому развитию, для совершенствования управления природными ресурсами и защиты окружа-

ющей среды. Новые технологии позволяют усовершенствовать механизмы сбора, распространения, использования и картографического отображения географических (или геопространственных) данных... Под «Национальной инфраструктурой пространственных данных» понимаются технология, политика, стандарты и трудовые ресурсы, необходимые для сбора, обработки, хранения, распространения и совершенствования использования пространственных данных...» [W.J. Clinton, 1994]. Затем аналогичные проекты были предложены рядом национальных и международных организаций, среди которых Глобальная ИПД (GSDI), Канадская ИПД (CGDI), ИПД Австралии и Новой Зеландии (ASDI), Азиатско-Тихоокеанская ИПД (APSDI), европейские национальные инициативы в рамках панъевропейской программы EUROGI.

Многолетняя практика разработок концептуальных основ и реализации национальных ИПД позволила выделить в их составе три инвариантные составляющие:

1) ***базовую пространственную информацию***;
2) ***стандартизацию пространственных данных***;
3) ***базы метаданных и механизм обмена данными***.

Кроме них проекты некоторых национальных ИПД содержат четвертый компонент — институциональную основу. Это институции, органы, механизмы координации, службы, обеспечивающие ее проектирование и реализацию. Он факультативен и включается в состав ИПД в условиях отсутствия предпосылок и механизмов развертывания работ над нею.

Рассмотрим необходимые компоненты ИПД, проиллюстрировав особенности их реализации на конкретных региональных примерах в заключительной части подраздела.

Под базовой пространственной информацией или базовыми наборами данных (БНД)[1] в национальных ИПД принято понимать набор «базовых», «основных», наиболее необходимых слоев или групп слоев ГИС, соответствующий по своему содержанию цифровой карте-основе. К числу таких слоев принято относить геодезическую основу, рельеф, гидрографическую и транспортную сеть, административные границы. В зависимости от конкретных национальных условий и стратегии создания национальных ИПД этот перечень может дополняться другими элементами; это могут быть цифровые ортоизображения, населенные пункты, землепользования и т.д. Состав базовой информации определяется, с одной стороны, исходя из потребностей в ней потенциальных пользователей — государственных и коммерческих организаций, а также частных граждан, и, с другой — сообразуясь с наличием готовых наборов цифровых данных. Предполагается, что большинство эле-

[1] Предложены различные их наименования в оригинале: «framework», «fundamental data», «core datasets», «fundamental datasets».

ментов БНД может быть сгенерировано из уже существующих цифровых данных.

Некоторые из его элементов могут не иметь самостоятельного значения, например, национальная база данных адресов физических и юридических лиц, которая предназначена лишь для создания производных БД путем адресной привязки крупных наборов тематических данных (например, результатов переписей населения).

Для национального базового набора должен быть определен уровень пространственного разрешения (например, в терминах масштаба соответствующей цифровой карты-основы), который в свою очередь определит позиционную точность базовых данных. Атрибутика элементов базового набора должна быть минимальной. Каждый его элемент должен покрывать территорию без пробелов. При этом необходимо наличие механизма перманентного обновления территории.

Задача создания БНД возлагается обычно на специальный комитет ведущих ведомств, которые выполняют эту работу собственными силами или с привлечением коммерческих организаций и их объединений. Среди его элементов могут быть назначены приоритеты, что отражается в календарных планах работ, устанавливающих их этапность.

Как и для прочих данных национальной ИПД, для базовой информации устанавливается ее строгое соответствие стандартам (стандартизованным моделям данных, стандартам точности и качества, стандартам на метаописание данных и т. п.).

Базовая информация должна быть общедоступна. Различные национальные ИПД могут придерживаться разной ценовой политики, тем не менее общее правило ее формирования основано на том, что базовая информация должна распространяться по вполне доступным ценам, если не представляется возможным сделать ее бесплатной. Исключения из общих правил могут касаться особых категорий данных или пользователей: некоторые наборы могут объявляться бесплатными, для некоммерческих организаций и учебных заведений могут существовать скидки и т. п.

Таковы общие принципы организации национальной базовой информации. Проиллюстрируем их примером создания базовых наборов данных в программе Австрало-Новозеландской ИПД (ASDI).

В процессе длительного обсуждения стратегии формирования ASDI взгляд на суть и состав ее базовой информации менялся. Предполагалось, что в ее состав войдет геодезическая основа, цифровые ортоизображения, гидрографическая сеть, административные границы и кадастровая информация. В ходе дискуссий определилось и наименование этой составляющей ASDI как «базового набора данных» («fundamental datasets») взамен параллельно или

Таблица 5.2

Базовый набор данных Австрало-Новозеландской ИПД

Тема	Набор данных
Геодезическая основа	Национальная БД сети геодезических станций, основные геодезические параметры, включая геоцентрическую систему координат Австралии, модель геоида и т.п.
Рельеф	Цифровая модель рельефа суши и акваторий, границы исключительной экономической зоны и континентального шельфа
Транспортная сеть	Транспортные коммуникации (железные и автомобильные дороги) и объекты (морские и аэропорты)
Административное деление	Административно-территориальное деление на союзном, штатном и локальном уровнях, электоральные, статистические и почтовые округа, географические названия
Земельный кадастр	Землевладения, госземзапас, особо охраняемые объекты, адреса
Природная среда	Климат, единицы ландшафтного деления, (включая естественную растительность), гидрографическая сеть, наиболее употребительные аэро- и космические материалы

ранее употреблявшихся терминов «framework» (прямая аналогия с американской NSDI) или «core datasets». По результатам дискуссий внутри БНД определен дополнительно базовый поднабор наиболее употребимых данных[1] (по версии одной из двух организаций, координирующих создание ASDI, а именно Федерального комитета по пространственным данным (CSDC), за которым сохранено наименование «framework») (табл. 5.2).

Разработаны планы существенного расширения или детализации приведенного выше перечня.

Для сравнения приведем структуру еще одного базового набора данных в составе Азиатско-Тихоокеанской ИПД (APSDI) (табл. 5.3).

Стандартизация пространственных данных. Сбор и обмен пространственными данными в национальном (и тем более в межна-

[1] **Fundamental** Datasets. A CSDC discussion paper. — http://www.auslig.gov.au/asdi/fddisc.htm.

Таблица 5.3

Базовый набор данных Азиатско-Тихоокеанской ИПД

Тема	Набор данных
Геодезическая основа	Геодезические параметры и референцные системы
Рельеф	Цифровая модель рельефа
Гидрографическая сеть	Природные и искусственные водотоки и водные объекты, границы водосборов, береговая линия
Транспортные коммуникации	Автомобильные и железные дороги, морские и авиапорты
Население	Крупные населенные пункты
Географические названия	Официально принятые наименования географических объектов
Растительность	Естественная растительность, лесные насаждения и сельскохозяйственные угодья
Природные катастрофы	Зоны возможных землетрясений, наводнений, проявлений вулканизма и опасных климатических процессов
Административные границы	Государственные границы и границы внутреннего административно-территориального деления, границы исключительных экономических зон акваторий
Использование земель	Распределение населения, сельского хозяйства, объектов обрабатывающей промышленности и особо охраняемых территорий

циональном и глобальном) масштабе требует развитой и всеобъемлющей системы стандартов. Объектом стандартизации служат все составляющие геоинформационных технологий: модели пространственных данных, форматы их представления, качество данных. Система должна быть иерархичной, основываясь на стандартных общепринятых спецификациях в области компьютерных технологий, и включать базовые стандарты, спецификации моделей данных (растровой, векторной и т. п.) и данных по отдельным предметным областям пространственно-информационного моделирования. Они различаются также по назначению, форме и статусу. Наряду с государственными и отраслевыми стандартами, широкое распространение получили корпоративные промышленные стандарты, в

том числе разрабатываемые частными фирмами и консорциумами производителей геоинформационных товаров и услуг.

Любой из стандартов должен строиться как часть некоторой более общей системы и быть тщательно согласован с иными стандартами и их системами. К его разработке должен быть привлечен широкий круг специалистов, процедура разработки должна быть многоэтапна, открыта, «прозрачна» и контролируема. Дальнейшее развитие стандарта, его жизнеобеспечение и использование должно поддерживаться заранее созданной инфраструктурой.

Основные тенденции в стандартизации пространственных данных на национальном уровне и в рамках панъевропейских и глобальных международных инициатив могут быть проиллюстрированы примерами деятельности Федерального комитета по географическим данным США (FGDC), стандартами Европейского комитета по стандартизации (CEN), стандартами ISO (МОС) и консорциума (OGC).

Федеральный комитет по географическим данным США (FGDC) является межведомственной организацией, представляющей федеральные службы, связанные со сбором и обработкой пространственных данных, и крупных производителей программных средств ГИС, на которую возложены функции координатора работ над ИПД США (NSDI). Уже в 1997 г. в его активе значилось 26 стандартов на цифровые пространственные данные.

Разработка стандартов FGDC — многоэтапный процесс. Он состоит из пяти стадий, каждая из которых включает по меньшей мере один этап. Первая стадия — заявка на разработку, ее оценка и рецензирование (этапы 1 и 2) — предваряет вторую стадию пилот-проекта, подготавливаемого одним из подкомитетов или рабочих групп FGDC для инициации его дальнейшей разработки (этап 3). Цель третьей стадии — подготовка рабочего текста проекта к внутреннему и внешнему рецензированию рабочей группой разработчиков (этапы 4 и 5). Четвертая стадия — стадия рецензирования — включает 5 этапов (6—11): согласно регламенту, организуется публикация проекта, его обсуждение, тестирование, обобщение всех поправок и комментариев, подготовка к утверждению на пятой, финальной, стадии разработки (этап 12).

Одним из самых ранних (1992) стандартов FGDC был стандарт (спецификация) SDTS (Spatial Data Transfer Standard (Specification)). Стандарт основан на идее нейтрального формата, который служит посредником при *конвертировании* данных из формата одного программного средства ГИС в формат другого (рис. 52). Многообразие форматов пространственных данных и проблема межформатной совместимости программных средств и технологий ГИС обсуждалась выше в подразделе о моделях пространственных данных.

Каждый из участников обмена должен располагать при этом средствами экспорта/импорта в/из SDTS.

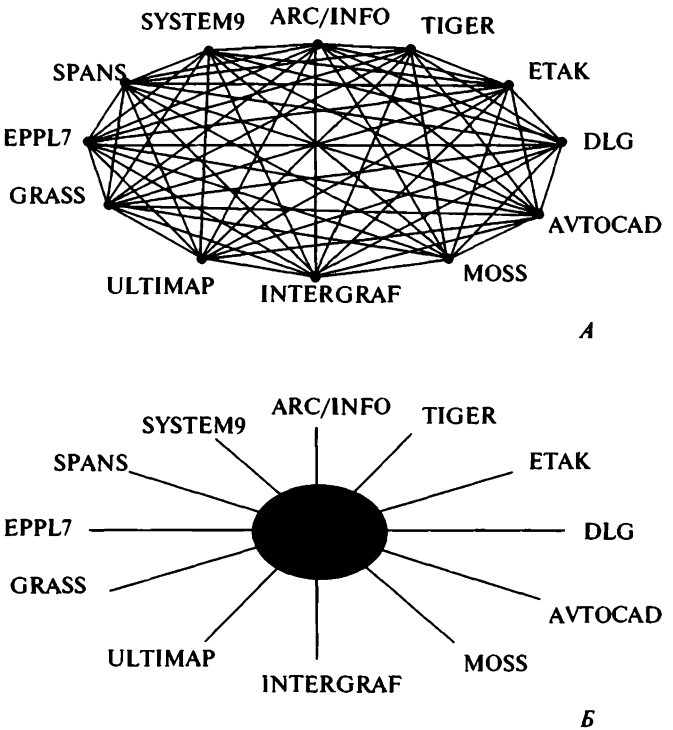


Рис. 52. Преимущества разработки и поддержки N-программными средствами единого обменного формата (SDTS): количество необходимых конвертеров уменьшается с $N(N-1)$ в случае *А* до $2N$ в случае *Б*

Базовая версия стандарта (FGDC-STD-002) специфицирует пространственные объекты размерностью не более двух в рамках векторной топологической модели. В подразд. 2.1.2 приводился фрагмент спецификации стандартом некоторых типов пространственных объектов в его дефиниционной части. В SDTS заложены тем не менее возможности для спецификации особых типов пространственных данных и иных их моделей, реализуемые в виде «профилей» — подмножеств базовой версии стандарта.

Такое расширение стандарта нацелено на обмен цифровыми картографическими данными, в нашей терминологии — цифровыми картами, созданными программными средствами типа ГИС и САПР, для чего требуется ввести новые, отличные от базового стандарта типы данных, относящиеся исключительно к цифровой графике, включая векторные графические изображения (например, картографические знаки), примитивы типа прямоугольника, круга или отрезка кривой, тексты с характеристиками начертания и размера шрифтов, цвета, заливки. Версия стандарта от апреля

1998 г. содержала 326 пронумерованных (для удобства его обсуждения) элементов (строк текста, таблиц) и приложение с примером трансляции типов данных SDTS в аналогичные типы программных средств клонов AutoCAD и Intergraph. Таким образом, САПР-профиль стандарта SDTS дополняет базовую версию теми элементами, которые расширяют пространственные данные ГИС до цифровых карт или позволяют преобразовать первое во второе.

Идея использовать подобный SDTS-нейтральный формат как основу национального стандарта обмена реализована, в частности, в КНР. Принятый в 1999 г. «Национальный формат обмена геопространственными данными» CNSDTF (Chinese National Geo-Spatial Data Transfer Format) рассматривается как официальный стандарт, по структуре вполне аналогичный SDTS [Y. Wang, J. Gong, J. Huang, Y. Deng, 1999]. Известно также, что одноименный Австрало-Новозеландский стандарт представляет собой адаптированный Американский стандарт SDTS.

Еще один тип стандартов FGDC, стандарт на метаданные CSDGM, рассмотрен в подразделе о метаданных.

В Европе наиболее многообещающие инициативы в стандартизации связываются с Европейским комитетом по стандартизации CEN (Comite Europeen de Normalization), общеевропейским органом со штаб-квартирой в Брюсселе, осуществляющим разработку и утверждение стандартов по функциям, аналогичным ISO. Стандартизацией пространственных данных занимается Технический комитет по географической информации, работающий с 1992 г.

В своей деятельности комитет тесно связан с аналогичным ему по целям Комитетом по географической информации и геоматике Международной организации по стандартизации ISO (МОС). Взаимоотношения между двумя ведущими службами стандартизации пространственных данных регулируются так называемым Венским соглашением между CEN и ISO, предусматривающим, в частности, участие представителей обеих структур в параллельных работах. Цель сотрудничества — «гармонизация» национальных, европейских и международных стандартов, необходимость которой вполне очевидна.

Консорциум «открытых ГИС» — Open GIS Consortium, Inc. (OGC) — создан в 1993 г. и является одним из ведущих разработчиков стандартов на пространственные данные в рамках подхода, известного под наименованием «открытых систем» (применительно к геоинформационным технологиям — Open GIS), объединяя организации-разработчики программного обеспечения и поставщиков данных. В отличие от национальных и международных организаций, упомянутых выше, консорциум не занимается подготовкой «официальных» стандартов. Главная его цель — создать технологию, которая позволит разработчикам приложений использовать любые пространственные данные и функции обработки,

доступные в вычислительной среде или в сети внутри одного приложения и потока данных. Этот подход реализóван в спецификации OGIS (Open Geodata Interoperability Specification), устанавливающей принципы прозрачного взаимодействия приложений при обработке пространственных данных.

Деятельность OGC и ее результаты исчерпывающе документированы в Интернете[1]; здесь можно найти ценные объемистые документы, к примеру, онлайновый «путеводитель» OpenGIS Guide, спецификации OpenGIS Abstract Specification и OpenGIS Impementation Specification.

Базы метаданных и механизм обмена данными. Под *метаданными* понимают «данные о данных». Это «метаокружение» собственно фактографических данных, их метаописание. Роль метаданных играли и продолжают играть различные их перечни, каталоги, инвентории, справочники, реестры. Однако наиболее эффективным средством их организации следует считать базы метаданных (БМД), предназначенные для упорядочения и описания структурных элементов единиц хранения информации в их цифровом и нецифровом виде в целях обеспечения поиска и обмена между ее держателями (производителями) и пользователями (потребителями).

Обслуживание механизма обмена пространственными данными в рамках национальных инфраструктур требует стандартизации метаданных.

В США эта задача решена в форме стандарта на содержание цифровых пространственных метаданных CSDGM (Content Standards for Digital Geospatial Metadata). Проект стандарта CSDGM обрел вполне современные формы уже в 1992 г., когда он назывался CSSM (Content Standards for Spatial Metadata). К этому времени относится публикация текста его проекта и проведение конференции по проблемам обмена пространственными метаданными.

Общий список характеристик метаданных стандарта насчитывает более 300 позиций и включает:

- метаданные («оглавление», «шапка» следующих ниже содержательных разделов);
- идентификационную информацию;
- информацию о качестве данных;
- информацию об организации пространственных данных;
- информацию о пространственной привязке данных;
- информацию об объектах и атрибутах;
- дескриптивную информацию;
- справочную метаинформацию;
- информацию об источниках;
- временную информацию;
- контактную информацию.

---

[1] URL: http://www.opengis.org.

Основной текст стандарта предваряет вводная часть со всеми атрибутами и инструментами стандарта как документа; его завершают три приложения: список терминов, алфавитный указатель элементов метаописания и список литературы.

С момента утверждения первоначальной версии стандарта на его основе созданы базы метаданных и программные продукты, обеспечивающие их ведение, распространение и использование. Среди них MetaMaker, созданный на основе программного обеспечения СУБД MS-Access. Продукт отличается скромными требованиями к аппаратуре, бесплатен и общедоступен, распространяясь по Интернету, содержит функции стандартной СУБД, включая ввод, экспорт и импорт данных, их редактирование, обработку запросов, генерацию отчетов (рис. 23 цв. вкл.). При метаописании цифровых данных применяется форматный ввод по формам, строго соответствующим разделам-рубрикам стандарта CSDGM. MetaMaker 2.0 может быть использован для ведения собственных БМД и для поиска готовой метаинформации.

Стандарт CSDGM взят за основу разработки аналогичного национального австралийского стандарта; в США FGDC на его же основе завершает разработку производного стандарта на метаданные биологического содержания в рамках инициативы по созданию национальной «биоинформационной» инфраструктуры NBBI (National Biological Information Infrastructure) [Content.., 1995].

Механизм обмена данными включает не только стандарты на пространственные данные и сами национальные базы метаданных, но и доступ к данным через национальные информационные центры, включая поиск необходимых данных (на основе их метаописания), размещенных в некоторых каталогах, используя механизмы (машины) поиска в среде Интернет и «шлюзы», выходя в искомые хранилища данных национальной сети серверов. Примером подобной организации доступа может служить система информационных центров обмена данными, в американской NSDI называемых клиринговыми («clearinghouse»)[1].

Поиск данных осуществляется путем доступа к метаинформационным ресурсам сети, создаваемым в соответствии со стандартом на пространственные метаданные CSDGM.

Каждый набор данных может быть описан и быть доступен через клиринговые центры, используя Интернет-вход FGDC. Для поиска данных через FGDC-шлюз служит интерфейс, позволя-

[1] Термин «клиринговый информационный центр», используемый применительно к центрам обмена пространственными данными по аналогии с подобными центрами (счетными палатами) в банковской сфере, осуществляющими межбанковские клиринговые расчеты, не вполне удачен и допускает инотолкования, что признает одноименная рабочая группа FGDC, которая предложила несколько альтернативных его наименований, объявив, однако, что вынуждена сохранить прежнее, снабдив его полным и однозначным определением.

ющий сформулировать запрос на поиск, включающий указание локализации искомых данных (по списку географических названий или по координатам сторон сферической трапеции, заключающей искомую территорию), временной диапазон, к которому относятся искомые данные, ключевые слова в шапке метадокументации на данные, источников данных (по списку наличных серверов)[1].

В настоящее время основная деятельность связана с созданием инфраструктуры пространственных данных (ИПД), речь о которой шла в предыдущем подразделе. Здесь прежде всего следует упомянуть ***концепцию Глобальной ИПД (GSDI)***[2]. Глобальная инфраструктура пространственных данных GSDI (Global Spatial Data Infrastructure) явилась откликом мирового сообщества на первые национальные геоинфраструктурные инициативы, включая прежде всего американскую NSDI. Начало работ над концепцией GSDI положено Первой чрезвычайной конференцией по глобальной ИПД, которая прошла 4—6 сентября 1996 г. в Бонне под патронажем ряда известных национальных и международных организаций, включая EUROGI (Европейский союз), DDGI (Германия), ILI/LIA (США), консорциум OpenGIS (OGC), FGDC (США) и FIG. В подготовленном к конференции консорциумом OGC докладе сформулированы общие цели и компоненты проекта, которые были в дальнейшем детализированы второй конференцией GSDI в октябре 1997 г.[3]:

- технологические аспекты сбора, обработки, использования и распространения пространственных данных, включая технические стандарты на геоданные и геоинформационную и геоинфраструктурную деятельность;
- решение проблем национальной и транснациональной интеграции уже существующих цифровых наборов данных и разработка программ, обеспечивающих сбор и организацию недостающих данных;
- «культурные аспекты», имея в виду трудности, обусловленные национальными особенностями и уровнем развития информационной культуры различных стран, включая страны третьего мира и страны с экономикой переходного типа;
- научно-исследовательские ресурсы и образовательные аспекты;
- национальные организации, которым принадлежит ключевая роль в организации и управлении процессами создания геоинфраструктур;

---

[1] **Clearinghouse search.** — http://130.11.52.184/servlet/DGDCServlet.

[2] www.gsdi.org — Global SDI Organization.

[3] **Building** the GSDI. Discussion paper for the September 1996 Emerging Global Spatial Data Infrastructure Conference. By Lance McKee of the Open GIS Consortium, Inc., August 8, 1996 (www.opengis.org/techno/articles/gsdi.htm).

• правовые и нормативно-регулирующие механизмы и структуры.

В задачи GSDI входит мониторинг деятельности по созданию ИПД национального и регионального уровня. В частности, к Третьей конференции GSDI, состоявшейся в Канберре в 1998 г., был проведен детальный опрос национальных и региональных организаций, ведущих активную геоинфраструктурную деятельность, включая Австрало-Новозеландскую и Азиатско-Тихоокеанскую международные инициативы.

На Пятой конференции в Картахене (Колумбия) в мае 2001 г. официально утвержден постоянный комитет по ИПД американского континента PC IDEA (Permanent Committee on Spatial Data Infrastructures for the Americas).

Среди инициатив GSDI — проект глобального картографирования Global Mapping Project. Созданная в процессе его реализации цифровая карта, эквивалентная по содержанию традиционной карте масштаба 1 : 1 000 000 и обеспечивающая пространственное разрешение 1 км на местности, будет представлять набор слоев, включая рельеф, растительность, гидрографию, использование земель и административные границы. Выпуск первой версии карты (Global Map Version 1.0) для территорий шести стран (Японии, Непала, Шри-Ланки, Таиланда и др.) был приурочен к Международному форуму «Глобальное картографирование — 2000», состоявшемуся в ноябре 2000 г. в Хиросиме (Япония). Выпуск размещен в Интернете на условиях свободного некоммерческого ее использования[1]. Завершается подготовка еще десяти территориальных блоков карты.

Важно иметь в виду, что в отличие от национальных и межнациональных инициатив по созданию ИПД, часть из которых будет описана ниже, проект GSDI в сегодняшнем его состоянии не предполагает воспроизведения всех механизмов и структур национальных ИПД на глобальном уровне; его главная задача — обобщение и трансляция национального опыта.

Национальная ИПД США (NSDI) создается в соответствии с уже упоминавшимся Указом бывшего президента США Б. Клинтона от 13 апреля 1994 г. Ему предшествовала публикация в 1993 г. Национальной академией наук США аналогичного документа «О координации национальной инфраструктуры пространственных данных», идеи которой возникли еще в начале 80-х годов [The National.., 1993]. Указ и ряд документов, разработанных на его основе, позволили представить общую схему организации NSDI, которая впоследствии была в том или ином виде воспроизведена в концепциях других ИПД и включала три компоненты:

• **стандарты** на пространственные данные, обслуживающие их сбор и обмен;

---

[1] www.iscgm.org/.

• **механизм обмена** пространственными данными между их производителями и потребителями на основе баз метаданных в распределенной сети национальных информационных центров;

• общую **пространственную основу** данных (по терминологии NSDI — «framework»).

Все эти компоненты разрабатываются и реализуются в условиях всеобъемлющего партнерства всех субъектов национальной геоинформационной деятельности при координации ее со стороны Федерального комитета по географической информации США (FGDC)[1].

Стандартизация в рамках NSDI — наиболее детально проработанная ее часть, поскольку развитая структура рабочих групп и комиссий FGDC по стандартизации картографических (а позже географических) данных была создана задолго до NSDI. О стандартах FGDC и о механизмах, обслуживающих доступ к пространственным данным и обмен ими, мы упоминали выше.

Под базовой пространственной информацией в NSDI понимается набор из семи типов данных, включая геодезическую основу, цифровые ортоизображения, цифровую модель рельефа, транспортную сеть, гидрографическую сеть, единицы административно-территориального деления и кадастровую информацию. Этот набор мало отличается от состава данных, признаваемых в качестве базовых в иных национальных ИПД (за исключением ортоизображений). Помимо формирования слоев ГИС, соответствующих этим базовым темам, разрабатываются вопросы процедур, технологий и рекомендаций, обеспечивающих сбор, интеграцию, распространение и использование данных в национальном масштабе, сертификацию и контроль качества данных и их соответствие стандартам. Изучается наличие общенациональных цифровых данных по базовым темам.

Канадская ИПД (CGDI). Проект создания CGDI (Canadian Geospatial Data Infrastructure)[2] стартовал в 1996 г. по инициативе Межведомственного комитета по геоматике (IAGG) и Канадского совета по геоматике (CCOG). Одна из программ поддержки и координации работ над CGDI, в числе задач которой важное место занимает деятельность по созданию ее «визуализационного компонента», — программа партнерства GeoConnection, объединяющая ряд организационных структур и инициатив; среди них: государственная программа развития геоматики, координируемая Канадским центром дистанционного зондирования; GeoGratis — структура, интегрирующая базовые геоинформационные ресурсы CGDI, в том числе в форме онлайнового Национального атласа Канады; программа «Атласы канадских регионов» (CC Atlas), обеспечивающая данные и возможность создания атласов административных образований местного уровня.

---

[1] www.fgdc.gov — USA Federal Geographic Data Committee.

[2] www.nrcan.gc.ca/geocan — Canada SDI.

Одна из любопытных особенностей пространственной основы CGDI — наличие в ней механизма координирования цифровых данных с помощью особого слоя сети контрольных точек CDAL (CGDI Data Alignment Layer).

Среди успешных реализаций концепции и планов развертывания CGDI — шестая Интернет-версия Национального атласа Канады[1], созданная в начале 1999 г. в рамках организационной структуры GeoGratis, ответственной за формирование базовых пространственных данных и обеспечение доступа к ним.

Географическую основу атласа составляет одна из версий международной цифровой карты-основы масштаба 1 : 1 000 000 производства ESRI, Inc. (США), известная как VMap Level 0 Release 4, поэтому доступ к атласу, как и ко всем канадским цифровым данным, соответствующим картографическому масштабу 1 : 1 000 000 и мельче, бесплатен.

По содержанию атлас вполне соответствует статусу национального, включая типичные для него сюжеты о природе, населении и хозяйстве страны. Внутри выбранного сюжета пользователю дана возможность работать с базовой или расширенной версиями атласа, определять композицию из 12 предлагаемых элементов географической основы, масштабировать выбранный фрагмент визуализируемого изображения (в одном из фиксированных масштабов: 1 : 2 000 000, 1 : 7 500 000, 1 : 12 000 000, 1 : 20 000 000, 1 : 30 000 000), визуализировать таблицы исходных данных, напечатать карту на принтере.

Метаданные CGDI организованы в виде БД сети CEONet (Canadian Earth Observation NETwork)[2].

Австрало-Новозеландская ИПД (ASDI). Подобно иным национальным и региональным геоинфраструктурным инициативам, эффективность механизмов сбора и обработки пространственных данных является главным побудительным мотивом создания ASDI (Australian Spatial Data Infrastructure). Задача ASDI — обеспечение публичного и равноправного доступа к национальным геоинформационным ресурсам со стороны государственных, коммерческих организаций и общественности. Несмотря на официальное наименование, это международная инициатива, поскольку в орбиту ее разработки вовлечена Новая Зеландия. Главный координирующий орган — тоже международная структура: Австрало-Новозеландский совет по земельной информации (ANZLIC). Совет учрежден в 1986 г. как Австралийский совет ALIC (Australian Land Information Council), с 1987 г. Новая Зеландия была представлена в нем с правами, аналогичными правам штатов Австралии. С ноября 1991 г. она стала полноправным членом совета, получившего новое наименование

[1] www.atlas.gc.ca.

[2] www.ceonet.cgdi.gc.ca.

ANZLIC. Совету принадлежит официальная роль координатора всех работ наряду с Федеральным комитетом по географическим данным CSDC (Commonwealth Spatial Data Committee).

ASDI включает четыре компоненты:

- институциональную инфраструктуру;
- технические стандарты;
- базовые наборы данных;
- сеть информационных клиринговых центров (clearing house network);

и в структурном отношении мало отличается от описанной выше американской NSDI. Аналогичен ей и уровень детальности разработки всех компонентов ASDI и доля тех из них, что уже реализованы в виде действующих систем, прототипов или частных конкретных технологических решений.

Состав базового набора данных ASDI подробно рассмотрен выше в подразделе «Базовая пространственная информация».

Определен состав стандартов на пространственные данные. Он включает разработку стандартов на геодезическую основу, модели и каталоги данных, качество данных, обмен данными и метаданные[1]. Утвержден стандарт на обмен пространственными данными.

Азиатско-Тихоокеанская ИПД (APSDI). Работы над APSDI (Asia-Pacific Spatial Data Infrastructure)[2] координируются Постоянным комитетом по ГИС для стран Азиатско-Тихоокеанского региона PCGIAP (Permanent Committee on GIS Infrastructure for Asia & Pacific). Комитет создан в соответствии с резолюцией, принятой Тринадцатой региональной картографической конференцией ООН для стран Азиатско-Тихоокеанского региона 9—18 мая 1995 г. в Пекине. Согласно его уставу, в задачи PCGIAP входит кооперация национальных усилий в деле создания региональной ИПД как вклад Азиатско-Тихоокеанского сообщества в создание глобальной ИПД GSDI путем участия в различных формах деятельности, включая взаимные консультации, научно-технический обмен, образование.

Основополагающий документ, определяющий цели и задачи работ комитета, предлагает модель Азиатско-Тихоокеанской ИПД из четырех компонентов; среди них:

- институциональная основа (institutional framework);
- технические стандарты (technical standards);
- базовые наборы данных (fundamental datasets);
- сеть, обеспечивающая доступ к данным (access network).

Институциональная основа APSDI определяет стратегию и управление процессами создания, ведения, доступа и использования стандартов и базовых наборов данных. В ее рамках решаются вопросы доступа к данным и обеспечение связанных с ним норм и

---

[1] **Standards** — www.auslig.gov.au/asdi/stdsmain.htm.

[2] www.gsi.go.jp/PCGIAP — Asia and The Pacific SDI.

соблюдением прав (например, авторских), создания и ведения баз метаданных, образования в области управления пространственными данными.

При построении сети, обслуживающей доступ к данным, предлагается рассматривать два его аспекта: техническую инфраструктуру и базы метаданных.

Состав базового набора данных APSDI приводился выше.

Панъевропейская программа EUROGI и европейские национальные инициативы. Работы по созданию Европейской инфраструктуры географической информации EGII (European Geographic Information Infrastructure)[1] инициированы и координируются Организацией поддержки географической информации EUROGI[2] (European Umbrella Organisation for Geographic Information). EUROGI учреждена в ноябре 1993 г. со штаб-квартирой в г. Амерсфорте (Нидерланды) в целях разработки унифицированной панъевропейской стратегии (общеевропейских правил, стандартов и процедур) использования географической информации.

В составе EGII четыре компоненты:

- справочные данные (reference data), соответствующие понятию «базовой пространственной информации» NSDI;
- единая служба поддержки сбора и доступа к справочным данным (universal service);
- службы каталогизации данных (directory services), соответствующие в терминологии NSDI базам метаданных;
- доступ к данным (data access).

Базовая пространственная информация — наборы общегеографических и иных пространственных данных на трех различных взаимодополняющих масштабных уровнях, включая национальный (масштаб 1 : 10 000, соответствующее ему пространственное разрешение данных — 1 м), общеевропейский (1 : 100 000 и 10 м соответственно) и глобальный (1 : 1 000 000 и 100 м) уровни. Для европейского уровня предусмотрен и более мелкий компромиссный масштаб 1 : 250 000. В качестве минимально необходимого набора элементов, образующих базовую информацию, предлагается следующий ее состав:

- геодезическая основа;
- рельеф;
- гидрографическая сеть;
- транспортная сеть;
- административные границы;
- географические названия.

---

[1] www.eurogeographics.org — European Geographic Information Infrastructure.

[2] В отечественной литературе существует другой вариант передачи наименований EUROGI и EGII: «Европейская организация поддержки геоинформатики» и «Европейская географическая информационная инфраструктура» соответственно.

Насколько это возможно в общеевропейских условиях, все элементы основы будут являться производными от уже существующих наборов цифровых данных, частных компаний, национальных картографических служб и оборонных ведомств. К таким крупным наборам данных принадлежат БД, создаваемые, к примеру, в рамках проектов MEGRIN (Multi-Purpose European Ground-Related Information Network), GDDD (Geographical Data Descriptive Directory), SABE (Seamless Administrative Boundaries of Europe). В любом случае они должны удовлетворять условиям доступности со стороны всех участников европейского сообщества на уровне частных и государственных организаций и граждан, неразрывности покрытия ими всей территории Европы и нормам универсального механизма их сбора и использования в рамках «единой службы». Предполагается также, что базовые данные не будут представлять собой самостоятельного продукта для конечного пользователя, а будут встраиваться в продукты производителей данных. Базовые данные не будут бесплатными, но должны распространяться по доступным ценам.

Контрольные вопросы

1. История и мотивы создания, структура ИПД.
2. В чем сходство и различия базовых наборов данных ИПД и цифровых карт-основ?
3. Какие требования предъявляются к базовым наборам данных?
4. Назовите основные объекты стандартизации и типы стандартов пространственных данных.
5. Расскажите о международной деятельности по стандартизации пространственных данных.
6. Охарактеризуйте метаданные как необходимое условие эффективного использования геоинформационных ресурсов.
7. Приведите механизмы доступа к базам метаданных.
8. Перечислите особенности национальных, региональных и глобальных ИПД и примеры их реализации.
9. Целесообразно ли создавать локальные ИПД?

5.3. Реализация геоинформационных проектов

Характерной чертой процесса внедрения геоинформационных технологий в настоящее время является интеграция уже существующих систем в более общие национальные, международные и глобальные информационные структуры. Прежде всего обратимся к проектам даже не самого последнего времени. В этом отношении показателен опыт разработки глобальных информационных программ и проектов в рамках Международной геосферно-биосферной программы «Глобальные изменения» (МГБП), которая реа-

лизуется уже с 1990 г. и оказала большое влияние на ход географических и экологических работ глобального, регионального и национального масштабов [В. М. Котляков, 1989]. Среди разнообразных **международных и крупных национальных геоинформационных проектов**, в рамках МГБП, упомянем лишь Глобальную информационно-ресурсную базу данных — GRID. Она формировалась в структуре созданной в 1975 г. системы мониторинга окружающей среды (GEMS) под эгидой программы ООН по окружающей среде (UNEP). GEMS состояла из глобальных систем мониторинга, управляемых через различные организации ООН, например, Продовольственную и сельскохозяйственную организации (FAO), Всемирную метеорологическую организацию (WMO), Всемирную организацию здравоохранения (WHO), международные союзы и отдельные страны, в той или иной мере участвующие в программе. Мониторинговые сети организованы внутри пяти блоков, связанных с климатом, здоровьем людей, средой океана, дальнодействующими перемещающимися загрязнениями, возобновляемыми природными ресурсами [GEMS, 1982; M. D. Gwynne, 1986]. Каждый из этих блоков охарактеризован в статье [А. М. Трофимов и др., 1990].

Мониторинг, связанный с климатом, обеспечивал данными, определяющими влияние человеческой деятельности на климат Земли, включая два направления, связанные с работой сети Мониторинга фонового загрязнения атмосферы и Мировой гляциологической инвентаризацией. Первая касается установления тенденций в атмосферной композиции (изменения содержания углекислого газа, озона и др.), а также тенденций в химическом составе атмосферных осадков [The Ozone.., 1987]. Сеть станций мониторинга фонового загрязнения атмосферы (BAPMON) организована WHO в 1969 г. и с 1974 г. получает поддержку со стороны UNEP как часть GEMS. Она включает три типа мониторинговых станций: базовые, региональные и региональные с расширенной программой [The Greenhouse.., 1987]. Данные ежемесячно сообщаются в координационный центр, расположенный в Межправительственном агентстве защиты окружающей среды (EPA) (Вашингтон, США). С 1972 г. данные совместно с материалами WMO, EPA ежегодно публикуются [Environmental.., 1987].

Мировая гляциологическая инвентаризация связана с UNESCO и ее Швейцарским федеральным институтом технологии. Собираемые ими сведения очень важны, поскольку колебания ледниковых и снежных масс дают представление о ходе климатической изменчивости.

Программа мониторинга дальнодействующих перемещающихся загрязнений реализуется совместно с работами Европейской Экономической Комиссии (ECE) и WMO. Собираются данные о загрязненных осадках (в частности, оксидах серы и их преобразо-

ванных продуктах, с чем обычно связывается выпадение кислотных дождей) в связи с движением воздушных масс от источников загрязнения к отдельным объектам.

В 1977 г. ECE в сотрудничестве с UNEP и WHO сформулировали совместную программу для мониторинга и оценки переноса воздушных загрязнений на дальние расстояния в Европе (Программа Европейского мониторинга и оценки).

Мониторинг, связанный со здоровьем людей, обеспечивает сбор данных о качестве окружающей среды в мировом масштабе, о радиации, об изменениях уровня ультрафиолетового излучения (как следствие истощения озонового слоя) и др. Эта программа GEMS в значительной степени связана с деятельностью Всемирной организации здравоохранения (WHO).

Совместный мониторинг за качеством воды предприняли организации UNEP, WHO, UNESCO и WMO. Акцент работы здесь сделан на воды рек, озер, а также грунтовые, т.е. те, что являются основным источником обеспечения людей водой, для орошения, некоторых отраслей промышленности и др.

Мониторинг загрязнения продуктов питания в рамках GEMS существует с 1976 г. в сотрудничестве с WHO и FAO. Данные о загрязненных продуктах питания дают сведения о характере распространения загрязнений, что, в свою очередь, служит основанием для управленческих решений различного ранга.

Мониторинг среды океана рассматривался в двух аспектах: мониторинг открытого океана и региональных морей.

Деятельность программы мониторинга возобновляемых земных ресурсов основывается на предпочтении мониторинга ресурсов засушливых и полузасушливых земель, деградации почв, тропических лесов.

Собственно система GRID, организованная в 1985 г., является информационной службой, обеспечивающей экологическими данными управленческие организации ООН, а также другие международные организации и правительства. Основная функция GRID — собирать вместе данные, синтезировать их так, чтобы работники планирующих органов могли достаточно быстро усваивать материал и делать его доступным для национальных и международных организаций, принимающих решения, которые могут повлиять на состояние окружающей среды. В своем полномасштабном развитии на рубеже столетий система реализована как глобальная иерархически организованная сеть, включающая региональные центры и узлы национального уровня, при широком взаимообмене данными.

GRID является рассредоточенной (распределенной) системой, узлы которой связаны телекоммуникациями. Система разделена на два основных центра: GRID-Control, расположенный в Найроби (Кения) и GRID-Processor в Женеве (Швейцария). Центр, распо-

ложенный в Найроби, осуществляет контроль и управляет деятельностью GRID во всем мире. GRID-Processor связан с получением данных, мониторингом, моделированием, а также с распределением данных. Из глобальных проблем Женевский центр в настоящее время занимается публикацией серии изданий GEO (Global Environment Outlook), разработкой стратегии и обеспечением раннего предупреждения разнообразных угроз, в частности биоразнообразию (особенно в рамках действий нового подразделения DEWA — Division of Early Warning and Assessment), применением ГИС для рационального использования природных ресурсов, конкретными исследованиями, прежде всего для франкоязычной Африки, Центральной и Восточной Европы, Средиземноморья и др. Кроме двух вышеупомянутых центров в систему входят еще 12 центров, размещенных в Бразилии, Венгрии, Грузии, Непале, Новой Зеландии, Норвегии, Польше, России, США, Таиланде, Швеции и Японии. Их работа ведется также в глобальном масштабе, но в определенной мере специализирована по регионам. Например, центр GRID-Arendal (Норвегия) реализует ряд программ по Арктике, таких как AMAP — Arctic Monitoring and Assessment Programme, региону Балтийского моря (BALLERINA — ГИС-проекты для крупномасштабных экологических приложений) и др. К сожалению, деятельность центра ГРИД-Москва мало известна даже специалистам.

Из примеров ***межнационального сотрудничества*** по созданию крупных БД заслуживает внимания информационная система Европейского экономического сообщества CORINE (Coordinated Information on the Environment in the European Community). Решение о ее создании принято в июне 1985 г. Советом Европейского сообщества, поставившим перед нею две главные цели: оценку потенциала информационных систем сообщества как источника для изучения состояния его природной среды и обеспечение природоохранной стратегии стран ЕС по приоритетным направлениям, включая защиту биотопов, оценку загрязнения атмосферы в результате локальных выбросов и трансграничного переноса, комплексную оценку экологических проблем Средиземноморского региона. К настоящему времени проект завершен, но имеются сведения о возможностях его распространения на территорию восточноевропейских стран в будущем.

Среди **национальных проектов**, естественно, хотелось бы обратиться к примерам по России, хотя здесь сразу же следует признать ее не самые передовые позиции в мире. Так, в начале 90-х годов активно прорабатывались возможности подключения тогда еще СССР к работам в рамках глобальной природно-ресурсной системы GRID UNEP. Укажем лишь одну из инициатив того времени в рамках деятельности Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Российской Федерации — проект со-

здания Государственной экоинформационной системы (ГЭИС), начальный этап которого разрабатывался ещё в бывшем Госкомприроде СССР [V. E. Permitin, V. S. Tikunov, 1992]. Планировалось, что ГЭИС должна была состоять из баз данных длительного пользования; баз данных, полученных при подспутниковых экспериментах и контрольных измерениях (видимо, временного хранения); базы подмножества данных, необходимых для проведения потребителями исследовательской работы, и из информационной сети, связывающей компоненты системы с центрами управления наблюдательными средствами и с базами других систем, в том числе международными.

Область применения ГЭИС по замыслу проектировщиков подразделялась на следующие основные категории: 1) ***экологический контроль*** (для определения состояния окружающей среды); 2) ***экологический мониторинг*** (для анализа изменений окружающей среды); 3) ***моделирование*** (для причинно-следственного анализа). ГЭИС в общем виде должна была представлять собой компьютерную систему, в которой основным источником ввода сведений являются детальные базы географически ориентированных данных о состоянии окружающей среды: изображений, данных оперативного контроля, статистических данных наблюдений, серий карт (геологических, почвенных, климатических, растительности, землепользования, инфраструктуры и т. п.). Совместная обработка этой информации представляет непосредственный путь к моделированию окружающей среды. Основной задачей планировавшейся ГЭИС являлась разработка технологии управления базами данных, объединение наборов данных об окружающей среде, существующих во множестве форматов и взятых из разных источников.

Данные в ГЭИС должны были поступать по следующим предметным областям: геосфере (включающей земные оболочки — атмосферу, гидросферу, литосферу, биосферу) и техносфере; материальным природным ресурсам (энергетическим, минерально-сырьевым, водным, земельным, лесным и т. п.), а также по их использованию; изменению климата; состоянию производственных технологий; экономическим показателям в природопользовании; хранению и переработке отходов; социальным и медико-биологическим показателям и т. д., естественно предусматривая возможность последующего синтезирования показателей. В некоторых чертах эта программа напоминала методику, используемую в системе GRID UNEP.

Среди программ федерального уровня следует упомянуть проект ГИС ОГВ (Органов государственной власти), который стал воплощаться в реальную жизнь на региональном уровне (см. ниже) или трансформироваться для других нужд, например начавшей реализовываться федеральной целевой программы «Электронная Россия» (2002—2010).

В качестве примера комплексных систем укажем на разработку «Устойчивое развитие России» [В.С.Тикунов, 2002]. Особенностью ее структуры является тесная увязка между собой социально-политического, экономического (производственного), природно-ресурсного и экологического блоков. В целом они характеризуют социоэкосистемы различного территориального ранга. По всем тематическим сюжетам обеспечивается возможность характеристики иерархии их изменений — от глобального до локального уровня с учетом специфики представления явлений при разных масштабах их отображения. Здесь реализуется принцип ***гипермедийности*** системы, когда сюжеты соединяются ассоциативными (смысловыми) связями, например сюжеты более низкого иерархического уровня не только отображают какой-либо тематический сюжет в соответствующем масштабе, но и как бы раскрывают, разворачивают, детализируют его. На верхнем уровне иерархии создан раздел «Место и роль России в решении глобальных проблем человечества». Мировые карты этого раздела призваны отобразить запасы, а также баланс производства и потребления человечеством важнейших видов природных ресурсов; динамику роста численности населения; индекс антропогенной нагрузки; вклад России и других стран в планетарную экологическую ситуацию и др. Анаморфозы, диаграммы, графики, пояснительный текст и таблицы должны показать роль России в решении современных глобальных проблем человечества. Полезно сопоставление регионов России и зарубежных стран, когда они рассматриваются как единый информационный массив. Для этих целей использовались многомерные ранжирования на основе комплексов сопоставимых показателей, что по некоторым интегральным характеристикам распределяет российские регионы от уровня Австрии (Москва) до Никарагуа (Республика Тува). Один из таких примеров по характеристике общественного здоровья приведен на рис. 24 цв. вкл. Здесь показана характеристика общественного здоровья стран мира и регионов России, но аналогично сюжеты могут быть продолжены вплоть до муниципального уровня.

Разделы федерального уровня формируют основное ядро системы. Наряду со многими оригинальными сюжетами дается достаточно полная характеристика всех компонент системы «природа — экономика — население» с акцентом на характер происходящих изменений. Блоки завершаются интегральными оценками социально-демографической устойчивости, устойчивости развития экономики, устойчивости природной среды к антропогенным воздействиям и некоторыми другими обобщающими сюжетами, причем выражающимися количественно. В качестве интегральных характеристик широко известны индекс устойчивого экономического благосостояния и индекс развития человеческого потенциала, а также индекс экологической устойчивости, реального прогресса, «живой планеты», «экологический след» и др. [Индикато-

ры.., 2001]. Но даже обращаясь к частным сюжетам, не говоря уже о комплексных характеристиках, ставится задача не просто показать фактическое состояние, а подчеркнуть закономерности в развитии явлений, отобразить их с разных сторон. В качестве примера укажем на характеристики избирательных кампаний, проведенных в России начиная с 1991 г. Так, помимо традиционных сюжетов, отображающих победителей в выборных кампаниях и процент голосов, поданных за того или иного кандидата или партию, показаны интегральные индексы управляемости территорий [В.С.Тикунов, Д.Д.Орешкина, 2000] и характер их изменений от одной избирательной кампании к другой (рис. 25 цв. вкл.).

Еще одним примером нетрадиционного подхода является совмещение типологических и оценочных характеристик, таких как оценка общественного здоровья с типами причин смертности населения (рис. 26 цв. вкл.).

Следующим иерархически более низким разделом системы является блок «Модели перехода регионов России к устойчивому развитию». Как и в других разделах Атласа, основное содержание всех ветвей данного блока направлено на определение экологических, экономических и социальных составляющих устойчивого развития территорий. Здесь к настоящему времени можно найти примеры характеристики Байкальского региона, Иркутской области, Иркутского административного района и Иркутска. При характеристике региона он будет анализироваться, с одной стороны, как составная часть более крупного образования — государства, с другой — как самодостаточная (в определенных пределах) целостность, способная к саморазвитию на основе имеющихся ресурсов. На базе созданных карт предполагается разработка предложений по стратегии развития и инновационной активности региона и его территорий. Проведена типология всех регионов России и выявлены типичные представители разных групп (промышленные, аграрные и др.). Планируется создание нескольких региональных ветвей системы, представляющих разные типы территорий страны, в частности для Ханты-Мансийского автономного округа. Здесь следует обратить внимание на принцип **блочности** системы, поскольку отдельные логические блоки могут видоизменяться, пополняться или расширяться, не меняя структуры всей системы.

Тематика, связанная с устойчивым развитием; требует обязательного рассмотрения почти всех тематических сюжетов в динамике, что и реализуется в соответствии с принципом ***эволюционности и динамичности*** в Атласной информационной системе. В основном это характеристики явлений за базовые временные периоды или годы. По ряду сюжетов для ретроспективного анализа разработано несколько тематических анимаций: «Изменение распаханности и лесистости регионов России за последние 300 лет», «Рост сети городов России», «Динамика плотности населения Рос-

сии, 1678—2011 гг.», «Развитие металлургической промышленности России в XVIII—XX вв.» и «Развитие сети железных дорог (рост и электрификация), XIX—XX вв.», которые составляют первый этап подготовки комплексной анимации «Развитие промышленности и транспорта России».

Важнейшее приложение системы — разработка сценариев для развития страны и ее регионов. В этом случае реализуется принцип ***многовариантности***, когда конечному пользователю предлагается ряд интересующих его решений, например оптимистические, пессимистические и другие сценарии. И чем сложнее эти сценарии, тем все больше возникает насущная потребность в ***интеллектуализации*** системы, когда экспертные системы и применение нейронных сетей помогают в условиях большой сложности, зачастую при существенной нечеткости задач, получать приемлемые результаты.

Перспективно применение ***содержательного моделирования*** сложных явлений в рамках информационной системы. Основой подобного моделирования служит комплексный системный подход к моделированию социоэкосистем. Так, пользователь системы сможет смоделировать некоторую структуру, управление которой представит варианты, ведущие, например, к повышению уровня благосостояния народа или повышению его общественного здоровья как конечного результата для многих преобразований с оценкой необходимых затрат для достижения результата. Будут развиты средства моделирования, прежде всего направленные на разработку различных сценариев перехода регионов страны к моделям их устойчивого развития. Финальная стадия проекта, связанная с интеллектуализацией всей системы, позволит сформировать полномасштабную систему поддержки принятия решений. Наконец, следует отметить, что формируемая система должна базироваться и на принципе ***мультимедийности*** (***многосредности***), что облегчает процесс принятия решений.

Создание **региональных геоинформационных систем** в России в значительной мере связано с реализацией Программы ГИС ОГВ (Органов государственной власти) и КТКПР (Комплексного территориального кадастра природных ресурсов). Разработка основных положений по программе ГИС ОГВ была поручена Госцентру «Природа» — предприятию Федеральной службы геодезии и картографии (Роскартографии). В ряде субъектов РФ созданы и функционируют региональные информационно-аналитические центры, оснащенные современными компьютерными технологиями, включая ГИС-технологии.

Среди регионов, в которых получены наиболее значительные результаты по созданию ГИС ОГВ — Пермская и Иркутская области. В 1995—1996 гг. была проделана значительная работа по созданию ГИС Новосибирской области. Наиболее проработанный про-

ект в области региональных ГИС для ОГВ несомненно реализуется в настоящее время в Пермской области[1].

Концепция этой системы предусматривает применение геоинформационных технологий в структурных подразделениях администрации области и в структурных подразделениях органов государственной власти Российской Федерации, действующих на территории Пермской области.

На этапе разработки концепция рассматривалась Федеральной службой геодезии и картографии России, а также ГосГИСцентром и Госцентром «Природа». Было заключено соглашение между администрацией Пермской области и Федеральной службой геодезии и картографии России о формировании геоинформационной системы Пермской области, предусматривающее создание и обновление топографических карт масштабов 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000 на территорию области.

В концепции геоинформационной системы были определены:

- основные направления создания ГИС;
- состав пользователей ГИС;
- требования к базам данных;
- вопросы нормативно-правовой основы;
- разработчики ГИС, этапы разработки, первоочередные проекты, источники финансирования.

Основные направления создания ГИС соответствуют направлениям управленческой деятельности органов власти области:

- социально-экономическое развитие;
- экономика и финансы;
- экология, ресурсы и природопользование;
- транспорт и связь;
- коммунальное хозяйство и строительство;
- сельское хозяйство;
- здравоохранение, образование и культура;
- общественный порядок, оборона и безопасность;
- социально-политическое развитие.

Естественно, что большое место в разработке региональной системы занимает обеспечение проекта цифровой картографической основой. Концепция предусматривает применение карт:

- обзорно-топографической карты масштаба 1 : 1 000 000 на территорию Пермской области и смежные территории;
- топографической карты масштаба 1 : 200 000 на территорию области;
- геологической карты масштаба 1 : 200 000;

---

[1] *Чебыкин В.Л.* (заместитель губернатора Пермской области); *Щербинин Ю.Б.* (заместитель начальника главного управления экономики администрации Пермской области) «Развитие геоинформационной системы Пермской области, доклад на ГИС-Форуме».

• топографических карт для территорий сельскохозяйственных и лесных угодий, судоходных рек в масштабах 1 : 100 000, 1 : 50 000, 1 : 25 000, 1 : 10 000;

• для решения инженерных задач и задач городского хозяйства карт и планов масштабов 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 500.

Для карт принята система координат 1942 г. Карты, выполненные в системе координат 1963 г. или в местной системе координат, при включении в ГИС области приводятся к единой системе координат. Для цифровых топографических карт используется классификатор Роскартографии UNI_VGM, обеспечивающий возможность работы с системами условных знаков от масштаба 1 : 500 до масштаба 1 : 1 000 000 (всемасштабный классификатор).

Спектр применяемого программного обеспечения довольно широк: проект «ЛАРИС» выполняется с использованием программного обеспечения фирмы Intergraph Corp., земельный комитет вплоть до районного уровня использует ГИС MicroStation, часть работ выполняется в MapInfo Professional, организации Министерства природных ресурсов РФ применяют ArcInfo, ArcView, ArcGIS, геологические карты создаются в ГИС «ПАРК». Решения по выбору программных средств определялись наличием наработанных задач в различных ведомственных ГИС и принятыми отраслевыми решениями. Используемые форматы цифровых карт определялись применяемыми программными средствами ГИС. Однако указывается, что необходимо иметь конверторы, преобразующие цифровые карты из одного формата в другой для обеспечения передачи сведений в различные ГИС-пакеты.

В ноябре 1998 г. из ГосГИСцентра (Роскартография) в область были переданы цифровые карты Пермской области масштабов 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000. Основной формат полученных карт F20V. Карты конвертированы в формат E00, применяемый в ГИС, фирмы ESRI Inc.

Информационная насыщенность карт, созданных Роскартографией, не устраивала разработчиков региональной ГИС. На первом этапе разработчики системы большое внимание уделили ее повышению, наполнению семантики карт и территориальной привязке имеющихся и вновь создаваемых тематических баз данных.

При создании ГИС было выполнено несколько пилотных проектов:

• создание комплексной ГИС поселка и курорта «Усть-Качка» для отработки комплексных решений на малой территории, на примере ГИС «Усть-Качка», чтобы демонстрировать возможности ГИС недостаточно подготовленным руководителям;

• создание модели наводнения для городов Пермь и Кунгур. Для создания модели наводнения была построена матрица высот потенциальной зоны затопления, выполнены расчеты по моделированию уровня затоплений;

• разработка экологического контроля пилотных проектов ГИС для города Березники и прилегающих территорий.

Основные результаты реализации программы представляются авторами концепции В.Л.Чебыкин, Ю.Б.Щербинин в виде следующих подсистем (компонентов):

• «ГИС-геология». Создается для реальной геолого-экономической оценки ресурсного потенциала Пермской области, разработки решений по эффективному использованию ресурсов. Включает банк геоданных о месторождениях полезных ископаемых, размещении добывающих и потребляющих предприятий, величине запасов, динамике добычи и потребления;

• «ГИС земельного кадастра». Обеспечивает условия объективного взимания налогов на землю и соблюдение нормативно-правовых актов по владению, пользованию, смене собственника. Включает банк геоданных о границах земельных участков в разрезе прав собственности на землю и реестр собственников;

• «ГИС-дороги». Позволяет определить и эффективно использовать технические и экономические условия эксплуатации и развития транспортной дорожной сети. Основывается на банке геоданных о дорогах Пермской области, качестве покрытия, техническом состоянии дорог, технических характеристиках мостов, проездов, переездов, паромных и ледовых переправ, дорожных знаков. Включает базы экономических данных об использовании дорог для грузовых и пассажирских перевозок, стоимости содержания дорог, а также реестре собственности и границах ответственности;

• «ГИС железных дорог». Позволяет определить и эффективно использовать технические и экономические условия эксплуатации и развития транспортной железнодорожной сети. Включает банк геоданных о железных дорогах Пермской области, железнодорожных мостах и переездах, железнодорожных станциях, площадках, сооружениях, а также базы экономических данных об использовании дорог для грузовых и пассажирских перевозок, стоимости содержания дорог;

• «ГИС речного хозяйства». Обеспечивает информацией расчеты работ земснарядов по углублению русла рек и расчеты по эффективности и развитию судоходства. Информационное обеспечение — геоинформация о рельефе дна судоходных рек и базы данных о речных грузовых и пассажирских маршрутах;

• «ГИС-наводнения». Обеспечивает процесс моделирования разливов рек и выполнение расчетов противопаводковых мероприятий, убытков от наводнений, предоставляет необходимые сведения для работы противопаводковых комиссий. Информационная база — геоданные о рельефе берегов рек;

• «ГИС гидросооружений». Служит для моделирования последствий техногенных воздействий на водные объекты населения и предприятий. Банк геоданных — информация по плотинам, шлю-

зам, водозаборам, очистным сооружениям и стокам жидких отходов промышленных предприятий, информационные базы технико-экономических данных по гидросооружениям;

• «ГИС водного хозяйства». Создается для объективной оценки и планирования использования водных ресурсов области. Банк геоданных содержит информацию о реках, водохранилищах, озерах, болотах, водоохранных зонах и прибрежных защитных полосах, а также информацию о протяженности, площади, запасах и качестве водных ресурсов, характеристике рыбных запасов, реестре собственности и границах ответственности;

• «ГИС лесного хозяйства». Необходим для объективной оценки и планирования использования лесных ресурсов области. Эта деятельность базируется на информации о лесных участках, породах и возрасте леса, его экономической оценке, объемах вырубки, переработки, продажи леса, местонахождении лесодобывающих и перерабатывающих предприятий, о правах собственности и границах ответственности;

• «ГИС кадастра природных ресурсов». Объединяет информацию компонентов «ГИС-геология», «ГИС лесного хозяйства», «ГИС водного хозяйства», а также рыбного хозяйства, заказников, охотничьего хозяйства и др., связывает геобазы указанных компонентов, создает информационную базу комплексной оценки природных ресурсов Пермской области;

• «ГИС-экология». Создается с целью разработки мероприятий по улучшению экологической обстановки, определения обоснованных сумм, необходимых для осуществления этих мероприятий;

• «ГИС особо охраняемых природных территорий». Банк геоданных по особо охраняемым природным территориям области;

• «ГИС экопатологии». Банк геоданных о влиянии экологической обстановки на состояние здоровья и смертность населения, позволяющий дать объективную оценку условий проживания населения на территории области;

• «ГИС нефтегазопроводов». Используется для моделирования и оценки последствий чрезвычайных ситуаций, проведения экономических расчетов. Банк геоданных содержит информацию о нефтегазопроводах, перекачивающих станциях и других инженерных сооружениях на территории области, реестр собственников, права собственности и границы ответственности, банк геоданных о рельефе прилегающих территорий, информационные базы технико-экономических характеристик;

• ГИС контроля и моделирования природных и техногенных проявлений катастрофических деформаций земной поверхности Пермской области на основе результатов мониторинга, в том числе космического;

• «ГИС-население». Базы геоданных по размещению населения, позволяющие выполнить анализ территории по половозрастному

составу, призывному возрасту, занятости, социально защищенным группам, миграции населения, необходимый для обоснования социальных программ, а также информационного обеспечения выборных кампаний (формирование избирательных округов и анализ электората);

• «ГИС УВД». Подразделяется на составляющие: «ГИС пожарной охраны»; «ГИС ГИБДД»; «ГИС охраны общественного порядка»;

• «ГИС ЧС». Создаются базы: потенциально опасных объектов, тактико-технических характеристик этих объектов, сил и средств гражданской обороны и привлекаемых сил и средств областной подсистемы чрезвычайных ситуаций, тактико-технических характеристик сил и средств; база геоданных расположения зон эвакуации и маршрутов следования для предприятий и населения области, информационные базы тактико-технических характеристик зон и маршрутов эвакуации;

• «ГИС медицины катастроф». Создает, в частности, геобазу дислокации и информационные базы состояния медицинских учреждений;

• «ГИС обеспечения безопасности жизнедеятельности населения». Геобаза постов наблюдения за потенциально опасными объектами, геобазы рельефа и других характеристик местности в масштабах, необходимых для решения задач моделирования чрезвычайных ситуаций на объектах наблюдения и прилегающих территориях, информационные базы тактико-технических данных для организации работы и регистрации результатов работы постов наблюдения;

• «ГИС социально-экономического развития области». Необходима для анализа деятельности органов местного самоуправления, ее сравнения с аналогичной на смежных территориях как на текущий момент, так и в динамике по периодам сбора информации органами государственного статистического учета. Кроме того, этот компонент используется для разработки мероприятий по управлению территориями. Геобаза ГИС социально-экономического развития области содержит информацию об административном делении области, о паспортах территорий, базы Пермского областного комитета государственной статистики по показателям состояния социально-экономического развития и главного управления экономики администрации области по показателям прогноза социально-экономического развития.

В результате реализации программы должны быть разработаны и внедрены правовые, экономические, организационные и технические мероприятия по выполнению задач создания ГИС ОГВ, сформированы базы цифровых карт Пермской области различного масштаба для отображения динамики социально-экономического развития области. Структуры управления областью будут обеспечены реальной пространственно-временно́й информацией об инфра-

структуре и социальном развитии области, позволяющей сформировать механизм управления хозяйством области на геоинформационной основе.

Разработанные концепция геоинформационной системы и программа создания ГИС опираются на значительный опыт предприятий и организаций Пермской области в данной сфере деятельности.

Различные проекты выполняются в Комитете земельного кадастра Пермской области, Пермском государственном геологосъемочном предприятии «Геокарта», Комитете природных ресурсов Пермской области, в Научно-исследовательском клиническом институте детской экопатологии и других организациях.

Под руководством Комитета земельного кадастра Пермской области ведутся работы по проведению кадастровых съемок, изготовлению планово-картографических материалов, инвентаризации земель, регистрации собственников на землю. Заказчиком государственной автоматизированной системы земельного кадастра в Пермской области (ГАС ЗК) является Комитет по земельному кадастру области. В облкомземе и горрайкомземах созданы специальные рабочие группы оперативного управления реализацией проекта ЛАРИС. На унитарном государственном предприятии «Уральское проектно-изыскательское предприятие земельных кадастровых съемок» («Уралземкадастрсъемка») создано специализированное производство на базе цифровых кадастровых технологий. Применяются ГИС фирмы Intergraph Corp., а также MicroStation, MapInfo Professional.

Пермское государственное геологосъемочное предприятие «Геокарта» выполняет работы по программе государственного геологического картографирования. За каждой партией предприятия закреплено дежурство по одному-двум номенклатурным листам карты Пермской области масштаба 1 : 200 000, результаты работы оформляются в графическом и цифровом виде. На предприятии применяются ГИС «Геокарта», обеспечивающая технологию создания цифровых карт, а также ArcInfo, ArcView, ПАРК 6.0.

В цифровом виде были созданы следующие геологические документы:

1. Геологическая карта дочетвертичных образований по материалам доизучения и подготовки государственной геологической карты масштаба 1 : 200 000.
2. Геологическая карта четвертичных отложений.
3. Схема геоморфологического районирования.
4. Карта продуктивных нефтегазоносных структур.
5. Схема административного деления с транспортными путями и магистральными коммуникациями.

Карта дочетвертичных образований дополнена историческими сведениями:

1) по меди, железу, хромитам, бокситам, марганцу, титану, свинцу, стронцию, золоту;

2) по строительным материалам (габбро-диабазы, известняки, доломиты, мраморы, песчаники), кварцу, флюориту, волконскоиту;

3) по нефти, газу, углю, калийным солям, питьевой воде.

Карта четвертичных отложений отражает распределение по площадям объектов с содержанием:

1) золота, платины, алмазов;

2) агроруд (торф, известковый туф, мергель), глин, песчано-гравийных смесей, песков и др.

Во исполнение распоряжения губернатора Пермской области от 09.11.95 № 338 «О системе экологического мониторинга на территории области» под руководством Комитета природных ресурсов Пермской области (ранее Государственного комитета по охране окружающей среды) ведутся работы по созданию Единой территориальной системы экологического мониторинга (ЕТСЭМ) области. ЕТСЭМ создается в целях информационного обеспечения принятия управленческих решений в области охраны окружающей среды для обеспечения экологически безопасного устойчивого развития территории и является составной частью информационной и геоинформационной системы Пермской области.

Работы по созданию и сопровождению ГИС здравоохранения выполнены Научно-исследовательским клиническим институтом детской экопатологии (НИКИ ДЭП). На региональном уровне отработано использование ГИС для решения задач информационной поддержки системы управления здравоохранением области:

- выделение территорий с неблагоприятными тенденциями медико-демографических и медико-экологических показателей;
- обоснование региональных инвестиций в территориальное здравоохранение на базе геоинформационного анализа медико-демографических показателей (как отдельных, так и комплексных);
- анализ достаточности медицинских услуг населению по территориям и оценке остроты проблем отдельных территорий;
- обоснование и размещение сети межрайонных центров по оказанию специализированной медицинской помощи и др.

Выполнены работы, позволяющие увязать пространственную информацию и базы данных по медицинскому обслуживанию населения, медико-демографические, санитарно-гигиенические и экологические показатели на единой карте-схеме Пермской области. Собрана информация более чем по 260 показателям. В системе используются мелкомасштабные векторные карты-схемы (1 : 1 000 000). Программное обеспечение позволяет проигрывать ряд сценариев и выбор вариантов оптимального использования коечного фонда и лабораторно-диагностической базы лечебно-профилактических учреждений. Для решения медико-экологических задач с исполь-

зованием ГИС выделены приоритетные территории по совокупности факторов риска для здоровья населения и отдельным экологическим показателям, выполнена пространственная привязка многолетних баз данных по источникам вредного воздействия на окружающую среду.

Реализован экологический проект в составе муниципальной ГИС Перми, являющейся составляющей региональной ГИС. На базе векторной карты 1 : 25 000 созданы слои: заболеваемость населения по районам города Перми, зоны действия лечебно-профилактических учреждений. Система позволяет проследить динамику заболеваемости за последние 6 лет по 68 показателям. В рамках проекта сформированы слои, отражающие различные аспекты состояния окружающей среды (зоны загрязнения почв тяжелыми металлами, содержание вредных веществ в атмосферном воздухе по результатам натурных наблюдений, стационарные источники выбросов вредных веществ в атмосферный воздух с подробными характеристиками каждого источника, землеотводы промышленных предприятий с информацией о предприятии как источнике загрязнения природной среды, содержание вредных примесей в биологических средах детского населения и т. п.). Слои, имеющие насыщенную атрибутивную базу, используются в аналитических задачах.

Созданная система дает выход на решение задач формирования оптимальной сети размещения постов контроля качества атмосферного воздуха по критериям здоровья населения, разработки программ медико-экологической реабилитации детей и т. п.

Экологический проект муниципальной ГИС создан на базе ArcView. ГИС используется в сочетании с моделирующими и аналитическими программами, что дает возможность получать комплексные оценки различных территориальных уровней.

В 1994—1997 гг. НИКИ ДЭП выпущен медико-экологический атлас Пермской области. В 1998 г. НИКИ ДЭП совместно с региональным центром новых информационных технологий Пермского государственного технического университета и департаментом образования и науки администрации области выпущен атлас социально-образовательной сферы Пермской области (пилотный проект в рамках межвузовской научно-технической программы «Разработка научных основ создания геоинформационных систем»).

Решением законодательного собрания от 06.04.98 № 78 принята и реализована комплексная территориальная программа «Безопасность жизнедеятельности и организация мониторинговых систем прогноза природных и природно-техногенных чрезвычайных ситуаций на территории Пермской области на 1998—2000 гг.», предусматривающая:

1. Развитие и совершенствование географической информационной системы предупреждения и действий в режиме чрезвычайных ситуаций (ГИС ЧС);

2. Создание подсистемы действий в условиях чрезвычайных ситуаций в составе геоинформационной системы УВД Пермской области.

Геоинформационная система ЧС создается на основе научно-исследовательских разработок Горного института Уральского отделения РАН (г. Пермь).

Разработка «Технических требований к цифровым топографическим картам масштабов 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000 на территорию Пермской области», «Методики проверки качества цифровых топографических карт масштабов 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000 на территорию Пермской области», работы по контролю качества и приемке указанных цифровых карт выполнены Пермским государственным унитарным предприятием «Специальное научно-исследовательское бюро «Эльбрус» (СНИБ «Эльбрус»). СНИБ «Эльбрус» является держателем цифровых топографических карт указанных масштабов и выполняет работы по внедрению карт в соответствии с «Временным положением о порядке использования цифровых электронных карт Пермской области масштабов 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000». СНИБ «Эльбрус» использует несколько программных средств ГИС: ИНТЕЛКАРТ, ИНТЕЛВЕК, Панорама, ГИС РСЧС, MapInfo Professional, ArcView, ArcInfo и др. ГУП СНИБ «Эльбрус» ведет единый классификатор картографической информации на весь масштабный ряд ГИС ОГВ Пермской области, разработал систему конверторов для обеспечения совместимости применения карт в различных программных средствах ГИС.

На географическом факультете Пермского государственного университета разрабатывается ГИС «Охраняемые природные территории Пермской области»; ведутся работы по созданию тематических физико-географических, социально-экономических и эколого-географических слоев (гидрография, орография, геоморфология, почвы, растительность, климат, населенные пункты, транспортная сеть, промышленность, сельское хозяйство, производственная и социальная инфраструктура и др.).

Разрабатываются собственные системы Иркутской, Нижегородской, Рязанской областей, Приморского края и др.

Достаточно многочисленны примеры реализации ГИС на **локальном уровне**. В пределах программы «Убсу-Нур» создана геоинформационная система для характеристик запасов и возрастной динамики древостоя в лесах Убсу-Нурской котловины, для комплексной характеристики места проведения летних учебных практик географического факультета МГУ разработана ГИС-Сатино и др. Последняя система по существу является комплексной цифровой моделью территории учебного полигона «Сатино» (Боровский р-н Калужской обл.) [Ю. Ф. Книжников, И. К. Лурье, 2002]. Основные базовые слои — фотопланы и топографические карты территории масштабов 1 : 5000 и 1 : 10 000. Широко используются дан-

ные полевых студенческих исследований. Ведется комплектование географических информационных фондов как систематизированных наборов данных о свойствах и отношениях географических объектов и процессов на территории. Для изучения динамических состояний природной геосистемы используются различные временные и масштабные уровни — многолетние (разновременные карты, аэро- и космические снимки, материалы многолетних полевых обследований территории полигона), а также сезонные (преимущественно аэроснимки и специальные ландшафтно-фенологические исследования). Разрабатывается дешифровочно-навигационный комплекс для автоматизированных полевых исследований. Можно привести также примеры систем, созданных для контроля экологической ситуации в пределах отдельно взятого химического завода, и др.

Из реализованных или реализуемых в настоящее время проектов укажем также на многочисленные примеры ***отраслевых*** приложений ГИС-технологий к различным тематическим областям — геологии, земельному кадастру, лесной отрасли, экологии, муниципальному управлению, эксплуатации инженерных коммуникаций, деятельности силовых структур. Они подробно рассмотрены в книге [**Е. Г. Капралов, А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов и др.**, 2004].

Контрольные вопросы

1. В чем состоит роль Глобальной информационно-ресурсной базы данных GRID?
2. В чем заключается основная особенность системы GRID?
3. Согласовывались ли российские проекты с международными методиками? Целесообразно ли такое согласование?
4. Охарактеризуйте особенности планировавшейся Государственной экоинформационной системы; целесообразна ли реализация этого проекта в современных условиях?
5. Перечислите основные особенности системы «Устойчивое развитие России».
6. Оцените оптимальность системы, созданной для Пермской области.
7. Целесообразно ли создавать локальные системы?
8. Составьте план возможного геоинформационного проекта для своей области.

Словарь терминов

РУССКИЕ ТЕРМИНЫ

А

Автоматизированная картографическая система, АКС (automatic(al) mapping system, computer-aided mapping system) — производственный и (или) научно-исследовательский комплекс автоматических картографических приборов, компьютеров, программных и информационных средств, функционирующих как единая система в целях создания и использования карт. АКС индивидуального пользования носят названия автоматизированного рабочего места картографа (АРМ-К). Роль АКС на платформах персональных компьютеров выполняют системы настольного картографирования.

Автоматизированная картография (automated cartography, computer-aided mapping, CAM) — раздел картографии, охватывающий теорию, методологию и практику создания, обновления и использования карт, атласов и других пространственно-временны́х картографических произведений в графической, цифровой и электронной формах с помощью *автоматизированных картографических систем* и других и аппаратно-программных средств.

Автоматизированное картографирование (computer-aided mapping, CAM, automated mapping) — применение технических и аппаратно-программных средств, в том числе *автоматизированных картографических систем* (АКС) для составления, оформления, редактирования, издания и использования карт и других картографических произведений.

Автоматизированное дешифрирование снимков (компьютерное Д., computer image classification, C. I. interpretation) — автоматизированная классификация объектов (дешифрирование, распознавание, интерпретация) на снимках с использованием априорной информации о признаках выделяемых классов (контролируемая классификация, supervised C., или с обучением) и без нее (неконтролируемая классификация, unsupervised C., без обучения). При контролируемой классификации правила перехода от показателей *спектральной яркости* к классам объектов вырабатывают на «учебном» (тестовом, эталонном) (training sites) участке, создавая обучающую выборку, а затем автоматически применяют и на остальной части снимка. Неконтролируемая классификация основана на так называемых пороговых процедурах (или методах кластеризации). В них предполагается, что первоначальная информация о природных различиях объектов, зафиксированная в *спектральных яркостях*, достаточна для разделения классов и поэтому можно обойтись без эталонов.

АКС — *см.* **Автоматизированная картографическая система**.

Актуализация (данных), обновление (данных) (updating) — процесс изменения содержания (коррекции, модификации, исправления) данных для их приведения к текущему (актуальному) состоянию.

«Алгебра карт», «картографическая алгебра» (map algebra) — *в ГИС растрового типа*: логико-арифметическая обработка растрового слоя как единого целого, подобная матричным операциям в математике.

Алгоритм (algorithm) — дискретный набор конечного числа правил, точных предписаний, определяющих порядок выполнения операций над исходными данными для достижения искомого результата и позволяющих чисто механически решить некоторую задачу из класса однотипных задач. А. должен обладать свойствами конечности, однозначности (детерминированности), определенности, массовости и результативности. А., выраженный средствами языка программирования, именуется программой.

Анализ близости, анализ окрестности (neighbourhood analysis, proximity analysis) — 1. Пространственно-аналитическая операция, основанная на поиске двух ближайших точек среди заданного их множества; анализ объектов, образующих ближайшее окружение рассматриваемого объекта. — 2. *В ГИС растрового типа*: присвоение элементу *растра* (*пикселу*) нового значения как некоторой функции значений окрестных элементов.

Анализ видимости/невидимости (viewshed analysis, visibility/unvisibility analysis) — одна из операций обработки *цифровых моделей рельефа*, обеспечивающая оценку поверхности с точки зрения видимости или невидимости отдельных ее частей с некоторой точки обзора или из множества точек, заданных их положением в пространстве (источников или приемников излучений).

Анализ сетей, сетевой анализ (network analysis) — группа пространственно-аналитических операций, основанных на анализе линейных *пространственных объектов* (*линий*) или геометрических сетей, соответствующих графам. Включает поиск наикратчайшего пути, выбор оптимального маршрута (маршрута движения с минимальными издержками), решение задач коммивояжера, размещения ресурсов, диспетчеризации процессов и т. п.

Анаморфоза (anamorphosis, cartogram) — графическое изображение, производное от традиционной карты, масштаб которой трансформируется и варьирует в зависимости от величины характеристики явлений на исходной карте.

Аннотация (annotation) — совокупность текстовых, цифровых, символьных, графических и иных элементов, размещаемых внутри или вне поля картографического изображения, то есть вспомогательного и дополнительного оснащения карт или иной графики в ГИС. Под А. чаще всего понимают только те элементы, которые относятся исключительно к графике (но не к атрибутивной *базе данных*).

Аппаратное обеспечение, аппаратные средства, аппаратура, технические средства (hardware) — техническое оборудование системы обработки информации (в отличие от *программного обеспечения*, процедур, правил и документации), включающее собственно компьютер и иные механические, магнитные, электрические, электронные и оптические *периферийные устройства* или аналогичные приборы, работающие под ее управлением или автономно, а также любые устройства, необходимые для функционирования системы. Вместе с программным обеспечением А.о. образует *аппаратно-программное обеспечение* системы.

Аппаратно-программное обеспечение, программно-аппаратное обеспечение (software/hardware, «hard and soft») — совокупность *аппаратного обеспечения* и *программного обеспечения* системы обработки информации.

Аппроксимация, аппроксимирование (approximation) — замена одних математических объектов другими, в том или ином смысле близкими к исходным (отсюда происхождение слова «А.» — «приближение»). А. позволяет исследовать числовые характеристики и качественные свойства объекта, сводя задачу к изучению более простых или более удобных объектов, характеристики которых легко вычисляются или свойства которых уже известны. Широкое применение в последние годы получили методы А. сплайнами. Методы А. в трехмерном пространстве входят в состав инструментария картографического метода исследования, применяются при обработке *цифровых моделей рельефа*, могут быть использованы в комплексе с иными операциями *пространственного анализа* в ГИС.

Атрибут, реквизит (attribute) — свойство, качественный или количественный признак, характеризующий *пространственный объект* (но не связанный с его местоуказанием) и ассоциированный с его уникальным номером (*идентификатором*). Множество А. пространственного объекта образует атрибутивные данные. Процесс присвоения пространственным объектам А. или связывания объектов с А. носит название атрибутирования.

Б

База данных, БД (data base, database, DB) — совокупность *данных*, организованных по определенным правилам, устанавливающим общие принципы описания, хранения и манипулирования данными. Хранение данных в БД обеспечивает централизованное управление, соблюдение стандартов, безопасность и целостность данных, сокращает избыточность и устраняет противоречивость данных. БД не зависит от прикладных программ. Создание БД и обращение к ней (по *запросам*) осуществляются с помощью *системы управления базами данных* (СУБД). БД может быть размещена на нескольких компьютерах сети; в этом случае она называется распределенной БД (РБД). БД ГИС содержат наборы данных о *пространственных объектах*, образуя пространственные БД; цифровая картографическая информация может организовываться в картографические БД или картографические *банки данных*.

База знаний, БЗ (knowledge base) — совокупность знаний о некоторой предметной области, на основе которых можно производить рассуждения. Основная часть *экспертных систем*, где с помощью БЗ представляются навыки и опыт экспертов, разрабатывающих эвристические подходы в процессе решения проблем. Обычно БЗ представляет собой набор фактов и правил, формализующих опыт специалистов в конкретной предметной области и позволяющих давать на вопросы об этой предметной области ответы, которые в явном виде не содержатся в БЗ.

Банк данных, БнД (databank, data bank) — информационная система централизованного хранения и коллективного использования данных. Содержит совокупность *баз данных*, *СУБД* и комплекс прикладных программ. БнД называют локальным, если он размещен в одном вычислительном центре (ВЦ) или на одном компьютере; распределенный БнД —

система объединенных под единым управлением и посредством компьютерной сети территориально разобщенных локальных БнД. Картографические БнД именуются также банками цифровых карт (БЦК).

БД — *см. база данных.*

БЗ — *см. база знаний.*

Блок-диаграмма (block-diagram) — трехмерный картографический рисунок, совмещающий перспективное изображение поверхности с продольным или поперечным вертикальным разрезом; один из видов трехмерных *геоизображений*. Б.-д. строят в аффинных или перспективных проекциях с одной или двумя точками перспективы.

БнД — *см. банк данных.*

Браузер, броузер (browser) — программа для просмотра web-страниц Интернет («просмотровщик», «листатель»); простой *визуализатор*.

Броузер — *см. браузер.*

Буфер — *см. буферная зона.*

Буферная зона, буфер, коридор (buffer zone, buffer, corridor) — полигональный объект, образованный путем расчета и построения эквидистантных (изодистантных) линий (эквидистант, изодистант), равноудаленных относительно выбранного точечного, линейного или полигонального пространственного объекта.

Буферный слой (buffer layer) — полигональный слой, сформированный из *буферных зон* выбранных объектов, каждая из которых построена по заданным правилам (одинаковое удаление от объектов, удаление, зависящее от значений атрибута и др.). При построении Б. с. для каждого объекта одновременно может формироваться несколько буферных зон.

В

Веб-сайт (Web site) — определенное место в *Интернете*, доступное из любой точки *World Wide Web*, поскольку имеет собственный уникальный адрес. В.-с. состоит из *Веб-страниц*, объединенных по смыслу, назначению, содержанию и выполненных, как правило, в едином стиле оформления и единой манере навигации. В.-с. выполняют основную информационную функцию Интернета и характеризуются *исключительным* разнообразием. Работа В.-с. в Интернете поддерживается *Веб-сервером*. В.-с., которые интегрируют большие объемы информации, предназначенные широкому кругу пользователей, и предоставляют им различные виды информационных услуг (ленты новостей, поиск нужной информации в *Интернете*, услуги электронной почты и общения, оперативные и аналитические данные и т.д.) называют Веб-порталами.

Веб-страница (Web-page) — основной содержательный компонент *Веб-сайта*. Как правило, любой Веб-сайт состоит из нескольких или многих В.-с., содержащих текст, графические изображения, исполняемые команды, написанные на языке, который может интерпретировать Веб-браузер, и другие элементы. Физически В.-с. представляет собой *HTML-файл* и набор вспомогательных файлов с графическими изображениями, шрифтами, программными приложениями и т.д.

Вектор (vector) — 1. Величина, характеризуемая числовым значением и направлением. — 2. Направленный отрезок прямой, *сегмент*; набор ко-

ординатных пар в цифровом представлении *пространственных объектов*; термин, служащий для образования производных терминов, связанных с *векторными моделями* пространственных *данных* (см. *векторная топологическая модель* (*данных*), *векторно-растровое преобразование*, *растрово-векторное преобразование*, *модель «спагетти»*), векторными *форматами* (пространственных) данных, устройствами векторной *компьютерной графики* (например, векторный *дисплей*).

Векторизатор (vectorizer) — программное средство для выполнения *растрово-векторного преобразования* (векторизации) пространственных данных.

Векторизация — *см. растрово-векторное преобразование.*

Векторная модель, векторное представление (данных) (vector data structure, vector data model) — обобщенный класс *моделей пространственных данных*, основанных на цифровом представлении точечных, линейных и полигональных *пространственных объектов* в виде набора координатных пар с описанием только *геометрии* объектов, что соответствует нетопологической В. м. (*см. модель «спагетти»*) или геометрии и топологических отношений (*топологии*) в виде *векторной топологической модели*; в машинной реализации В. м. соответствует векторный *формат* пространственных данных.

Векторная нетопологическая модель (данных) — *см. модель «спагетти».*

Векторная топологическая модель, векторное топологическое представление, линейно-узловая модель (данных) (arc-node model) — разновидность *векторной модели* (*данных*) точечных, линейных и полигональных *пространственных объектов*, описывающая не только их *геометрию* (*см. модель «спагетти»*), но и топологические отношения между *полигонами*, *дугами* и *узлами*.

Векторное представление (данных) — *см. векторная модель* (*данных*).

Векторное нетопологическое представление (данных) — *см. модель «спагетти».*

Векторное топологическое представление (данных) — *см. векторная топологическая модель* (*данных*).

Векторно-растровое преобразование, растеризация (rasterization, rasterisation, gridding, vector to raster conversion) — преобразование (конвертирование) данных из *векторной модели* в *растровую модель* путем присваивания элементам *растра* значений, соответствующих принадлежности или непринадлежности к ним элементов векторных записей объектов.

Видеоэкран — *см. дисплей.*

Визуализация, графическое воспроизведение, отображение (visualization, visualisation, viewing, display, displaying) — проектирование и генерация изображений, *геоизображений*, в том числе картографических изображений, и иной графики на устройствах отображения (преимущественно на экране *дисплея*) на основе исходных цифровых данных и правил и алгоритмов их преобразования.

Визуализатор, вьювер, «вьюер» (visualizer, viewer) — программное средство, предназначенное для *визуализации* данных; *в ГИС*: один из типов программных средств ГИС с набором функций, ограниченных, как правило, возможностями видеоэкранной визуализации картографических

изображений, называемый картографическим В. Простой В. (в том числе графики) носит название *браузера*.

Виртуальная реальность (virtual reality, VR) — искусственная действительность, во всех отношениях подобная подлинной и совершенно от нее неотличимая. При этом между искусственной действительностью и воспринимающим ее человеком образуется двусторонняя связь. Динамическая модель реальности создается средствами трехмерной *компьютерной графики* и обеспечивает (с помощью специальной аппаратуры: шлема-дисплея и сенсорной перчатки) взаимодействие пользователя с виртуальными объектами в режиме реального времени с эффектом его участия в конструируемых сценах и событиях. Создание элементов В. р. средствами ГИС на основе трехмерного моделирования местности путем наложения аэро- или космического или другого высокореалистичного изображения на *цифровую модель рельефа* находит применение в симуляторах и тренажерных системах.

Выделенный сервер (dedicated server) — компьютер, который целиком занят обслуживанием сети и имеет главный жесткий диск, или принтер, или выход в Интернет. Выделенный сервер используется в тех случаях, когда число компьютеров в сети больше 6—8. Если их меньше, то на компьютере, который служит сервером сети, могут выполняться другие работы.

Вычислительная геометрия (computational geometry) — геометрические алгоритмы и компьютерные программы для решения задач, связанных с геометрическими построениями и преобразованиями как на плоскости, так и в пространстве, и способы оценки сложности этих алгоритмов.

Вьювер — *см. визуализатор.*

Г

Газеттир, указатель географических названий (gazetteer) — список географических объектов на карте или в БД ГИС с указанием их местоположения.

Геоанализ — *см. пространственный анализ.*

Географическая информационная система, геоинформационная система, ГИС (geographic(al) information system, GIS, spatial information system) — 1. Информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственно-координированных данных (*пространственных данных*). — 2. Программное средство ГИС (1) — программный продукт, в котором реализованы *функциональные возможности ГИС*. Научные, технические, технологические и прикладные аспекты проектирования, создания и использования ГИС изучаются *геоинформатикой*.

Географические данные — *см. пространственные данные.*

Географический объект — *см. пространственный объект.*

Геоизображение (geoimage, georepresentation) — любая пространственно-временна́я масштабная генерализованная модель земных (планетных) объектов или процессов, представленная в графической образной форме. Различают двумерные плоские Г. (карты, планы, *электронные карты*, аэро- и космические снимки); трехмерные, или объемные Г. (стереомодели, ана-

глифы, *блок-диаграммы*, картографические голограммы); динамические Г. (анимации, картографические фильмы, мультимедийные карты и атласы).

Геоинформатика (GIS science, geographic information science, geoinformatics) — наука, технология и производственная деятельность по научному обоснованию, проектированию, созданию, эксплуатации и использованию *географических информационных систем*, по разработке *геоинформационных технологий* и по приложению ГИС для практических или геонаучных целей. Входит составной частью в *геоматику* (по одной из точек зрения) или предметно, методически и технологически пересекается с ней.

Геоинформационная индустрия, ГИС-индустрия (GIS industry) — совокупность предприятий и организаций, обеспечивающих создание геоинформационных продуктов. Как и любая индустрия (или промышленность) подразделяется на производство средств производства и производство предметов потребления. В качестве средств производства выступают аппаратное обеспечение, программное обеспечение, данные. В качестве средств потребления — геоинформационные проекты, в том числе массового пользования, такие как информационно-справочные ГИС, системы персональной навигации и др.

Геоинформационная система — *см. географическая информационная система.*

Геоинформационное образование, ГИС-образование (GIS education) — профессиональная подготовка специалистов в области геоинформатики и ГИС.

Геоинформационные технологии, ГИС-технологии (GIS technology) — технологическая основа создания *географических информационных систем*, позволяющая реализовать *функциональные возможности ГИС* в форме программных средств.

Геоинформационный проект, ГИС-проект (GIS project) — уникальное предприятие по созданию и обеспечению функционирования геоинформационной системы, отвечающей поставленным требованиям, предполагающее координированное выполнение взаимосвязанных действий по аппаратному, программному, информационному и кадровому обеспечению системы с достижением определенных ее параметров (полнота информации, актуальность информации, производительность системы, функциональность системы, надежность ее функционирования и т.д.) в условиях временны́х и ресурсных ограничений.

Геоинформационный рынок, ГИС-рынок (GIS market) — сфера обращения товаров, услуг, капиталов и рабочей силы, связанных с производством геоинформационных продуктов и оказанием услуг отраслями *геоинформационной индустрии*, а также их потреблением (использованием). К Г. р. относят *геоинформационные технологии*, программные продукты ГИС, *пространственные данные*, персонал, занятый в выполнении *геоинформационных проектов*, компьютерную технику и специализированное оборудование.

Геоматика — 1. Область деятельности, основанная на интеграции средств сбора, обработки и распространения цифровых *пространственных данных* (*2*). — 2. Термин, употребляемый как синоним *геоинформатики.*

Геометрия (geometry) — 1. Часть математики, изучающая пространственные отношения и формы тел. — 2. *В ГИС*: позиционная часть *про-*

странственных данных (в отличие от атрибутивной или содержательной части данных — «семантики») или геометрические свойства элементарных *пространственных объектов* в *векторной топологической модели* данных (в отличие от их топологических свойств — *топологии* (2)).

Геомоделирование, пространственное моделирование (spatial model(l)ing, geo-model(l)ing) — одна из главных функций ГИС (наряду с *пространственным анализом*); способность ГИС и программных средств ГИС строить и использовать модели пространственных объектов и динамики процессов (математико-статистический анализ пространственных размещений и временны́х рядов, межслойный корреляционный анализ взаимосвязей разнотипных объектов и т. п.) или обеспечивать *интерфейс* с моделями вне среды ГИС.

Геопространственные данные — *см. пространственные данные.*

ГИС — *см. географическая информационная система.*

ГИС-индустрия — *см. геоинформационная индустрия.*

ГИС-образование — *см. геоинформационное образование.*

ГИС-проект — *см. геоинформационный проект.*

ГИС-рынок — *см. геоинформационный рынок.*

ГИС-технологии — *см. геоинформационные технологии.*

Главный компьютер (host) — управляющий компьютер в распределенной вычислительной системе.

Глобальные системы позиционирования — ГСП (Global Positioning System, GPS, GPS-system, SGS) — технологические комплексы, предназначенные для позиционирования объектов — нахождения их *координат* в трехмерном земном пространстве путем измерения псевдодальности от приемника позиционирования до 4 или большего числа спутников. ГСП обеспечивают ряд способов позиционирования, включая автономное позиционирование (способ определения абсолютных (полных) координат местонахождения пространственной линейной засечкой по измерениям кодовым методом псевдодальностей только с определяемого пункта); дифференциальное позиционирование, когда псевдодальности измеряют одновременно с двух пунктов: базовой станции (референц-станции), расположенной на пункте с известными координатами, и подвижной станции, стоящей над новой точкой; статическое позиционирование (статика, способ относительных измерений, когда фазовым методом по продолжительным (около часа и дольше) наблюдениям определяют приращения координат между базовой и подвижной станциями; ускоренная статика (разновидность статики, в которой для разрешения неоднозначности применяют стратегии поиска, не требующие продолжительных наблюдений, продолжительность же измерений согласована с числом наблюдаемых спутников и уменьшается при его увеличении); псевдостатика (разновидность статики, когда непрерывность измерений сохраняется только на базовой станции; на подвижной станции измерения выполняют лишь в начале и в конце часового интервала); способы кинематики — разновидности относительных измерений, выполняемых обычно фазовым методом, позволяющие измерять вектор между базовой и подвижной станциями за короткое время. Современное поколение ГСП образуют системы GPS (NAVSTAR) — США и ГЛОНАСС (GLONASS) — Россия. Их разработки велись в 70—90-е годы. GPS развернута в 1993 г., ГЛОНАСС

официально принята в эксплуатацию в сентябре 1993 г., в марте 1995 г. открыта для гражданского применения, в 1996 г. развернута полностью. Выделяют три подсистемы (сегмента) ГСП: подсистема наземного контроля и управления, сеть наземных станций которой обеспечивает спутники точными координатами (эфемеридами) и другой информацией; подсистема созвездия спутников, состоящая из 24 космических аппаратов, оснащенных несколькими 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, 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, включающая приемники позиционирования с антеннами, накопителями результатов измерений, прочим оснащением и программным обеспечением обработки данных.

Горизонтали, изогипсы (contours, contour lines, isohypses) — линии (*изолинии*) равных абсолютных высот.

Граница (border, boundary, edge) — линия, разделяющая разноименные *полигоны*.

Графический интерфейс пользователя, графический пользовательский интерфейс, GUI-интерфейс (graphical user interface, GUI) — графическая среда организации взаимодействия пользователя с вычислительной системой (*см. интерфейс*). К основным элементам Г. и. п. относят: рабочий стол, окна, меню, линейки инструментов (инструментальные линейки, планки инструментов), представляющие собой наборы пиктограмм, выбор которых инициирует какое-либо действие, линейки-прокрутки и элементы управления: кнопки, в том числе кнопки команд, кнопки настройки, переключатели, наборы значений, выключатели, списки, текстовые зоны, спиннеры и др.

Графопостроитель, плоттер, автоматический координатограф (plotter) — устройство отображения, предназначенное для вывода данных в графической форме на бумагу, пластик, фоточувствительный материал или иной носитель путем черчения, гравирования, фоторегистрации или иным способом.

Групповое кодирование, кодирование группами отрезков (run-length encoding, run length coding, RLE) — один из простых и распространенных методов сжатия растровых данных, основанный на замене групп повторяющихся символов в последовательности значением числа повторений (например, последовательность 00000111107777 имеет групповой код 50411047); иначе говоря, замена отрезка, состоящего из одноименных элементов *растра*, длиной отрезка.

ГСП — *см. глобальные системы позиционирования.*

Д

Данные (datum, *pl.* data) — 1. Зарегистрированные факты, описания явлений реального мира или идей, которые представляются достаточно ценны-

ми, для того чтобы их сформулировать и точно зафиксировать. — 2. Сведения, представленные в виде, пригодном для обработки автоматическими средствами при возможном участии человека; факты, понятия или команды, представленные в формализованном виде, позволяющем осуществить их передачу, интерпретацию или обработку как вручную, так и с помощью систем автоматизации. Д. о *пространственных объектах*, снабженные указанием на их локализацию в пространстве (позиционными *атрибутами*), носят наименование *пространственных* (географических) *данных*.

Дешифровочные признаки пространственных объектов (features, signature) — характеристики объектов, позволяющие определить их на снимках визуально или используя методы *автоматизированного дешифрирования*: тон, цвет, размер, форма, текстура, рисунок, тень, местоположение, связь с другими элементами. При дешифрировании их разделяют на: яркостные признаки (brightness features) — набор числовых значений спектральной яркости; геометрические признаки (geometric features — это форма (линейная, плоская, объемная), размер, топологические свойства объектов (например, связность, число промежутков); комплексные признаки (texture features) — специфическое сочетание яркостных и геометрических признаков, определяющее структуру (текстуру) изображенных на снимке объектов.

Дигитайзер, цифрователь, графический планшет, графическое устройство ввода данных, графоповторитель, «сколка», «таблетка» (digitizer, digitiser, tablet, table digitizer, digitizer tablet, digital tablet, graphic tablet) — 1. Устройство для аналого-цифрового преобразования сигналов, источников и данных. — 2. *В геоинформатике, компьютерной графике и картографии*: устройство для ручного *цифрования* картографической и графической документации в виде множества или последовательности точек, положение которых описывается прямоугольными декартовыми *координатами* плоскости Д.

Дисплей, видеоэкран, устройство отображения (display, display device) — устройство (система) вывода, осуществляющее визуальное представление (отображение, *визуализацию*) выводимых данных на экран (монитор) компьютера. По конструкции различают Д. на основе электронно-лучевой трубки и жидкокристаллические Д. (ЖК-дисплеи), плазменные Д.; по режиму отображения — алфавитно-цифровые, графические, векторные Д.; по цветности — монохромные (обычно черно-белые) и цветные Д. Возможности монохромного и цветного воспроизведения текста и графики поддерживаются аппаратно и/или программно драйверами и графическими адаптерами и видеостандартами, включая CGA, EGA, VGA (устаревшие типы), SVGA, XGA. Размер экрана измеряется длиной его диагонали, обычно в диапазоне от 14 до 21 дюйма. Четкость изображения Д. зависит от размера зерна, точнее, от расстояния между зернами (обычно от 0,32 мм до 0,25 мм), диапазона частот развертки по горизонтали и вертикали.

Дуга (arc, string, chain, line, edge) — 1. Последовательность *сегментов*, имеющая начало и конец в *узлах*; элемент (примитив) *векторной топологической* (линейно-узловой) *модели* линейных и полигональных *пространственных объектов* (см. *линия*, *полигон*). — 2. Кривая, описываемая относительно множества точек некоторыми аналитическими функциями.

З

Запрос (query, request) — задание на поиск данных в *базе данных*, удовлетворяющих некоторым условиям, в том числе содержащим координаты искомых объектов (*см. пространственный запрос*).

И

Идентификатор (identifier) — уникальный номер, приписываемый *пространственному объекту* слоя; может присваиваться автоматически или назначаться пользователем; служит для связи позиционной и непозиционной части *пространственных данных*.

Изолинии (contours) — линии на карте, соединяющие равные значения аппликат.

ИИ — *см. искусственный интеллект*.

Интернет (Internet) — всемирная сеть сетей, открытая для всеобщего доступа и обеспечивающая соединение компьютера пользователя с другими компьютерами для организации и поддержки обмена информацией между ними: передачи файлов, пересылки сообщений электронной почты, поиска и просмотра информации, существующей в самых различных формах — *Веб-страницах*, каталогах, базах данных и т.д.

Интернет-картографирование, Веб-картографирование, киберкартографирование (Internet-mapping) — процесс формирования посетителем *Веб-сайта* картографических изображений на экране своего компьютера с помощью установленного на нем *Веб-браузера*. *Веб*-браузер или поддерживаемые им специальные *клиентские расширения* управляют *картографическим Интернет-сервером* Веб-сайта, передавая ему команды по перестройке карты (изменению масштаба, содержания и т.д.) в виде *скрипта* и получая от него новое картографическое изображение.

Интерполяция, интерполирование (interpolation) — восстановление функции на заданном интервале по известным ее значениям в конечном множестве точек, принадлежащих этому интервалу.

Интерфейс (interface) — совокупность средств и правил, обеспечивающих взаимодействие вычислительных систем, входящих в их состав устройств, программ, а также пользователя с системой; последний из них носит особое название интерфейса пользователя, в современных программных средствах оформляемый графически (*см. графический интерфейс пользователя*).

Интранет (Intranet) — локальная или корпоративная сеть, использующая для работы технологии *Интернета*, например, *Веб-сервера* и *Веб-браузеры*, и предназначенная для выполнения исключительно корпоративных (внутренних) задач той или иной организации. Корпоративная сеть, как правило, имеет выход к внешним сетям, в том числе к *Интернету*, в котором часть информационных ресурсов корпоративной сети может быть доступна для всеобщего пользования.

Информационное обеспечение (information support) — совокупность массивов информации (*баз данных*, *банков данных* и иных структурированных наборов *данных*), систем кодирования, классификации и соответствующей документации, обслуживающая систему обработки данных (наряду с *программным* и *аппаратным обеспечением*). И. о. ГИС включает поиск и оценку

источников пространственных данных, накопление данных, выбор методов ввода данных в машинную среду, проектирование *баз данных*, их ведение и метасопровождение (*см. метаданные*), оценку качества данных.

Информация (information) — 1. Совокупность сведений о фактических *данных* и зависимостях между ними; сведения, являющиеся объектом некоторых операций: передачи, распределения, преобразования, хранения или непосредственного использования; сведения, релевантные пользователю. — 2. *В вычислительной технике*: содержание, присваиваемое *данным* посредством соглашений, распространяющихся на эти данные; данные, подлежащие вводу в компьютер, обрабатываемые на нем и выдаваемые пользователю. Законы, методы и способы накопления, обработки и передачи информации с помощью компьютеров и иных технических устройств изучаются информатикой, а в приложениях к проблематике ГИС — *геоинформатикой*.

Инфраструктура (гео)**пространственных данных**, ИПД ((geo)spatial data infrastructure) — совокупность технологических, нормативно-правовых и институциональных мер и механизмов организации и интеграции ресурсов *пространственных данных* (2) на национальном, региональном и глобальном уровнях для эффективного использования, обеспечения доступности к информации со стороны государственных и коммерческих организаций и простых граждан, удобства информационного взаимодействия держателей и потребителей данных, устранения ведомственных информационных барьеров, дублирования сбора пространственных данных. ИПД включает три необходимых компонента: базовую пространственную информацию, стандартизацию пространственных данных, базы *метаданных* и механизм обмена данными, а также институциональную основу их реализации.

ИПД — *см. инфраструктура (гео)пространственных данных.*

Искусственный интеллект, ИИ (artifical intelligence, AI) — общее понятие, описывающее способность вычислительной машины моделировать процесс мышления за счет выполнения функций, которые обычно связывают с человеческим интеллектом. К сфере ИИ относят построение и использование *экспертных систем*, логический вывод (доказательство теорем и правильности программ), понимание естественных языков, зрительное и слуховое восприятие. Иногда считается, что элементы ИИ реализуются в некоторых пространственно-аналитических и геомоделирующих блоках и причисляются к *функциональным возможностям ГИС.*

Источники пространственных данных (spatial data sources) — аналоговые или цифровые данные, которые могут служить основой *информационного обеспечения* ГИС. К четырем основным типам И. П. Д. принадлежат: картографические источники, то есть карты, планы, атласы и иные картографические изображения; данные дистанционного зондирования; данные режимных наблюдений на гидрометеопостах, океанографических станциях и т. п.; статистические данные ведомственной и государственной статистики и данные переписей.

К

Карта-основа (base map) — карта, элементы содержания которой образуют основу географической привязки иных объектов картографирования.

«Картографическая алгебра» — *см. «алгебра карт».*

Картографические проекции, проекции (map projections, projections) — математически определенный способ изображения поверхности земного шара или эллипсоида (или другой планеты) на плоскости. Общее уравнение К. п. связывает геодезические широты (B) и долготы (L) с прямоугольными *координатами* x и y на плоскости: $x = f_1(B, L)$; $y = f_2(B, L)$, где f_1 и f_2 — независимые, однозначные и конечные функции. Все К. п. обладают теми или иными искажениями, возникающими при переходе от сферической поверхности к плоскости. По характеру искажений К. п. подразделяют на равноугольные, равнопромежуточные и произвольные. В зависимости от положения сферических координат К. п. делят на нормальные, поперечные и косые, в которых ось сферических координат совпадает с осью вращения Земли, лежит в плоскости экватора или расположена под углом к ней соответственно. По виду меридианов и параллелей нормальной сетки различают цилиндрические проекции, в которых меридианы изображены равноотстоящими параллельными прямыми, а параллели — прямыми, перпендикулярными к ним; конические проекции с прямыми меридианами, исходящими из одной точки, и параллелями, представленными дугами концентрических окружностей; азимутальные проекции, в которых параллели изображаются концентрическими окружностями, а меридианы — радиусами, проведенными из общего центра этих окружностей; псевдоцилинидрические проекции, где параллели представлены параллельными прямыми, а меридианы — в виде кривых, увеличивающих свою кривизну по мере удаления от прямого центрального меридиана; псевдоконические проекции, в которых параллели представлены дугами концентрических окружностей, средний меридиан — прямой, а остальные меридианы — кривые; поликонические проекции, в которых параллели изображены эксцентрическими окружностями, центры которых лежат на прямом центральном меридиане, а все остальные — кривыми линиями, увеличивающими кривизну с удалением от центрального меридиана; условные проекции, в которых меридианы и параллели на карте могут иметь самую разную форму.

Картографический Интернет-сервер (Internet Map Server — IMS) — сетевое программное обеспечение, устанавливаемое на *сервер* и предоставляющее пользователям *Интернета* возможность работы с размещенными на нем геопространственными данными. Картографический Интернет-сервер способен поддерживать многие базовые функции и сервисы ГИС, однако основное его назначение заключается в формировании и визуализации на экране компьютера клиента картографических изображений согласно запросу пользователя. Для этих целей сервер поддерживает базы пространственных и атрибутивных данных и взаимодействует с *Веб-сервером.*

Квадродерево — *см. квадротомическая модель* (*данных*).

Квадротомическая модель, квадротомическое представление (данных), квадродерево, дерево квадратов, Q-дерево, 4-дерево (quadtree, quad tree, Q-tree) — один из способов представления *пространственных объектов* в виде иерархической древовидной структуры, основанный на декомпозиции пространства на квадратные участки (квадратные блоки, квадранты), каждый из которых делится рекурсивно на 4 вложенных до достижения некоторого уровня детальности представления (*разрешения*).

Квадротомическое представление (данных) — *см. квадротомическая модель (данных).*

Клиент (client) — компьютер (или установленная на нем программа), который использует ресурсы, предоставляемые другим компьютером (или установленной на нем программой), который называется *сервером.*

Клиентское расширение (client-side extension) — программы, устанавливаемые на клиентском компьютере и расширяющие функциональные возможности средств просмотра ресурсов *Интернета.* Для целей *Интернет-картографирования* используются, как правило, клиентские приложения, способные работать с внутренними векторными форматами представления геопространственной информации *картографического Интернет-сервера.* В этом случае на компьютер клиента передается не готовое картографическое изображение, а массивы цифровых картографических и атрибутивных данных, которые используются клиентским приложением для формирования и визуализации нового картографического изображения.

Клон (clone) — компьютер, принтер или другое устройство, которое работает так же, как аналогичное известное устройство.

Компьютерная графика, машинная графика (computer graphics) — режим машинной обработки и вывода данных, при котором значительная часть выводимой информации имеет графический вид: от простых гистограмм и других графиков до сложных карт и технических чертежей. Некоторые из алгоритмов решения задач К. г. используются в ГИС.

Компьютерная карта (computer map) — карта, полученная с помощью средств *автоматизированного картографирования* или ГИС на *графопостроителях*, принтерах и др. графических *периферийных устройствах* путем воспроизведения на бумаге, пластике, фотопленке и иных материалах.

Конвертирование, конвертация (форматов) (format conversion) — преобразование данных из одного *формата* в другой, воспринимаемый иной системой (как правило, при экспорте или импорте данных).

Координаты (coordinates) — числа, заданием которых определяется положение точки на плоскости, поверхности или в пространстве. Прямоугольные (декартовы) К.: прямоугольные К. на плоскости — снабженные знаками «+» или «-» расстояния x (абсцисса) и y (ордината) этой точки от двух взаимно перпендикулярных прямых X и Y, являющихся координатными осями и пересекающихся в некоторой точке — начале К.; прямоугольные К. в пространстве — три числа x, y и z (аппликата), определяющие положение точки относительно трех взаимно перпендикулярных плоскостей. Плоскости пересекаются в начале К. и по координатным осям X, Y и Z. Полярные К.: полярные К. на плоскости (на поверхности) — два числа: полярное расстояние точки от фиксированного начала и полярный угол между выбранной полярной осью и направлением на точку. В качестве полярной оси на плоскости часто принимают направление, параллельное оси абсцисс, а на эллипсоиде — северное направление меридиана. В первом случае полярным углом будет дирекционный угол, во втором — азимут. В пространстве в качестве полярных К. используют радиус-вектор (расстояние от начала координат до заданной точки), вертикальный угол и азимут. Сферические К.: три числа: радиус-вектор, геоцентрические широта и долгота. Эллипсоидальные К.: три числа: геодезические широта, долгота и высота; определяют положение точки земной поверхности от-

носительного земного эллипсоида. Измерениями на физической поверхности определяют астрономические широты и долготы. Различия геодезических и астрономических К. обусловлены уклонениями отвесных линий, зависят от фигуры Земли, земного эллипсоида, от его расположения в теле Земли. В мелкомасштабном картографировании различием геодезических и астрономических широт и долгот пренебрегают и их именуют географическими К. — названием, исторически сложившимся по отношению к шарообразной и однородной по строению Земле. Часто ошибочно геодезические К. называют географическими. К. с началом на земной поверхности или в околоземном пространстве называют топоцентрическими К., с началом в центре масс — геоцентрическими К., около центра масс Земли — квазигеоцентрическими К. Различают К. экваториальные, когда одной из координатных плоскостей является плоскость экватора, К. горизонтные, когда координатной плоскостью служит плоскость горизонта. На эллипсоиде, шаре и на картах применяют криволинейные К.

Контур — *см. полигон.*

Коридор — *см. буферная зона.*

Коэффициентами спектральной яркости (спектральная яркость) (brightness value) — измеренные и записанные с помощью регистрирующего устройства характеристики *отражательной способности объекта*, переведенные в дискретные безразмерные цифровые значения, обычно в диапазоне 0—255.

Л

Линейно-узловая модель (данных) — *см. векторная топологическая модель (данных).*

Линейный объект — *см. линия.*

Линейный сегмент — *см. сегмент.*

Линия, линейный объект, полилиния (line, line feature, linear feature) — 1. 1-мерный *пространственный объект*, образованный последовательностью не менее двух точек с известными плановыми координатами (линейными *сегментами* или *дугами*); совокупность Л. образует линейный *слой*. — 2. Обобщенное наименование линейных графических примитивов и пространственных объектов: линии (1) *сегментов* и *дуг*, *границ* полигона.

М

Макрокоманда (macro command) — одна буква или слово, которые используются для запуска набора подпрограмм, что упрощает пользование программой.

Математико-картографическое моделирование (mathematical-cartographic model(l)ing) — процесс органического комплексирования математических и картографических моделей в системе «создание — использование карт» для конструирования или анализа тематического содержания карт.

Машина фон-Неймана (von Neumann machine) — логическая конструкция ЭВМ, состоящая из следующих основных блоков: устройство ввода/вывода информации, память компьютера и процессор, включающий

устройство управления и арифметико-логическое устройство. Общие принципы работы машины фон-Неймана: 1) принцип двоичного кодирования (вся информация, поступающая в ЭВМ, кодируется с помощью двоичных сигналов); 2) принцип программного управления (программа состоит из набора команд, которые выполняются процессором автоматически друг за другом в определенной последовательности); 3) принцип однородности памяти (программы и данные хранятся в одной и той же памяти. Поэтому ЭВМ не различает, что хранится в данной ячейке памяти — число, текст или команда. Над командами можно выполнять такие же действия, как и над данными); 4) принцип адресности (основная память структурно состоит из пронумерованных ячеек; процессору в произвольный момент времени доступна любая ячейка). Практически все ЭВМ, которыми мы сейчас пользуемся, работают на указанных принципах.

Машинная графика — *см. компьютерная графика.*

Метаданные (metadata) — данные о *данных*: каталоги, справочники, реестры, инвентории, базы М. и иные формы описания (метасопровождения) наборов цифровых и аналоговых данных, содержащие сведения об их составе, содержании, статусе (актуальности и обновляемости), происхождении (способах и условиях получения), местонахождении, качестве (полноте, непротиворечивости, достоверности), форматах и формах представления, условиях доступа, приобретения и использования, авторских, имущественных и смежных с ними правах на данные и об их иных датометрических характеристиках.

Метка (label) — 1. Дескриптивная информация, присвоенная *пространственному объекту* слоя и хранящаяся в *базе данных* в качестве его *атрибута* (в отличие от *аннотации*, относящейся к графическому объекту и не связанной с атрибутивной базой данных). — 2. Внутренняя точка полигона, служащая для его связи с атрибутами *базы данных* через *идентификатор*. — 3. В языках программирования: языковая конструкция, устанавливающая имя оператору и включающая *идентификатор*.

Микропроцессор (CPU, Central Processor Unit — ЦПУ, или центральное процессорное устройство) — важнейший компонент любого персонального компьютера, его «мозг», который управляет работой компьютера и выполняет большую часть обработки информации. Микропроцессор представляет собой сверхбольшую интегральную схему, степень интеграции которой определяется размером кристалла и количеством реализованных в нем транзисторов.

Выполняемые микропроцессором команды предусматривают, как правило, арифметические действия, логические операции, передачу управления (условную и безусловную) и перемещение данных (между регистрами, оперативной памятью и портами ввода/вывода). С внешними устройствами микропроцессор может общаться благодаря своим шинам адреса, данных и управления, выведенным на специальные контакты корпуса микросхемы. Разрядность внутренних регистров микропроцессора может не совпадать с количеством внешних выводов для линий данных, например, микропроцессор с 32-разрядными регистрами может иметь только 16 внешних линий данных.

Модель (пространственных) **данных**, представление (пространственных) данных (spatial data representation, (geo)spatial data model) — логиче-

ские правила для формализованного цифрового описания объектов реальности (местности) как *пространственных объектов*; наиболее универсальные и употребительные из них: *векторная модель* (*данных*), включая *векторную топологическую модель* и *модель «спагетти»*, *растровая модель* (*данных*), *регулярно-ячеистая модель* (*данных*) и *квадротомическая модель* (*данных*). Машинные реализации М. п. д. называют *форматами* пространственных данных. Существуют способы и технологии перехода от одних М. п. д. к другим (например, *растрово-векторное преобразование*, *векторно-растровое преобразование*).

Модель «спагетти», векторная нетопологическая модель (данных), векторное нетопологическое представление (данных) (spaghetti model) — разновидность *векторной модели* (*данных*) для представления линейных и полигональных *пространственных объектов* с описанием их *геометрии* (но не *топологии*) в виде набора *дуг* или совокупности *сегментов*.

Модель TIN (*TIN* model) — одна из *моделей* (*пространственных*) *данных*, используемая при конструировании *цифровой модели рельефа*, представляя его набором высотных отметок в узлах сети неравносторонних треугольников, соответствующей *триангуляции Делоне*, и заменяя его многогранной поверхностью.

Мультимедиа (multimedia) — компьютерная система и технология, обеспечивающая возможность создания, хранения и высококачественного воспроизведения разнородной информации, включая текст, звук и неподвижные и движущиеся изображения (анимацию), и ее совместного использования. Обязательными составными частями минимального комплекта мультимедийной системы на базе ПК является дисковод CD-ROM, звуковая карта (плата) для воспроизведения и синтеза звука и акустическая стереофоническая система, которые могут быть дополнены аппаратурой для записи и воспроизведения видеоизображений и др. устройствами. Функции М. могут быть встроены в программные средства ГИС, использоваться в качестве элемента содержания *электронных атласов*.

Н

Нейрон искусственный (технический, формальный) (neuron)— это вычислительный элемент, который вычисляет взвешенную сумму входных сигналов, а затем рассчитывает значение передаточной функции и подает ее на другие нейроны или на выход сети нейронов.

Нейронная сеть, нейросеть — взаимодействующая совокупность нервных клеток — нейронов (естественная), либо моделирующих их поведение компонентов (искусственная) с выделенными связями между ними. Н. с. обладает свойствами автоматического выбора конфигурации активных компонентов в процессе самообучения, который осуществляется путем постепенного изменения значений весовых коэффициентов компонентов сети для уменьшения ошибки в выдаваемом сетью сигнале. Искусственная нейронная сеть представляет собой систему, состоящую из многих простых вычислительных элементов, работающих параллельно, функция которых определяется структурой сети, силой взаимных связей, а вычисления производятся в самих элементах или узлах сети. Вычислительными элементами могут служить микропроцессорные или аналоговые

устройства. Под нейронными сетями (или нейросетевыми методами) также иногда понимают класс алгоритмов (программ), обеспечивающих решение задач примерно так, как это делает мозг человека. Это обстоятельство обеспечивает им широкое применение в создании систем *искусственного интеллекта.*

Нечеткая логика (fuzzy logic) — расширение Булевой логики, которое позволяет определять промежуточные значения между стандартными двоичными оценками Да/Нет, Истина/Ложь, Черное/Белое, и т.д. Понятия «довольно теплый» или «довольно холодный» могут быть сформулированы математически точно и обработаны компьютерами. Нечеткая логика позволяет применить человекоподобное мышление в программировании компьютера. Применяется в создании систем *искусственного интеллекта.*

О

Область — *см. полигон.*

Обновление (данных) — *см. актуализация* (*данных*).

Оверлей (overlay) — 1. Операция наложения друг на друга двух или более *слоев*, в результате которой образуется графическая композиция исходных слоев (графический О.) или один производный слой, содержащий геометрическую композицию *пространственных объектов* исходных слоев, *топологию* этой композиции и *атрибуты*, арифметически или логически производные от значений атрибутов исходных объектов в топологическом О. — 2. Группа аналитических операций, связанная или обслуживающая операцию О. в предыдущем смысле; к ним относятся операции О. одно- и разнотипных слоев и решение связанных с ним задач определения принадлежности точки или линии полигону, наложения двух полигональных слоев, уничтожение границ одноименных классов полигонального слоя с порождением нового слоя. — 3. Синоним *слоя* (в англоязычной терминологии).

Оттрансформирование, орторектификация (orthorectification, orthotransformation, orthofototransformation) — устранение на изображении геометрических искажений, вызванных рельефом, для создания ортофотоснимков, ортофотокарт, ортофотопланов и др. оттрансформированных (орторектифицированных) изображений и продуктов.

Отражательную способность объекта (spectral reflectance of feature) — характеристика отраженного от объекта земной поверхности излучения, представляемая значениями спектральной плотности энергетической яркости (Вт/(см^2·ср·мкм), которую измеряют посредством дистанционного датчика.

П

Периферийные устройства, внешние устройства, периферийное оборудование, «периферия» (peripherals, peripheral devices, peripheral equipment, peripheral unit) — часть *аппаратного обеспечения*, конструктивно отделенная от основного блока компьютера; комплекс устройств для внешней обработки данных, обеспечивающий их подготовку, ввод, хранение,

управление, защиту, вывод и передачу на расстояние по каналам связи. К П. у. ввода принадлежат *дигитайзеры*, *сканеры* и т.п. В группу устройств вывода входят *графопостроители*, принтеры, мониторы и т.п. П. у. ввода и вывода образуют группу графических П. у. К средствам хранения (накопления) и архивирования принадлежат внешние дисководы, стриммеры (стримеры) и т.п. Сюда относят также источники бесперебойного питания, модемы и т.п.

ПЗ-90 (PZ-90) — Параметры Земли 1990 г. — мировая геодезическая система; в 1995 г. объявлена геодезической основой российской *спутниковой системы позиционирования* ГЛОНАСС. С 2002 г. эта система официально используется в России для целей навигации и обороны.

Пиксел, пэл, пиксель (pixel, pel) (сокращение от англ. «picture element» — «элемент изображения») — элемент изображения, наименьшая из его составляющих, получаемая в результате дискретизации изображения (разбиения на далее неделимые элементы — дикреты, ячейки или точки *растра*). *В ГИС*: 2-мерный пространственный объект, далее неделимый элемент координатной плоскости, используемый в *растровой модели* (*данных*).

Пиксель — *см. пиксел.*

Плоттер — *см. графопостроитель.*

Поверхность, рельеф (surface, relief) — 2-мерный **пространственный объект**, определяемый не только плановыми координатами, но и аппликатой Z как одним из атрибутов образующих ее объектов, т.е. тройкой (триплетом) координат; оболочка *тела* (*см. цифровая модель рельефа*).

Полигон, область, многоугольник (*в вычислительной геометрии и компьютерной графике*), полигональный объект, контур, контурный объект (polygon, area, area feature, region, face) — 2-мерный (площадной) *пространственный объект*, внутренняя область, ограниченная замкнутой последовательностью *дуг* в *векторной топологической модели* (*данных*) или *сегментов* в *модели «спагетти»* и идентифицируемая внутренней точкой (*меткой*) и ассоциированными с нею *атрибутами*. Совокупность П. образует полигональный *слой*.

Полигон Тиссена, полигон Дирихле, полигон (диаграмма) Вороного, ячейка Вигнера—Зейтца, многоугольник близости (Thiessen polygons, Voronoi polygons, Voronoi diagrams, Dirichlet tessellation, proximity polygons, proximal polygons) — полигональная область (локус), образуемая на заданном множестве точек таким образом, что расстояние от любой точки области до данной точки меньше, чем для любой другой точки множества. Границы П.Т. являются отрезками перпендикуляров, восстановленных к серединам сторон треугольников в *триангуляции Делоне*, которая может быть построена относительно того же точечного множества.

Полигональный объект — *см. полигон.*

Полилиния — *см. линия.*

Представление (пространственных) **данных** — *см. модель* (*пространственных*) *данных.*

Программное обеспечение, математическое обеспечение, программные средства (software) — совокупность программ системы обработки информации и программных документов, необходимых при эксплуатации этих программ. Вместе с *аппаратным обеспечением* образует *аппаратно-программ-*

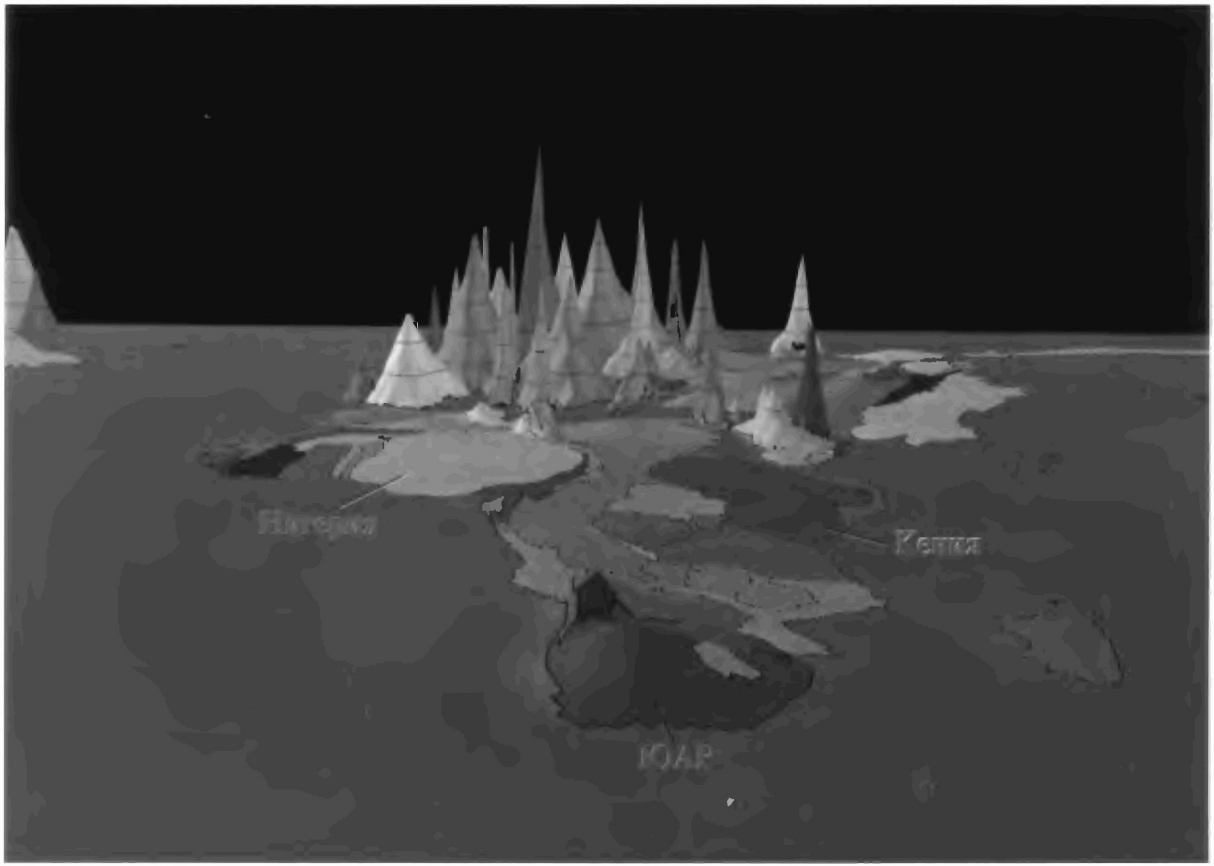


Рис. 1. Пример объемной анаморфозы

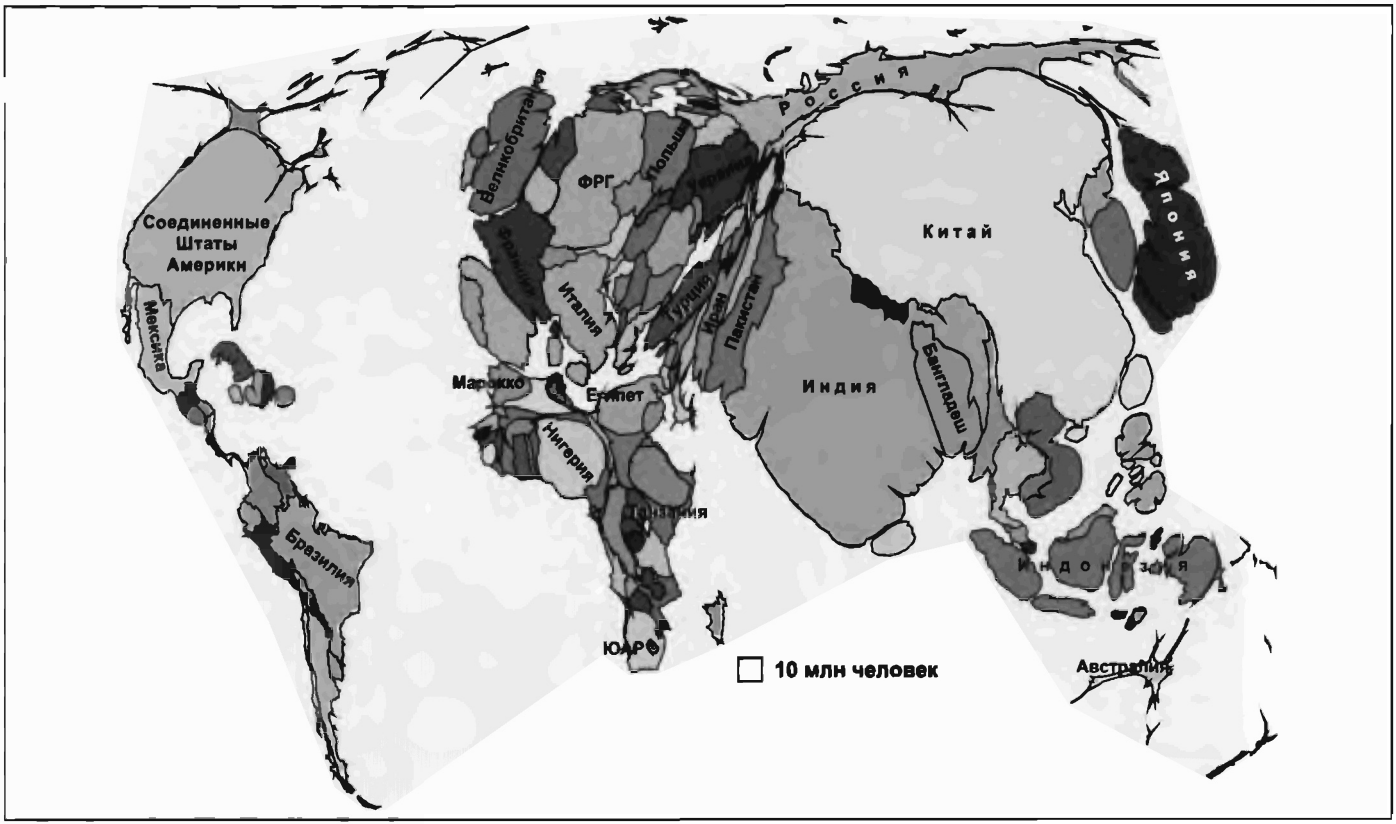


Рис. 2. Анаморфоза стран мира, созданная на основе численности населения (1950 г.)

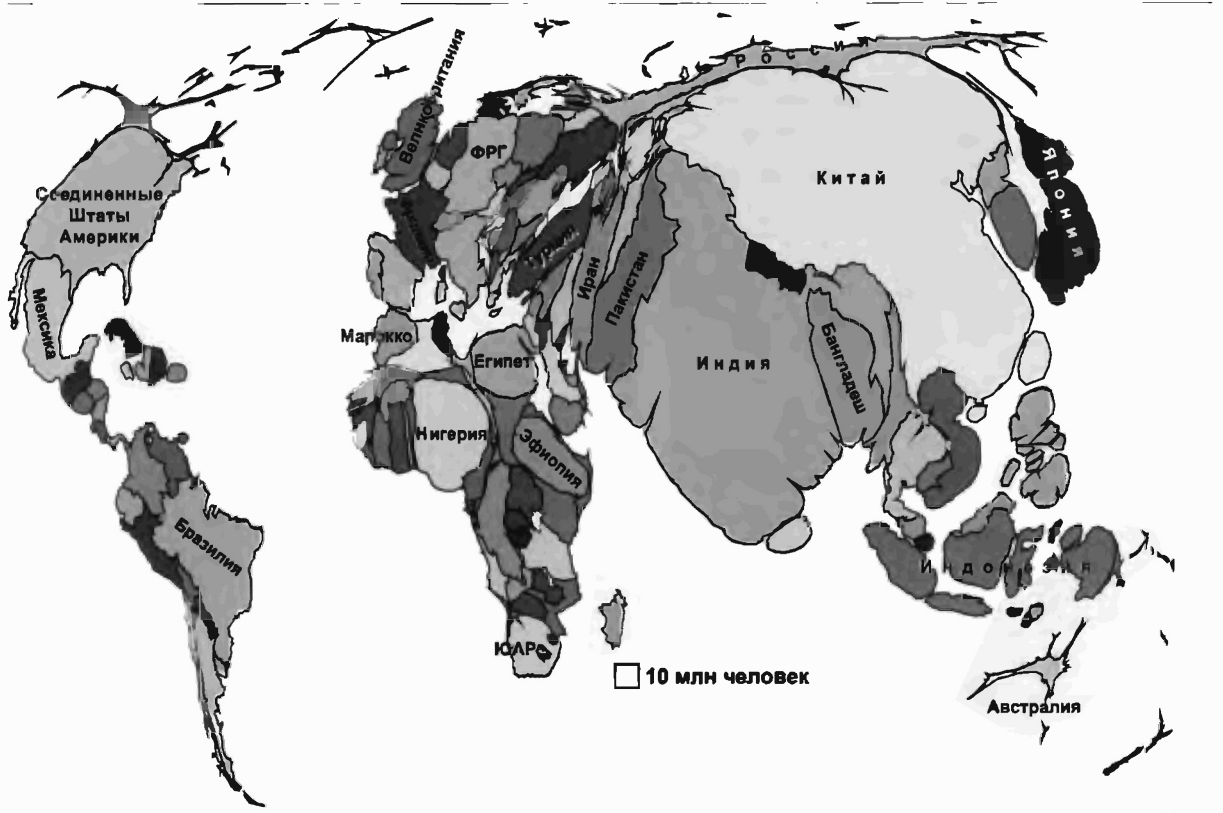


Рис. 3. Анаморфоза стран мира, созданная на основе численности населения (2000 г.)

скан
страницы
отсутствует

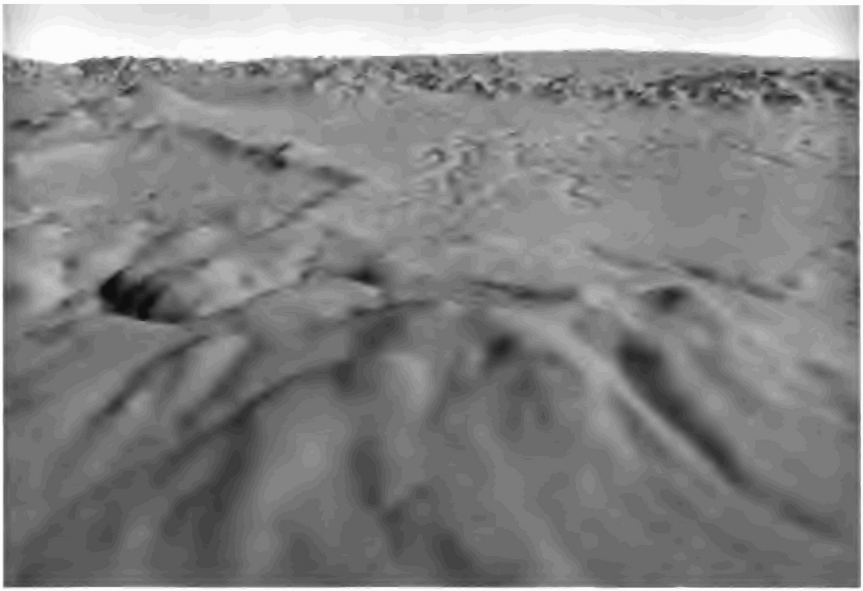


Рис. 5. ЦМР; не драпирована растровыми изображениями. Радиус видимости 100 км, высота наблюдателя 5000 м над поверхностью земли

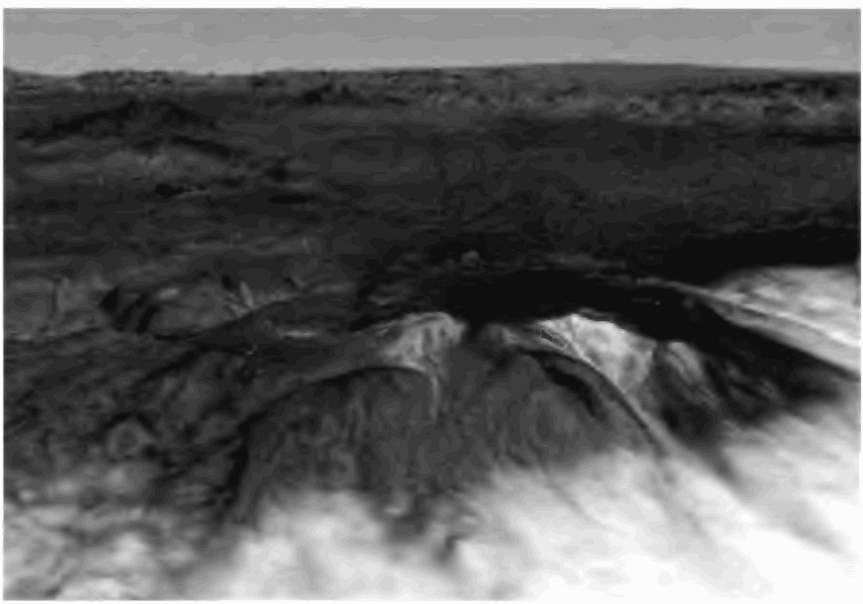


Рис. 6. Тот же участок, покрытый космической съемкой LANDSAT-7 (разрешение 15 м, см. выше). Радиус видимости 100 км, высота наблюдателя 5000 м над поверхностью земли

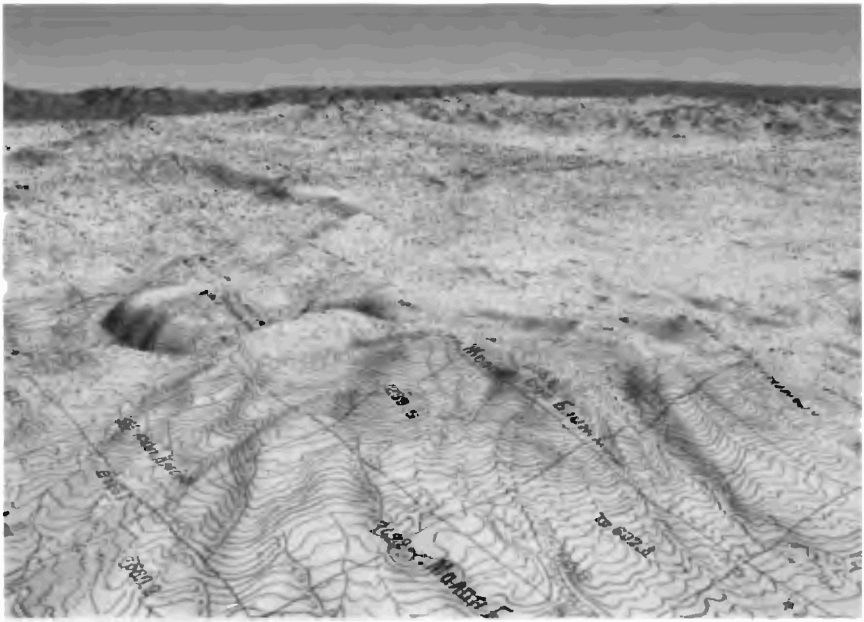


Рис. 7. Тот же участок, покрытый топографическими картами. Радиус видимости 100 км, высота наблюдателя 5000 м над поверхностью земли

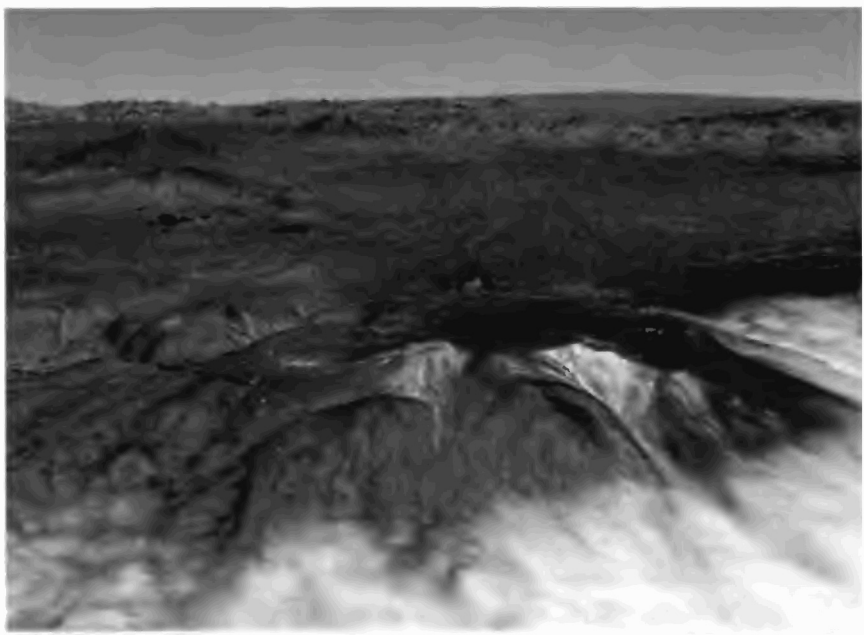


Рис. 8. Разрешение ЦМР — 50 м, разрешение текстуры — 15 м

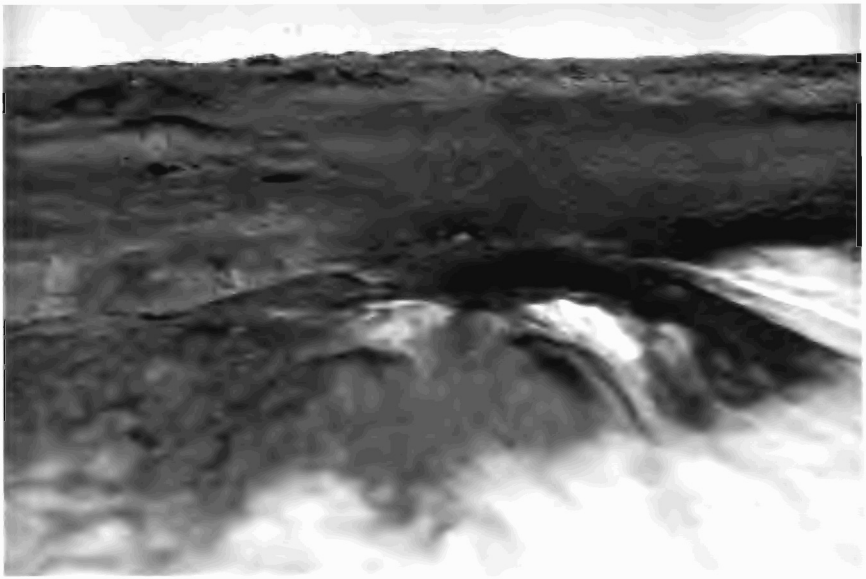


Рис. 9. Разрешение ЦМР — 500 м, разрешение текстуры — 75 м

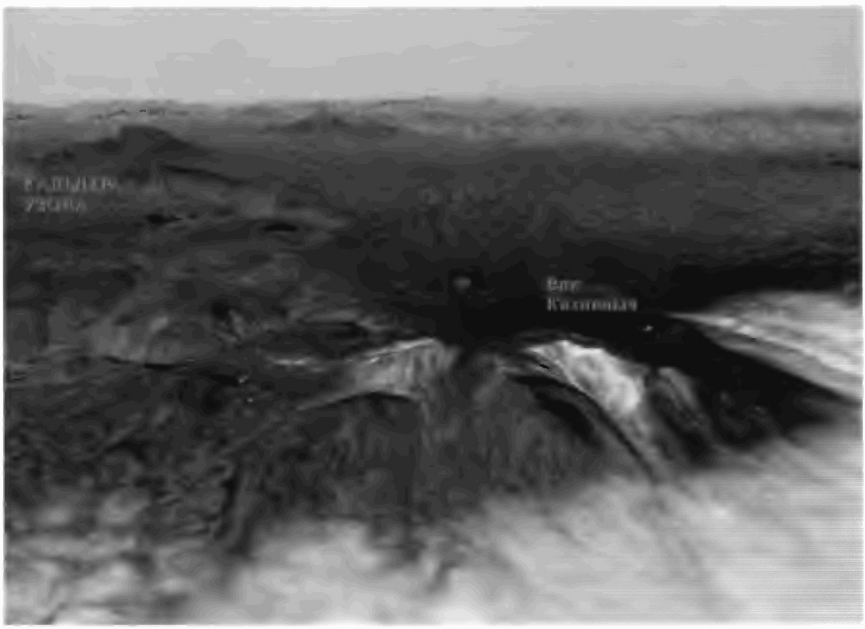


Рис. 10. Применение эффекта FOG (дымка)

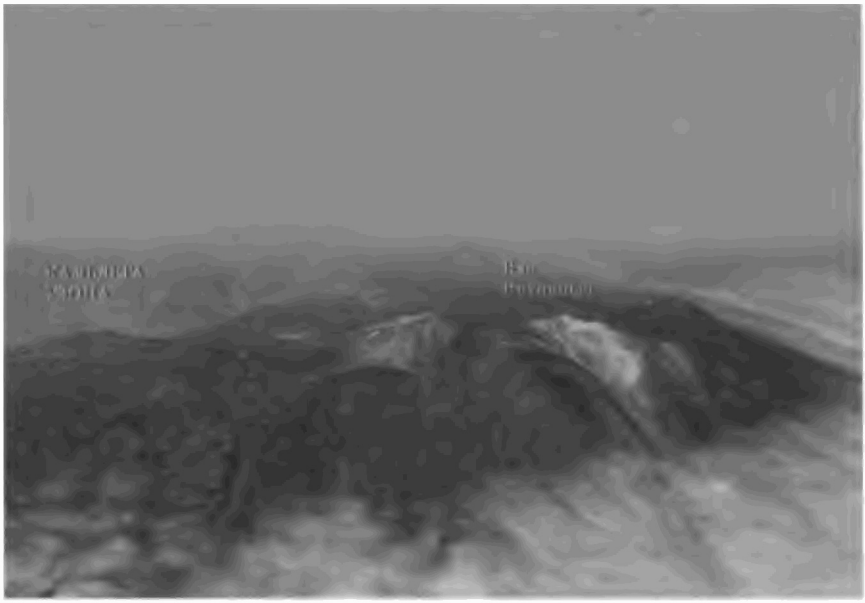


Рис. 11. Применение эффекта FOG (сильный туман)

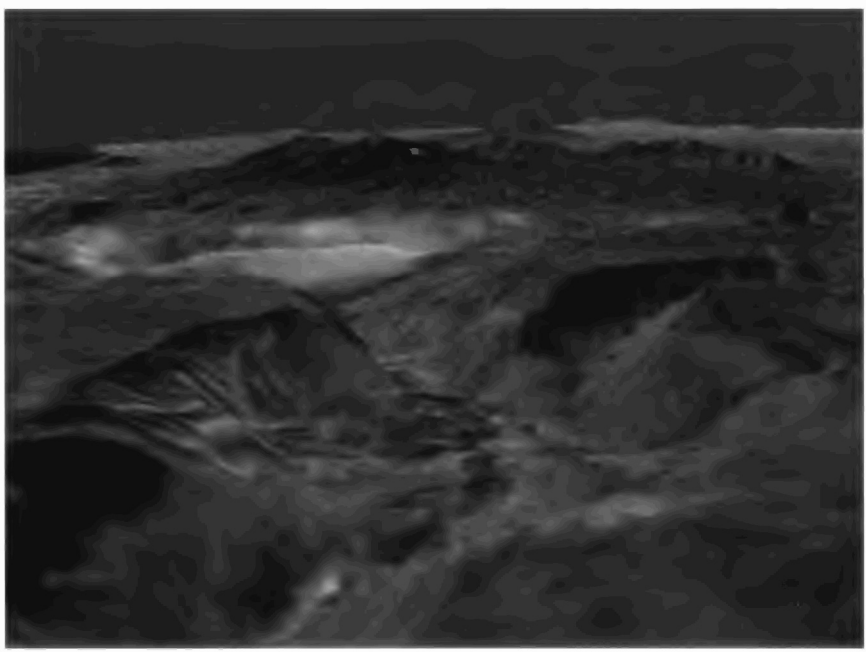


Рис. 12. Анаглифическое отображение ВММ (эффект стереовосприятия местности)

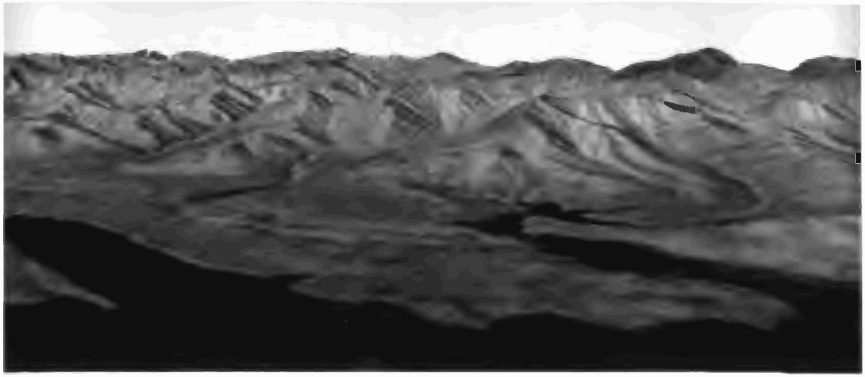


Рис. 13. Прозрачность топографических карт — 100 %, прозрачность снимка — 0 %

Рис. 14. Прозрачность топографических карт — 50 %, прозрачность снимка — 50 %

Рис. 15. Прозрачность топографических карт — 0 %, прозрачность снимка — 100 %

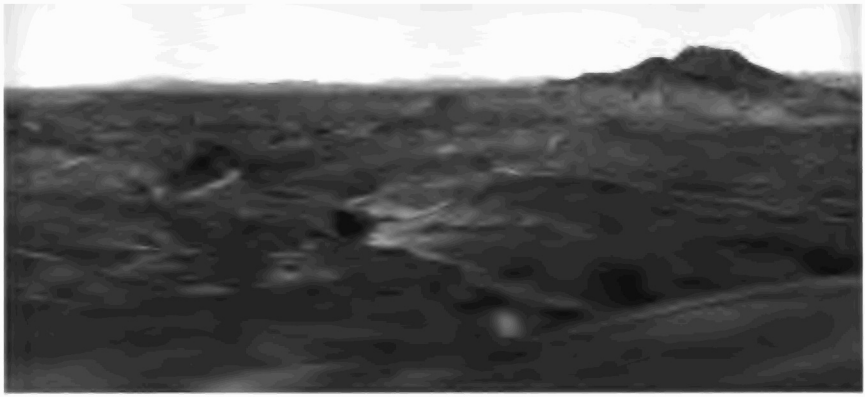


Рис.16. Вид местности при использовании режима «Объезд»

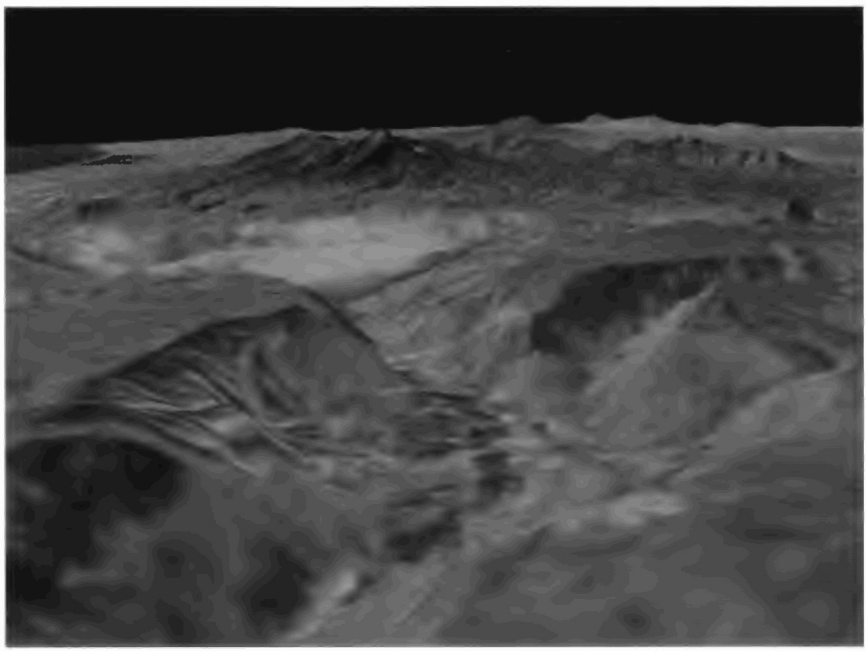


Рис. 17. Имитация эффекта прибора ночного видения

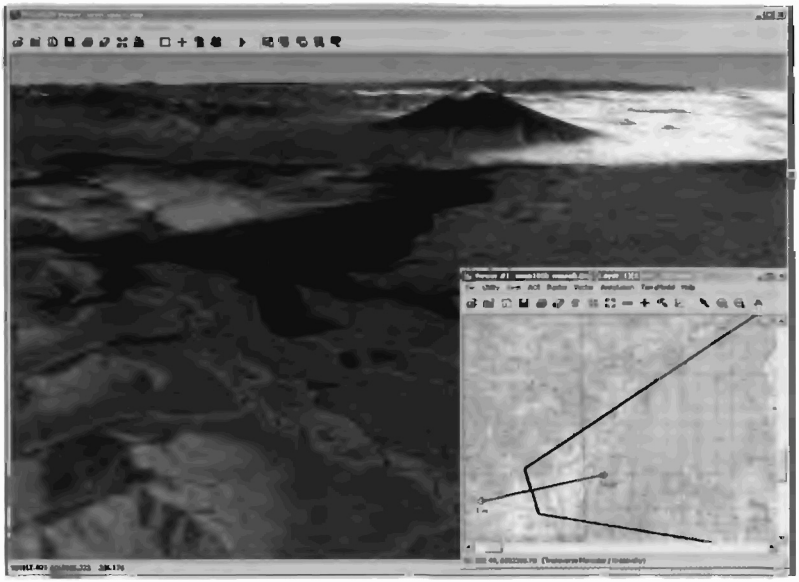


Рис. 18. Использование связанных окон (Geographic link). Положение наблюдателя (Eye) и направление взгляда (Target) показываются в отдельном окне на фоне привязанной топографической карты. Здесь же даны границы видимой области

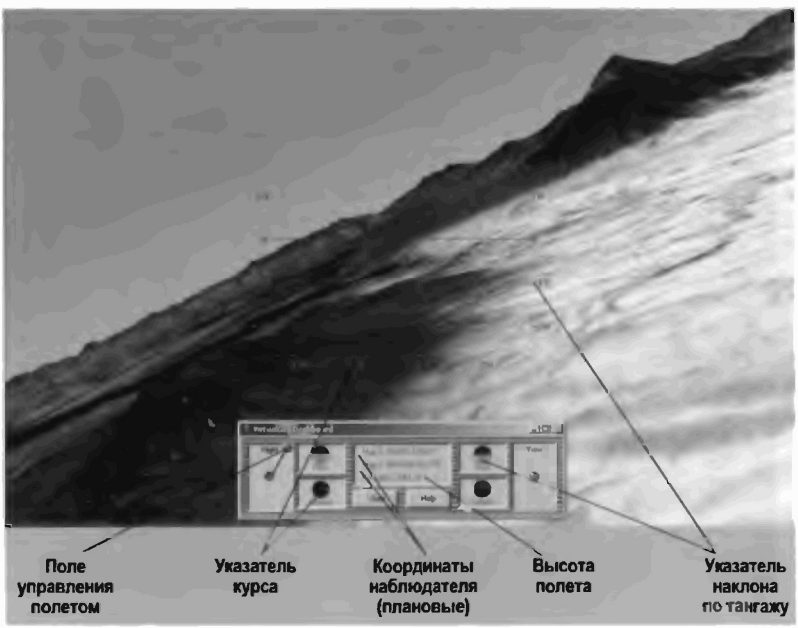


Рис. 19. Управление полетом и информация о полете: курс, высота, тангаж, плановые координаты (в местной или общеземной системе координат)

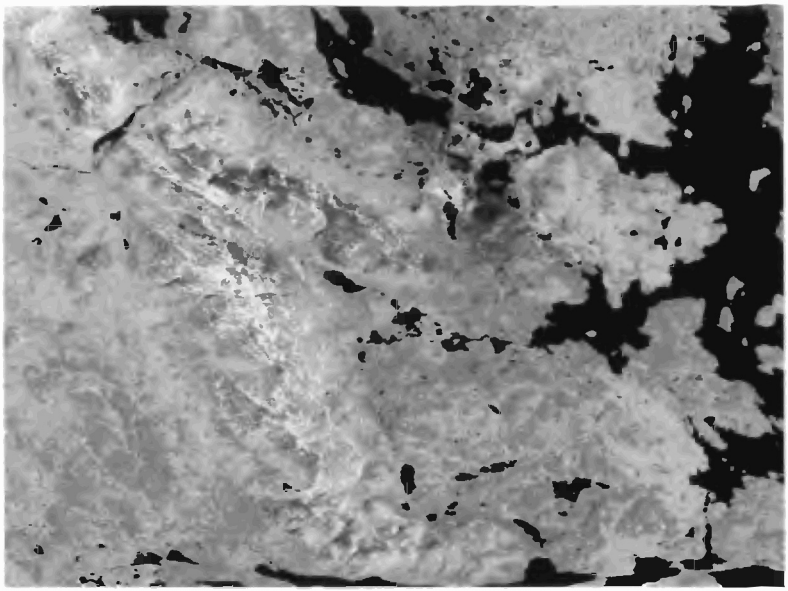


Рис 20. Синтез многозональных снимков, полученных съемочной системой Ландсат MSS 28.06.1978 г. (зоны 3, 2, 1 в диапазонах 0,70 – 0,80; 0,60 – 0,70; 0,50 – 0,60 соответственно), представлена композиция истинного (натурального) цвета

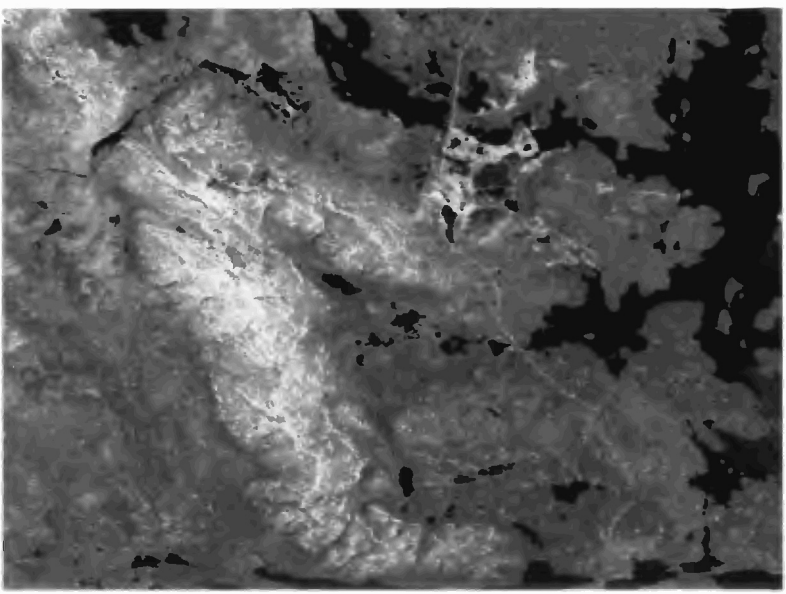


Рис 21. Синтез многозональных снимков, полученных съемочной системой Ландсат MSS 28.06.1978 г. (зоны 4, 3, 2 в диапазонах 0,80 – 1,10; 0,70 – 0,80; 0,60 – 0,70 соответственно), представлена композиция ложного цвета («красный синтез»)

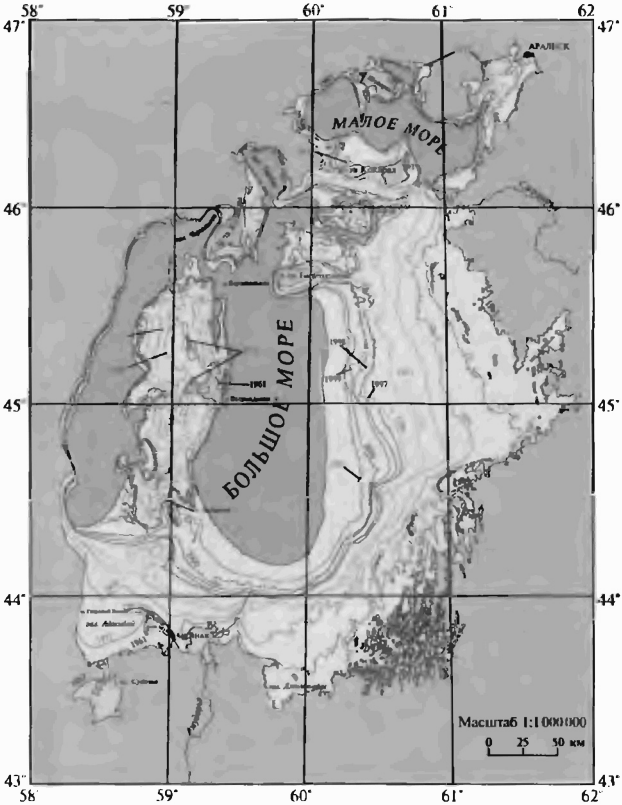


Рис 22. Карта динамики береговой линии Аральского моря за период 1957 – 2002гг., составленная по космическим снимкам и картам (В.И. Кравцова, И.К. Лурье, Т.М. Мудря, 2002)

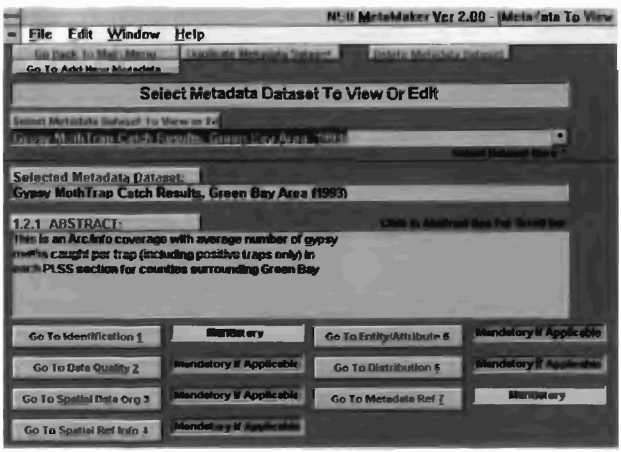


Рис 23. Главное меню Meta Maker 2.10

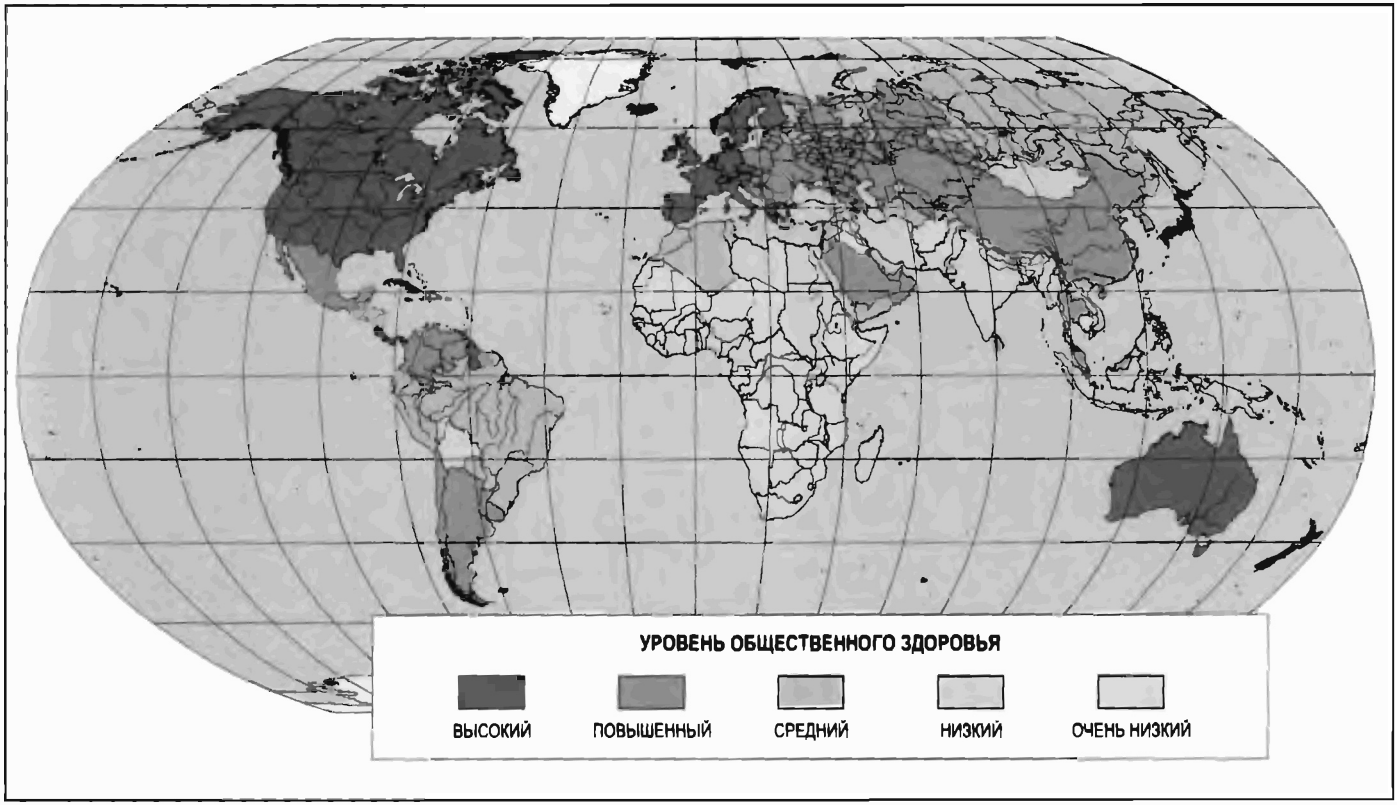


Рис. 24. Характеристика уровня общественного здоровья

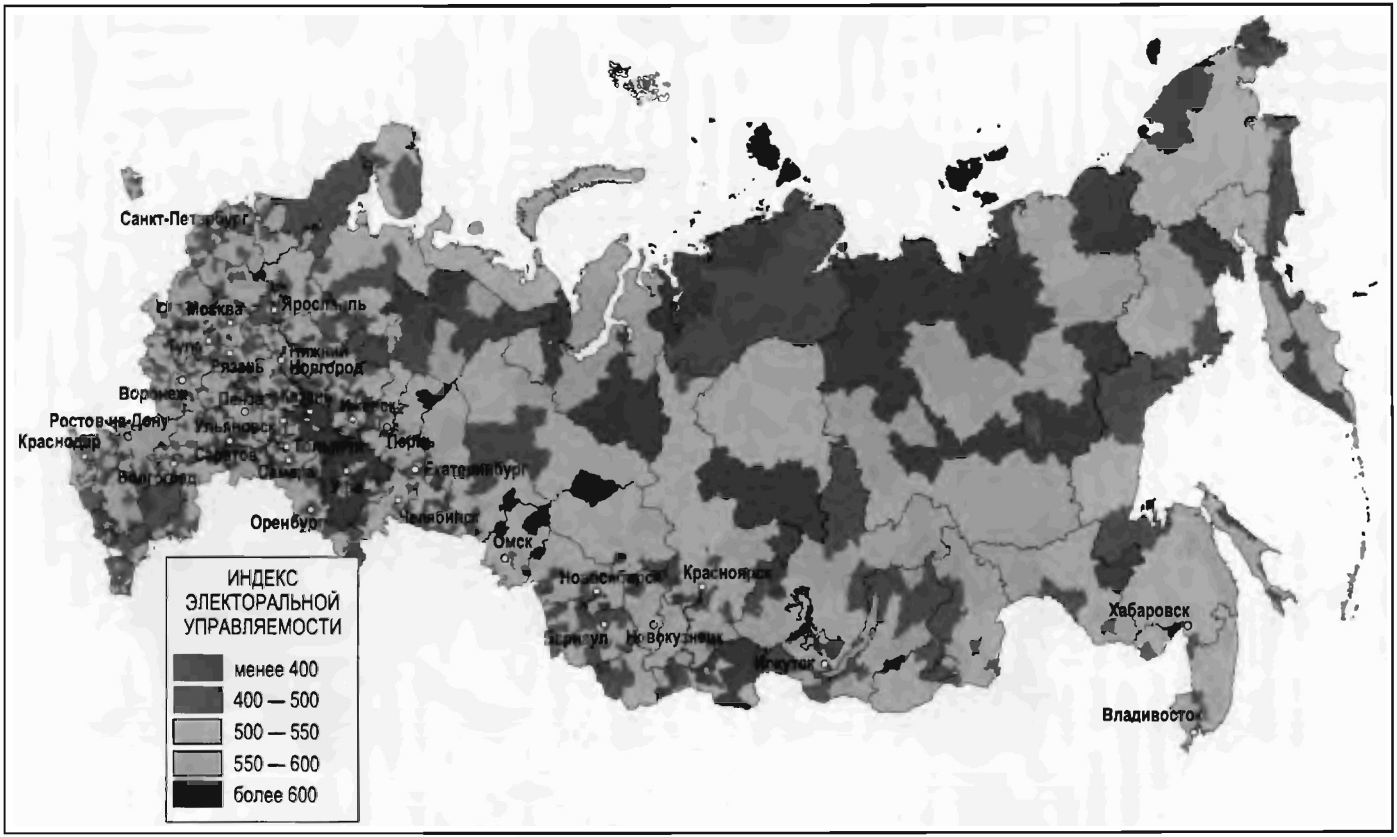


Рис. 25. Индексы электоральной управляемости территорий

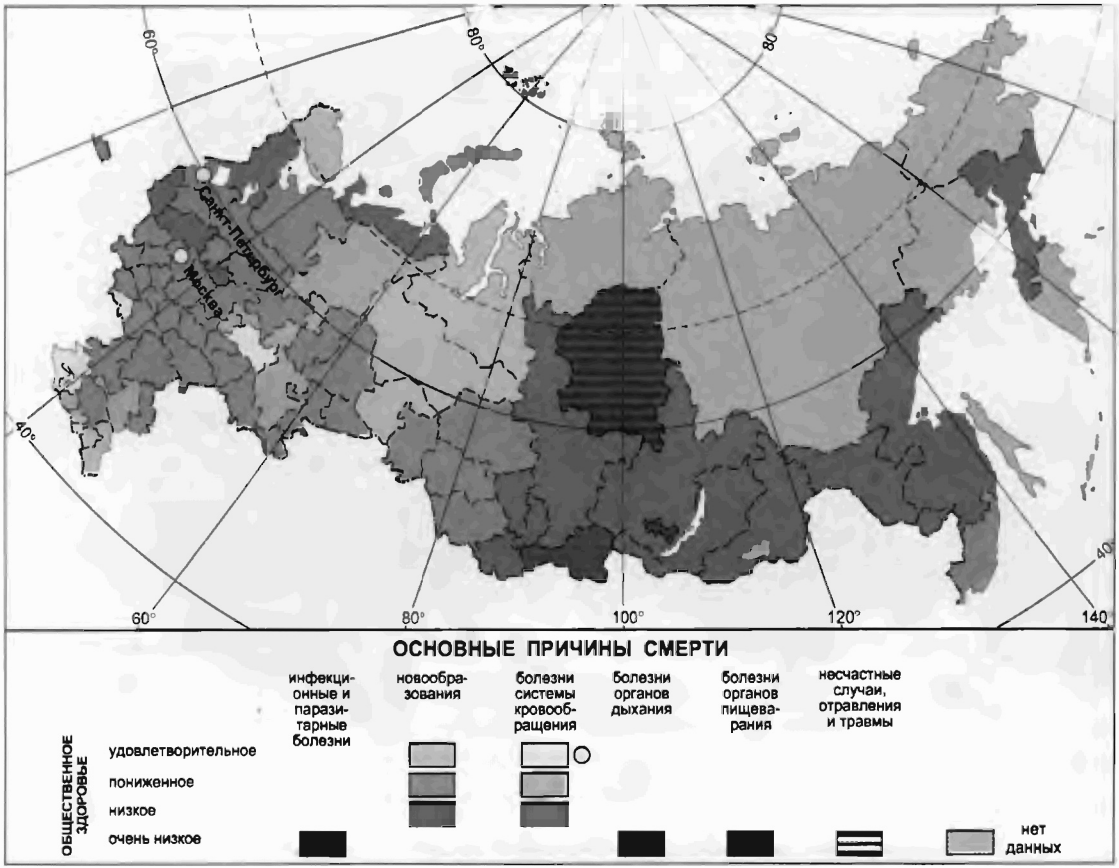


Рис. 26. Общественное здоровье и типы заболеваемости населения России

ное обеспечение. П.о. ГИС поддерживает тот или иной набор *функциональных возможностей ГИС.*

Проекции — *см. картографические проекции.*

Прокрутка (изображения) (scrolling) — вертикальное или горизонтальное перемещение текста или изображения в окне видеоэкрана для просмотра данных за его пределами.

Пространственное разрешение — *см. разрешение.*

Пространственное моделирование — *см. геомоделирование.*

Пространственные данные, географические данные, геоданные, геопространственные данные (spatial data, geographic(al) data, geospatial data, georeferenced data) — 1. Цифровые данные о *пространственных объектах*, включающие сведения об их местоположении и свойствах, пространственных и непространственных *атрибутах.* Обычно состоят из двух взаимосвязанных частей: позиционных данных и непозиционных данных; иначе говоря — описания пространственного положения и тематического содержания данных, тополого-геометрических и атрибутивных данных. В *векторных топологических моделях* (*данных*) полное описание П. д. складывается из взаимосвязанных описаний топологии, геометрии и атрибутики объектов. П. д. вместе с их семантическим окружением составляют основу *информационного обеспечения* ГИС. — 2. Любые пространственно координированные данные, включающие не только данные в первом значении (существующие, созданные и обрабатываемые в среде ГИС), но и цифровые изображения, *цифровые карты*, каталоги координат пунктов опорной геодезической сети и др. данные, принадлежащие предметной области и технологиям *геоматики.*

Пространственный анализ, геоанализ (spatial analysis) — группа функций, обеспечивающих анализ размещения, связей и иных пространственных отношений пространственных объектов, включая *анализ* зон *видимости/невидимости*, *анализ соседства*, *анализ сетей*, создание и обработку *цифровых моделей рельефа*, П. а. объектов в пределах *буферных зон* и др.

Пространственный запрос (spatial query) — задание (*запрос*) на поиск пространственных объектов в *базе данных* по условиям, содержащим пространственные операторы, такие как: касается, находится внутри, не пересекается (не имеет общих точек), находится на расстоянии и др. Простейшие пространственные операторы: попадает в круг заданного радиуса, попадает в прямоугольник с заданными координатами вершин.

Пространственный объект, географический объект, геообъект (feature, spatial feature, geographic(al) feature, object) — цифровое представление объекта реальности, иначе *цифровая модель* объекта местности, содержащая его местоуказание и набор свойств, характеристик, *атрибутов* (позиционных и непозиционных *пространственных данных* соответственно) или сам этот объект. Выделяют четыре основных типа П. о.: 0-мерные точечные (*точки*), 1-мерные линейные (*линии*), 2-мерные площадные (полигональные, контурные) (*полигоны*) и 2-мерные *поверхности* (рельефы), 2-мерные *ячейки* регулярных сетей и 2-мерные *пикселы* растра, а также 3-мерные *тела.* Полный набор однотипных объектов одного класса в пределах данной территории образует *слой.* Множество простых (индивидуализированных) П. о. может быть объединено в составной (композитный) или множественный П. о.

Процессоры-клоны — микропроцессоры, которые программно и аппаратно совместимы с продукцией образцом, например процессорами фирмы Intel. Производством клонов процессоров семейства x86 в различное время занимались компании AMD, Chips&Technologies, Cyrix (ныне подразделение National Semiconductor), IBM, IDT, IIT, NexGen, SGS Thomson, Texas Instruments, ULSI, UMC, а также отечественная радиоэлектронная промышленность. Точное воспроизведение процессоров Intel невозможно из-за патентных ограничений и запрещено законами об авторском праве, поэтому все процессоры-клоны в той или иной степени аппаратно и программно реализуют некую модель процессора Intel в том виде, в котором его представляют разработчики клона.

В настоящее время клоны в чистом виде встречаются редко. Некоторые процессоры компаний-конкурентов Intel реализуют функции, которых нет в процессорах Intel. Например, в процессорах AMD набор инструкций 3DNow! реализован весной 1998 г., а Intel ввела аналогичный набор команд KNI лишь в начале 1999 г. Процессоры фирм AMD, Cyrix (National Semiconductor) и IDT в настоящее время правильнее называть не клонами, а аналогами соответствующих процессоров Intel.

Пэл — *см. пиксел.*

Р

Разрешение, разрешающая способность, пространственное разрешение (resolution, spatial resolution) — способность измерительной системы (устройства съема данных — сенсора, приемника или устройства отображения) обеспечивать различение деталей объекта или его изображения и мера, используемая для оценки Р. как размера наименьшего из различаемых объектов (элементов Р.) и выражающаяся в числе точек на дюйм, DPI (например, для матричных или лазерных принтеров), в числе линий на дюйм (LPI), см или мм (для материалов дистанционного зондирования, устройств построчного *сканирования* изображений), в числе строк и столбцов *растра* видеоэкрана, в угловом или линейном размере *пиксела*, в размере наименьшего из различаемых объектов на местности (в м, км). *В дистанционном зондировании* кроме пространственного Р., которое зависит от освещенности снимаемых объектов, их яркости, спектральных характеристик и технических параметров съемки, различают температурное, угловое, спектральное Р. (палитра и количество оттенков), радиометрическое Р. (число градаций яркости, фиксируемых системой), временное Р. (минимальный промежуток времени, через который возможно повторное проведение съемки).

Растеризация — *см. векторно-растровое преобразование.*

Растр (raster) — 1. Оптическая решетка с прозрачными и непрозрачными элементами (линиями с определенной частотой, называемой линеатурой Р.), используемая при полиграфическом воспроизведении полутоновых изображений. — 2. Семейство горизонтальных параллельных линий, образующих изображение на электронно-лучевой трубке монитора или кинескопа телевизионного устройства. — 3. Решетка, как правило, прямоугольная, разбивающая изображение или координатную плоскость на элементы прямоугольной матрицы — *пикселы*, образующие основу растрового представления изображений или *растровой модели* (*данных*) в ГИС.

Растровая модель (данных), растровое представление (данных) (raster data structure, tessellation data structure, grid data structure) — цифровое представление *пространственных объектов* в виде совокупности элементов *растра* (*пикселов*) с присвоенными им значениями класса объекта в отличие от формально идентичной *регулярно-ячеистой модели* (*данных*) как совокупности ячеек *регулярной сети* (элементов разбиения земной поверхности). Р. м. предполагает позиционирование объектов указанием их положения в соответствующей растру прямоугольной матрице единообразно для всех типов *пространственных объектов* (точек, линий, полигонов и поверхностей); в машинной реализации Р. м. соответствует растровый *формат* пространственных *данных*.

Растрово-векторное преобразование, векторизация (vectorization, raster to vector conversion) — автоматическое или полуавтоматическое преобразование (конвертирование) *растровой модели* (*данных*) в *векторную модель* (*данных*). Р. в. п. поддерживается специализированными программными средствами — *векторизаторами*.

Растровое представление (данных) — *см. растровая модель* (*данных*).

Регрессия (regression) — зависимость среднего значения какой-либо величины от другой величины или от нескольких величин. Задачей регрессии является построение приближения выборки данных (x_i, y_i) некоторой непрерывной функцией $f(x)$, определенным образом минимизирующей совокупность ошибок в узлах $|f(x_i) - y_i|$. Регрессия сводится к подбору неизвестных коэффициентов, определяющих некоторую аналитическую зависимость $f(x)$. В силу производимого действия большинство задач регрессии являются частным случаем более общей проблемы сглаживания данных. Как правило, регрессия очень эффективна, когда заранее известен (или, по крайней мере, хорошо угадывается) закон распределения данных (x_i, y_i). Вид функции $f(x)$ определяет тип регрессии — линейная, нелинейная, многопараметрическая.

Регулярная сеть, «грид» (grid, regular grid, tessellation) — 1. Решетка, используемая для разбиения земной поверхности (но не изображения) на *ячейки* в *регулярно-ячеистой модели* (*данных*) аналогично *растру* в *растровой модели* (*данных*). — 2. Необщепризнанный синоним *растра* (*см. ячейка*).

Регулярная ячейка — *см. ячейка*.

Регулярно-ячеистая модель (данных), регулярно-ячеистое представление (данных), матричная модель (данных) (cellular data model, tessellation) — цифровое представление *пространственных объектов* в виде совокупности ячеек *регулярной сети* с присвоенными им значениями класса объекта в отличие от совокупности элементов *растра* (*пикселов*) в *растровой модели* (*данных*).

Регулярно-ячеистое представление (данных) — *см. регулярно-ячеистая модель* (*данных*).

С

САПР — *см. система автоматизированного проектирования*.

Сводка (edgematching, edge matching, edgematch, edgejoin) — согласование линейных элементов (*линейных объектов* и границ *полигонов*) на

двух смежных листах карты (*слоя*) по линии их стыка, сопровождающееся их соединением (графически, геометрически и/или топологически) и корректурой возможных рассогласований и завершающееся их объединением (физически или логически) в одно целое (*сшивкой* соседних листов).

Сегмент, линейный сегмент, отрезок (line segment, segment, chord) — 1. Отрезок прямой линии, соединяющий две точки с известными координатами: промежуточные точки или *узлы*. — 2. Элемент *дуги* в *векторных моделях* (*данных*). — 3. *В компьютерной графике*: набор графических примитивов и их атрибутов в некоторых системах (GKS).

Сенсорный планшет, сенсорная панель (touchpad) — панель, чувствительная к касанию — специальная панель, размером приблизительно 6 × 6 см, заменяющая мышь. Панель отслеживает как перемещение пальца, так и нажатие им (щелчок). Применяется в мобильных компьютерах и встраивается в некоторые модели клавиатур.

Сервер (server) — компьютер (или установленная на нем программа), предоставляющий *клиенту* доступ к совместному использованию собственных ресурсов в сети. Компьютер (или установленная на нем программа), который обеспечивает доступ к ресурсам *Веб-сайта*, называется **Веб-сервером**.

Сетевой анализ — *см. анализ сетей.*

Сетевой компьютер, или NC (Net Computer) — это компонент архитектуры клиент-сервер, имеющий минимальное программное обеспечение и предназначенный для работы в сети, отсюда второе название С. к. — тонкий клиент (thin client).

Система автоматизированного проектирования, САПР (computer-aided design, CAD) — комплекс программных, технических, информационных, технологических и др. средств, а также персонала системы, предназначенный для автоматизации процессов проектирования, в том числе подготовки проектно-конструкторской документации различных технических объектов (деталей, узлов, механизмов, приборов, программ, систем и т. п.). Программные средства САПР используются для создания *цифровых карт*.

Система управления базами данных, СУБД (data base management system, DBMS) — комплекс программ и языковых средств, предназначенных для создания, ведения и использования *баз данных*. Средствами СУБД поддерживаются различные операции с данными, включая ввод, хранение, манипулирование, обработку запросов, поиск, выборку, сортировку, обновление, сохранение целостности и защиту данных от несанкционированного доступа или потери.

СК-95 — Система координат 1995 г. — референцная геодезическая система, которая введена в России с июля 2002 г., вместо действовавшей ранее системы координат 1942 г.

Сканер, сканирующее устройство (scanner) — 1. Устройство аналого-цифрового преобразования изображения для его автоматизированного ввода в компьютер в растровом формате с высоким разрешением (обычно 300—600 *dpi* и более) путем *сканирования*. — 2. Устройство, размещаемое на аэро- или космических (летательных) аппаратах для дистанционных съемок, выполняющее ее путем построчного сканирования объекта съемки с регистрацией собственного или отраженного излучения.

Сканирование (scanning) — аналого-цифровое преобразование изображения в цифровую растровую форму с помощью *сканера* (1); один из способов или этапов *цифрования* графических и картографических источников для их векторного представления, предваряющий процесс *растрово-векторного преобразования* (векторизации). Часто рассматривается как альтернатива цифрованию с помощью *дигитайзеров* (2) с ручным обводом.

Сканирующее устройство — *см. сканер.*

Скрипт (Script) — небольшая программа-сценарий, написанная на каком-либо языке программирования. Различают скрипты клиентской и серверной стороны. Скрипты клиентской стороны используются для улучшения интерактивности *Веб-страницы*, в частности, для создания пользовательского интерфейса *Веб-картографирования*. Серверные скрипты управляют серверными программами и используются для динамической подготовки информации и формирования выходного *HTML-файла*. Так, например, скрипт, управляющий *картографическим Интернет-сервером*, как правило, содержит закодированное описание того картографического изображения, которое сервер должен сформировать и передать на клиентский компьютер вместе с выходным HTML-файлом.

Скроллинг — *см. прокрутка* (*изображения*).

Слой, «покрытие» (layer, theme, coverage, overlay) — совокупность однотипных (одной мерности) *пространственных объектов*, относящихся к одной теме (классу объектов) в пределах некоторой территории и в системе координат, общих для набора С. По типу объектов различают точечные, линейные, полигональные С. и т. п.

Спутниковые системы позиционирования, ССП — *см. глобальные системы позиционирования.*

ССП — *см. спутниковые системы позиционирования.*

Снимок (image, imagery) — информационная пространственно-временна́я модель объектов земной поверхности, которая дает возможность получения сведений об объектах в виде изображения в цифровой (данные, передаваемые на наземную станцию, как правило, по радиоканалам, или фиксируемые на борту на магнитных носителях) или аналоговой (фотографии) форме.

СУБД — *см. система управления базами данных.*

Сшивка (mapjoin, mosaicking) — автоматическое объединение векторных цифровых записей двух отдельных смежных (листов) *цифровых карт* или *слоев* ГИС, а также монтаж отдельных цифровых снимков или иных цифровых изображений в растровом формате в единую карту, изображение, слой; в операцию объединения входит (или предшествует ему) операция *сводки*. Операция, обратная С., носит название фрагментирования.

Т

Тело (body, solid object, solid body) — 3-мерный (объемный) *пространственный объект*, описываемый тройкой (триплетом) координат, включая аппликату Z, и ограниченный *поверхностями*. Растровые трехмерные представления Т. основаны на конструкциях, известных под наименованием «вокселов» (объемных *пикселов*), векторные — на трехмерных расширениях *модели TIN*.

Топологизация (topologization) — автоматическая или интерактивная процедура построения *топологии* (2) при преобразовании *векторных нетопологических моделей* (*данных*) в *векторные топологические модели* (*данные*); может входить в состав операций *векторизации*.

Топология (topology, analysis situs) — 1. Ветвь *геометрии*, изучающая те свойства фигур, которые опираются на понятие бесконечной близости. — 2. *В ГИС*: топологические свойства *пространственных объектов* (размерность, замкнутость, связность и т.п.) и топологические отношения между ними (совпадение, пересечение, касание, нахождение внутри или вне и т.п.), часть которых используется в *векторных топологических моделях* (*данных*), в отличие от *геометрии* (2), служащей для описания их чисто геометрических свойств (положения в пространстве).

Точечный объект — *см. точка*.

Точка, точечный объект (point, point feature) — 0-мерный *пространственный объект*, характеризуемый плановыми координатами и ассоциированными с ними *атрибутами*; совокупность точечных объектов образует точечный *слой*.

Трансформирование (transformation) — включает процедуры: преобразования проекций (projection change, projection transformation, projection conversion) — операция перехода от одной *картографической проекции* к другой, может осуществляться непосредственно или через географические *координаты*, геодезическую широту и долготу, используя уравнения исходной и производной проекций; трансформирование (преобразование) условных прямоугольных декартовых *координат* пространственных объектов в соответствии с выбранной в исследовании проекцией и системой координат, например, базовой карты (или для снимков, когда сетка исходного изображения должна быть изменена в соответствии с сеткой эталонного изображения); преобразование неопределенных проекций и трансформирование обычно выполняются путем эластичного преобразования (резинового листа, rubber sheet) на основе интерполяции (или *аппроксимации*) по сети контрольных точек с использованием полиномиальных функций.

Триангуляция Делоне (Delaunay triangulation) — 1. Треугольная полигональная сеть, образуемая на множестве точечных объектов путем их соединения непересекающимися отрезками таким образом, что окружность, описанная вокруг любого треугольника сети, не содержит других точечных объектов, кроме вершин описанного треугольника. Эта триангуляция используется, в частности, в *модели TIN* при создании *цифровой модели рельефа*. — 2. В *вычислительной геометрии* и *компьютерной графике*: граф, двойственный диаграмме Вороного (*полигону Тиссена*). Названа по имени известного советского математика Б.Н.Делоне (1890—1980).

У

Угол наклона, крутизна ската, крутизна склона (slope, gradient, slope gradient, slope angle, angle of inclination) — одна из морфометрических характеристик рельефа (пространственной ориентации элементарного склона), вычисляемая в процессе обработки *цифровой модели рельефа* вместе

с его *экспозицией* (*склона*); угол, образуемый направлением ската с горизонтальной плоскостью.

Узел (node, junction) — начальная или конечная точка *дуги* в *векторной топологической* (линейно-узловой) *модели* (данных) в представлении пространственных объектов типа *линии* или *полигона*; списки или таблицы У. содержат *атрибуты*, устанавливающие топологическую связь со всеми замыкающимися в нем *дугами*; узлы, образованные пересечением двух и только двух дуг или замыканием на себя одной дуги, носят название псевдоузлов; узлы, образованные пересечением трех и более дуг, называются нормальными, а узлы, принадлежащие только одной дуге, — висячими.

Ф

Формат (format) — 1. Способ расположения или представления данных в памяти, *базе данных*, документе или на внешнем носителе. — 2. *В ГИС, машинной графике и обработке изображений*: общее наименование способа машинной реализации *модели* (*пространственных*) *данных* (векторный Ф., растровый Ф. и т.п.) или Ф. данных конкретной системы, программного средства, средства стандартизации, обмена данными. Преобразование данных из одно Ф. в другой носит название *конвертирования* (*форматов*).

Функциональные возможности ГИС (GIS functionality, GIS functions) — набор функций *географических информационных систем* и соответствующих им *программных средств* ГИС. Ф. в. ГИС включают операции *геоинформационных технологий* и группы операций, отдельные функции и функциональные группы; в их числе: ввод данных в машинную среду путем их импорта из существующих наборов цифровых данных или с помощью *цифрования* источников; преобразование, или трансформация данных, включая *конвертирование* данных из одного *формата* в другой, *трансформацию* картографических *проекций*, изменение систем координат; хранение, манипулирование и управление данными во внутренних и внешних *базах данных*; картометрические операции, включая вычисление расстояний между объектами в проекции карты или на эллипсоиде, длин кривых линий, периметров и площадей полигональных объектов; операции обработки данных геодезических измерений; операции *оверлея*; операции «*алгебры карт*» для логико-арифметической обработки растрового слоя как единого целого; *пространственный анализ* — группа функций, обеспечивающих анализ размещения, связей и иных пространственных отношений объектов, включая *анализ* зон *видимости/невидимости*, анализ соседства (*см. анализ близости*), *анализ сетей*, создание и обработку *цифровых моделей рельефа*, анализ объектов в пределах *буферных зон* и др.; *геомоделирование* (пространственное моделирование), *визуализация* исходных, производных или итоговых данных и результатов обработки, включая картографическую визуализацию, проектирование и создание (генерацию) картографических изображений; вывод данных, графической, табличной и текстовой документации, в том числе ее тиражирование, документирование, или генерацию отчетов в целом; обслуживание процесса принятия решений.

Центроид (centroid, seed) — 1. Точка, являющаяся центром тяжести (геометрическим центром) фигуры. — 2. Внутренняя точка *полигона* со значениями координат, полученными, например, осреднением координат всех точек, образующих полигон; служит для его идентификации (*см. метка*).

Цифрование, оцифровка, дигитализация [«отцифровка», «сколка», «скалывание» — жаргон] (digitizing, digitising, digitalization) — 1. Процесс аналого-цифрового преобразования данных, т.е. перевод аналоговых данных в цифровую форму, доступную для существования в цифровой машинной среде с помощью цифрователей (*дигитайзеров*) различного типа. — 2. *В геоинформатике, компьютерной графике и картографии*: преобразование аналоговых графических и картографических документов (оригиналов) в форму цифровых записей, соответствующих *векторным моделям (данных)*. Процесс Ц. обслуживается программными средствами, называемыми графическими векторными редакторами.

Цифрователь — *см. дигитайзер.*

Цифровая карта (digital map) — цифровая модель карты, созданная путем цифрования картографических источников, фотограмметрической обработки данных дистанционного зондирования, цифровой регистрации данных полевых съемок или иным способом; в отличие от цифровых *пространственных данных* в ГИС и *цифровых моделей местности* Ц. к. содержит не *атрибуты* моделируемых ими объектов реальности, а свойства картографических знаков, выражающих эти атрибуты графически. Основное назначение Ц. к. — *автоматизированное картографирование* (изготовление бумажных карт). Может служить основой для генерации *компьютерных карт, электронных карт*; входит в число *источников пространственных данных* в ГИС и используется в них в качестве *цифровых карт-основ*. Крупномасштабные Ц. к. называются цифровыми планами.

Цифровая карта-основа (digital basemap) — *цифровая карта*, по своему содержанию близкая или идентичная *карте-основе* и используемая для позиционирования тематических *слоев* пространственных данных в ГИС; набор базовых слоев ГИС, аналогичных по содержанию Ц. к. о.

Цифровая модель (digital model) — цифровое описание подмножества объектов реального мира в выбранных для этого описания структурах данных. Так, цифровая модель рельефа может быть представлена матрицей высот; полилиниями, представляющими горизонтали; набором полилинейных и точечных объектов, представляющих структурные элементы рельефа.

Цифровая модель местности, ЦММ, математическая модель местности, МММ (digital terrain model, *DTM*) — цифровое представление *пространственных объектов*, соответствующих объектовому составу топографических карт и планов.

Цифровая модель рельефа, ЦМР (digital terrain model, *DTM*; digital elevation model, *DEM*; Digital Terrain Elevation Data, *DTED*) — средство цифрового представления *поверхностей* (рельефов) в виде совокупности отметок высот или глубин и иных значений аппликат (координаты *Z*) в узлах *регулярной сети* с образованием матрицы высот нерегулярной треугольной сети в *модели TIN* или совокупности записей *горизонталей* (изо-

гипс, изобат) или иных *изолиний*. Стандартные функции обработки ЦМР в составе программных средств ГИС включают: расчет «элементарных» морфометрических показателей: *углов наклона* (уклонов) и *экспозиций* склонов; оценку формы склонов через кривизну их поперечного и продольного сечений; генерацию сети тальвегов и водоразделов и др. особых точек и линий рельефа; подсчет положительных и отрицательных объемов относительно заданного горизонтального уровня в пределах границ участка; построение профилей поперечного сечения рельефа по направлению прямой или ломаной линии; аналитическую отмывку рельефа; трехмерную *визуализацию* рельефа в форме *блок-диаграмм* и других объемных изображений; оценку зон видимости или невидимости с заданной точки (точек) обзора (*см. анализ видимости/невидимости*); построение *изолиний* по множеству отметок высот (например, генерация горизонталей); *интерполяцию* значений высот, *ортотрансформирование* аэро- и космических снимков.

Цифровая фотограмметрия (Digital Photogrammetry, Softcopy Photogrammetry) — определение форм, размеров и положения объектов по их цифровым наземным, аэро- или космическим изображениям. Особенностью Ц. ф. (от фото.., греч. grámma — запись, изображение и ...метрия) является то, что она оперирует с цифровыми изображениями, а не с фотографиями. Понятие Ц. ф. включает методы и способы измерений различных объектов и объемных форм рельефа по *цифровой модели местности*, а также приемы *ортотрансформирования* цифровых изображений. Ц. ф. — это наука и технология получения достоверной информации о физических объектах и окружающей среде путем процесса записи, измерения и интерпретации цифровых изображений, изображений моделей электромагнитного излучения и других явлений. Применяется в геодезии, картографии, геологии, военном деле, космических исследованиях и др.

ЦММ — *см. цифровая модель местности.*

ЦМР — *см. цифровая модель рельефа.*

Ш

Шаровой манипулятор (trackball) — шар с отслеживаемым перемещением — специальное устройство в виде шара и 2 или 3 кнопок, служащих для замены мыши. Вращение шара пальцем эквивалентно перемещению мыши.

Э

ЭА — *см. электронный атлас.*

ЭК — *см. электронная карта.*

Экспертная система, ЭС (expert system) — система *искусственного интеллекта*, включающая *базу знаний* с набором правил и механизм (машину) вывода, позволяющих на основании правил и предоставляемых пользователем фактов распознать ситуацию, поставить диагноз, сформулировать решение или дать рекомендацию.

Экспозиция (склона) (aspect, compass aspect, exposure, direction of steepest slope) — одна из морфометрических характеристик рельефа (пространственной ориентации элементарного склона) вместе с *углом накло-*

на, вычисляемая путем обработки *цифровой модели рельефа*, численно равная азимуту проекции нормали склона на горизонтальную плоскость.

Электронная карта, ЭК (electronic map) — 1. Картографическое изображение, визуализированное на *видеоэкране* на основе данных *цифровых карт* или *баз данных* ГИС в отличие от *компьютерных карт*, визуализируемых невидеоэкранными средствами графического вывода. — 2. Картографическое произведение в электронной (безбумажной) форме, представляющее собой цифровые данные (в т.ч. *цифровые карты* или *слои* данных ГИС), как правило, в записях на диске CD-ROM, вместе с программными средствами их *визуализации*, обычно картографическим *визуализатором* или картографическим *браузером*, предназначенное для генерации Э. к. (1).

Электронный атлас, ЭА (electronic atlas) — система *визуализации* в форме *электронных карт* (1), электронное картографическое произведение, функционально подобное *электронной карте* (2). Поддерживаются программным обеспечением типа картографических *браузеров*, обеспечивающих покадровый просмотр растровых изображений карт, картографических *визуализаторов*, систем настольного картографирования. Помимо картографического изображения Э.а. обычно включают обширные текстовые комментарии, табличные данные, а в мультимедийных Э. а. — анимацию, видеоряды и звуковое сопровождение. Как правило, создаются для справочно-информационных и общеобразовательных целей средствами автоматизированных картографических систем или ГИС. Большинство Э. а. распространяется в записях на компакт-дисках типа CD-ROM.

ЭС — *см. экспертная система.*

Я

Яркостные преобразования (яркостная коррекция, brightness correction, spectral and spatial enhancement) — методы улучшения изображения на снимке, предусматривающие: квантование диапазона спектральных яркостей снимка (аналог шкалирования); цветной синтез и цветокодирование, выделение контуров заданной контрастности, фильтрацию значений яркости (сглаживание) и др. приемы. Выделяют: повышение контраста — линейное, нелинейное и кусочно-линейное преобразование гистограммы изменения яркости (растяжение, Stretch); эквализация гистограммы (histogram equalization) — перераспределение значений всех пикселов в пределах радиометрического диапазона; подгонка гистограмм — согласование значений пикселов изображений в двух зонах по их гистограммам; инверсия изображения — получение изображений с обратным контрастом относительно исходного; фильтрация (spatial filtering) (сглаживание изображения) на основе анализа информации в пределах скользящего по изображению окна, размером 3×3 пиксела, 5×5 и т. п.

Ячейка, регулярная ячейка (cell, grid cell, tile) — 2-мерный *пространственный объект*, элемент разбиения земной поверхности линиями *регулярной сети* в *регулярно-ячеистой модели* (*данных*), в отличие от *пиксела* как элемента *растровой модели* (*данных*), образуемого разбиением линиями *растра* изображения или координатной плоскости (а не земной поверхности); это различие не общепризнанно.

A

AM/FM — Automated Mapping/Facilities Management — система, поддерживающая функции автоматизированной картографии и ГИС в приложении к управлению сетями инженерных коммуникаций (газовыми, водопроводными, электро- и телекоммуникациями и др.).

C

CAM — Computer Aided Mapping — автоматизированное картографирование, автоматизированная картография.

CEN — Committee Europeen de Normalization (European Standardization Organization) — Европейская организация (комитет) по стандартизации — общеевропейский орган, осуществляющий разработку и утверждение стандартов; по функциям аналогичен *ISO*.

CORBA — Common Object Request Broker(age) Architecture — общедоступная архитектура с посредником при запросе объектов — стандарт, созданный по соглашению 200 компаний-производителей оборудования и программных средств, для манипулирования объектами в сетевой среде.

CSDGM — Content Standards for Digital Geospatial Metadata — стандарт США на пространственные метаданные, подготовленный Федеральным комитетом по географическим данным *FGDC* при участии других организаций. Проект стандарта известен под наименованием CSSM. Утвержден 8 июня 1994 г. Разработана его вторая версия (FGDC-STD-001—1998). Содержание стандарта касается метасопровождения процессов сбора, хранения и передачи цифровых и аналоговых данных в различных форматах и формах, специфицируя их качество, происхождение, статус, авторство и другие характеристики метаданных. Взят за основу производного стандарта (профиля) на биологические данные (FGDC-STD-001.1—1999).

D

DCW — Digital Chart of the World, DCW/VPF — цифровая карта-основа мира масштаба 1 : 1 000 000 — создана путем цифрования издательских оригиналов карты *ONC* (для суши) и морской обзорной карты *GEBCO* (для акваторий) с привлечением иных источников корпорацией ESRI, Inc. (США) по контракту с Министерством обороны США в формате *VPF*. Является набором слоев ГИС, идентичным по объектовому составу картам-источникам. Распространяется в записях на CD-ROM в сопровождении картографического визуализатора. Образует основу производных цифровых продуктов, включая версию DCW производства ESRI, Inc. в формате ГИС ARC/INFO на CD-ROM, замещающую ее версию VMap Level 0 и др.

DEM — Digital Elevation Model(s) — 1. *Цифровая модель рельефа*, ЦМР, *DTM*, *DTED*. — 2. Стандарт Геологической съемки США на цифровые модели рельефа. Применяется для их представления в растровом формате в

виде матрицы высотных отметок в узлах регулярной сети, распространения и последующего использования в качестве основы для пространственного анализа во многих растровых ГИС. В стандарте DEM распространяются 5 типов цифровых продуктов Картографического управления Министерства обороны США DMA, идентичных по логической структуре данных, но различающихся по угловому размеру ячеек сети (30 × 30 м в 7,5-minute DEM, 2 × 2 угловых секунды в 30-minute DEM, 3 × 3 секунды в 1-degree DEM, 1 × 2 секунды в 7,5-minute DEM для Аляски, 2 × 3 секунды в 15-minute DEM для Аляски), системе координат, охвату территории и точности. Продукты DEM доступны на территорию всей материковой части США, Гавайские острова, Пуэрто-Рико, Виргинские острова и часть территории Аляски.

DLG — Digital Line Graph — стандарт Геологической съемки США, разработанный Национальным картографическим управлением в 1980 г. Предназначен для распространения цифровых карт, составляющих Национальную цифровую картографическую базу данных, включающую информацию по границам, транспортной инфраструктуре, гидрографической сети. Стандарт поддерживает векторную топологическую модель данных, может передавать сетевые и полигональные структуры. Атрибутивная информация передается с помощью каталога объектов и деления набора данных на категории, аналогичные слоям ГИС. Существуют 3 подтипа файла, различающихся по внутренней структуре и каталогу объектов и соответствующих топографическим картам масштабов 1 : 24 000, 1 : 100 000 и 1 : 2 000 000. Последние входят в Национальный атлас США.

DSM — Digital Surface Model — цифровая модель поверхности — цифровая модель внешней оболочки земной поверхности (крон деревьев, зданий, сооружений и других «рельефоидов»), полученная путем цифровой стереофотограмметрической обработки аэро- или космических снимков и требующая трансформации в *цифровую модель рельефа*. Промежуточный этап создания или эрзац ЦМР.

DTED — Digital Terrain Elevation Data — формат файла для передачи *цифровой модели рельефа*, разработанный Картографическим управлением Министерства обороны США DMA для распространения его продуктов. Поддерживает растровую модель данных с глубиной пиксела при передаче растра 16 бит. Дополнительно позволяет передавать характеристику точности данных.

DTM — Digital Terrain Mode — 1. Цифровая модель рельефа, ЦМР, *DEM* (1), *DTED*. — 2. Цифровая модель местности, ЦММ.

DX90 — (Specifications for the Exchange of Digital Hydrographic Data — 1990) — прежнее название стандарта *S57*.

DVD — (Digital Versatile Disk) — цифровой универсальный диск — один из стандартов хранения информации на оптическом (лазерном) диске. Отличается от обычного CD-ROM увеличенной почти в 30 раз вместимостью до 17 Гб. Возможны следующие варианты изготовления DVD-дисков:

1. Односторонний однослойный вместимостью 4,7 Гб.
2. Односторонний двухслойный вместимостью 8,5 Гб.
3. Двусторонний однослойный вместимостью 9,4 Гб.
4. Двусторонний двухслойный вместимостью 17 Гб.

E

ECDB — Electronic Chart Data Base — база данных электронных морских навигационных карт, формируемая Международной гидрографической организацией *IHO*.

EUROGI — European GIS Umbrella Organisation — Европейская организация поддержки геоинформатики — международная организация, созданная в 1993 г. и включающая европейские национальные геоинформационные ассоциации и организации-наблюдатели. Содействует развитию Европейской *ИПД* EGII.

F

FGDC — Federal Geographic Data Committee — Федеральный комитет по географическим данным США — межведомственная организация, представляющая федеральные службы, связанные со сбором и обработкой пространственных данных, и крупных производителей программных средств ГИС; играет ведущую роль в инициативах по стандартизации обмена пространственными данными (*SDTS*) и метасопровождения данных (*CSDGM*), в иных национальных информационных инициативах, включая национальную *ИПД* США *NSDI*.

G

GEBCO — General Bathimetric Chart of the Oceans — Генеральная (обзорная) международная карта океанов.

GeoTIFF — Tagged Image File Format, DRG — расширение формата файла TIFF, предназначенное для передачи изображений, имеющих пространственную привязку. Разрабатывается лабораторией по разработке ракетных и реактивных двигателей (Jet Propulsion Laboratory) НАСА (США). Версия 1.0, датированная 1995 г., основывается на спецификации TIFF версии 6.0.

GIS — Geographical Information System — *географическая информационная система*, ГИС.

GPS — Global Positioning System — Глобальная система позиционирования, *см. спутниковые системы позиционирования*.

GRS-80 — Geodetic Reference System, 1980 — геодезическая референцная система 1980 г. Основа многих геодезических систем мира.

H

HTML-файл (HTML-file) — файл описания *Веб-страницы*. Для его создания используется специализированный язык программирования, называемый **языком гипертекстовой разметки (Hypertext Markup Language** или, сокращенно, **HTML**).

I

IEC — International Electro-technical Commission — Международная электротехническая комиссия, МЭК — международная организация по

стандартизации, в том числе в области электроники, вычислительной техники и информатики, выполняющая функции разработки и утверждения международных стандартов, аналогичные *ISO*.

IERS — International Earth Rotation Service — Международная служба вращения Земли.

IHO — International Hydrographic Organisation — Международная гидрографическая организация. Межправительственная консультативная организация, занимающаяся созданием, обновлением и унификацией морских навигационных карт и др. навигационной документации.

ISO — International Standards Organization — Международная организация по стандартизации, ИСО, МОС. Международная неправительственная организация, осуществляющая разработку международных стандартов и международное сотрудничество в области стандартизации. Учреждена в 1946 г., штаб-квартира в Лондоне.

ISO 8211 Information processing — Specification for data descriptive file for information interchange. Международный стандарт ISO 8211. Принят в 1985 г. Используется в нескольких стандартах и форматах передачи пространственных данных (*SDTS*, NTF, *S57*, ADRG, ASDTS, DIGEST и др.) в качестве стандарта физической структуры файла.

ITRF — IERS Terrestrial Reference Frame — земная референцная система *IERS*.

M

MPR-II — Стандарт безопасности мониторов, разработанный Национальной лабораторией измерения и тестирования Швеции в 1987 г. Стал активно поддерживаться производителями мониторов с 1990 г. Этим стандартом устанавливается максимальный уровень излучения на расстоянии 50 см от монитора 2.5 V/m.

N

NAD-27 — North American Datum — 1927. Старая система исходных геодезических дат на эллипсоиде Кларка 1866 г. с исходным пунктом Meales Ranch, Kansas.

NAD-83 — North American Datum — 1983. Геодезическая система параметров Земли. Близка к *WGS-84*, использует эллипсоид *GRS-80*.

NGVD-29 — National Geodetic Vertical Datum, 1929.

O

OGC — Open GIS Consortium, Inc. — консорциум «открытых ГИС» — ведущий разработчик стандартов на пространственные данные (к примеру, стандарт *OGIS*, спецификации для *CORBA*, OLE/COM, *SQL*) в рамках подхода, известного под наименованием «открытых систем» (применительно к геоинформационным технологиям — Open GIS®). Объединяет более 120 организаций-разработчиков программного обеспечения и поставщиков данных.

OGIS — Open Geodata Interoperability Specification. Стандарт консорциума Open GIS Consortium, Inc. (*OGC*), разрабатываемый и предназначен-

ный для обеспечения прозрачного взаимодействия приложений, обрабатывающих пространственную информацию. В рамках стандарта определяются абстрактные полиморфные типы пространственных данных (точки, кривые, поверхности, тела), за которыми может стоять их любое представление. Для представления атрибутивных данных предлагается расширяемый каталог пространственных объектов, над которым может быть построена произвольная структура доступа; специально определяются процедуры взаимодействия каталогов. Стандарт предполагает обязательную передачу наборов метаданных, любая дополнительная информация определяется пользователем.

ONC — Operational Navigation Chart. Оперативная (полетная) навигационная карта масштаба 1 : 1 000 000 (Картографическое управление Министерства обороны США DMA); основной источник данных для карты *DCW*.

R

RAID — Redundant Array of Inexpensive Discs — избыточный массив дисков: распределенная избыточная запись данных одновременно на несколько физических накопителей, позволяющая при считывании исправлять ошибки; начиная с 3 накопителей возможна замена любого диска без потери данных (так называемая «горячая замена»).

S

S57 — (IHO Transfer Standard for digital hydrographic data (Special publication No. 57)) — новое название стандарта *DX90*. Стандарт Международной гидрографической организации (*IHO*), описывающий формат файла для передачи цифровых морских навигационных карт. Соответствующий ему формат поддерживает векторную топологическую модель пространственных данных, включая информацию о номенклатуре листа карты. Для передачи атрибутивных данных используется иерархический классификатор, который может передаваться вместе с данными в файле.

SDTS — Spatial Data Transfer Standard — стандарт передачи пространственных данных. Федеральный стандарт США FIPS 173 (FGDC-STD-002). Утвержден 29 июня 1992 г. Среди универсальных стандартов обмена пространственными данными SDTS лидирует по широте поддержки в программных продуктах. Стандарт основан на спецификации абстрактной модели данных, которая определяет понятия объектов реального мира, пространственных объектов и соотношения между ними. Допускается существование составных объектов. Связи между пространственными объектами и атрибутами и объектами, формирующими составные объекты, задаются через внутренние идентификаторы. Отдельная часть спецификации SDTS определяет стандартный пополняемый каталог объектов реального мира, их атрибутов и допустимых значений атрибутов. Предусматривается четыре уровня соответствия данных пользователя стандартному каталогу: от полного соответствия до использования исключительно объектов, определяемых самим пользователем. Обменный файл в стандарте состоит из модулей, которые могут быть сгруппированы в 34 типа, а те, в

свою очередь, отнесены к 5 категориям: общая информация, качество данных, пространственные объекты, атрибуты и графическое представление. Физическая структура файла должна быть реализована в соответствии со стандартом *ISO 8211*. Связи между таблицами атрибутов задаются по принципу, используемому в реляционных базах данных. SDTS согласован с американским стандартом на метаданные *CSDGM*. Большая часть информации, описывающей набор данных в целом, передается в модулях атрибутивных таблиц. Включает детальную информацию о качестве данных: их происхождении, координатной точности, точности значений атрибутов, логической непротиворечивости и полноте. Для использования SDTS в конкретных предметных областях, продуктах или для передачи определенных типов пространственных данных должны разрабатываться профили (разделы), дополняющие компоненты базового стандарта. Помимо базового (векторного) профиля утверждены или разрабатываются разделы для точечных данных (FGDC-STD-002.6), растровых данных (FGDC-STD-002.5), данных САПР и др.

SGML — Standart Generalized Mark-up Langauge — стандартный обобщенный язык маркировки (текстов).

SQL — Structured Query Language — язык структурированных запросов. Язык доступа к *базам данных*, одно из наиболее распространенных средств разработки реляционных БД и обслуживания систем типа «клиент-сервер». Создан корпорацией IBM. В США принят в качестве национального стандарта.

SQL/MM — Structured Query Language, MultiMedia Extention. Проект международного стандарта, представляющего собой расширение языка *SQL*. Разрабатывается *ISO* с 1993 г. Стандарт поддерживает различные модели пространственных данных, используемые в большинстве широко распространенных ГИС-продуктов. Работа с атрибутивными данными осуществляется с помощью реляционных таблиц. Предполагается передача дополнительной информации, включая данные о проекции, системе координат, времени; метаданные.

T

TCO 92, 95, 99 — стандарты, утвержденные Федерацией профсоюзов Швеции (The Swedish Confederation of Professional Employees). По сравнению с MPR-II устанавливают более жесткие нормы на излучение от мониторов. Максимально допустимый уровень излучения установлен в 1 V/m на расстоянии в 30 см. Это в несколько раз более жесткие требования, чем в MPR-II. Стандарт TCO-95 предъявляет такие же требования по излучению, но обязывает также изготавливать монитор из материалов, подлежащих вторичной переработке и не наносящих вред окружающей среде. Еще более жесткие требования по излучению введены в новом стандарте TCO'99, в котором по сравнению с TCO 95 ужесточены следующие требования:

- минимально допустимая частота кадров не менее 85 Гц;
- уменьшен вдвое уровень потребления электроэнергии в режиме Standby;
- время восстановления из Standby в рабочий режим не более 3 с;

• стандарт впервые предъявляет жесткие требования к качеству самого изображения — должна быть минимальной расфокусировка изображения по углам экрана по отношению к центру, оговаривается уровень отражения света от экрана (блики) и т. п.

TIN — Triangulated Irregular Network — нерегулярная треугольная сеть — основа *модели TIN.*

U

UTM — Universal Transverse Mercator projection — универсальная поперечная проекция Г. Меркатора. Используется для *топографических карт*, космических снимков и введения плоских прямоугольных *координат*, которые именуют северным и восточным положениями. Применяют шестиградусные зоны. Зоны нумеруют с запада на восток числами от 1 до 60, начиная с меридиана 180° з.д. Восточное положение центрального меридиана 500 000 м. Северное положение экватора зависит от полушария — в северном равно 0 м, в южном равно 10 000 000 м. Номер зоны указывается перед восточным положением. Координаты по сравнению с координатами Гаусса — Крюгера, если они отнесены к одному и тому же эллипсоиду, преуменьшены в 0,9996 раза. Данная система используется в диапазоне 80° ю.ш. — 84° с.ш. Каждая зона делится на полосы по 8°. Начиная с 80° ю.ш. они обозначаются буквами от C до X, причем буквы O и I пропущены.

V

VPF — Vector Product Format, VRF. Военный стандарт США, описывающий формат файлового обмена векторной пространственной информацией. Разработан Картографическим управлением Министерства обороны США DMA. В настоящее время используется версия 1992 г. Формат поддерживает векторную нетопологическую и векторную топологическую модели пространственных данных и позволяет передавать атрибуты через реляционные таблицы. Дополнительно передаются сведения о качестве данных. Используется для хранения цифровой карты мира *DCW.*

W

WGS-84 — World Geodetic System 1984 — Всемирная геодезическая система 1984 г. Для *GPS*, до 1988 г. ей предшествовала WGS-72.

WWW (World Wide Web) — дословно Всемирная Паутина. Совокупность территориально распределенных взаимосвязанных информационных ресурсов и сервисов, поддерживаемых *серверами Интернета*, подавляющее большинство из которых представляют собой *Веб-сервера.*

Рекомендуемая литература для самостоятельной работы

Учебники и учебные пособия

Капралов Е. Г., Коновалова Н. В. Введение в ГИС: Учеб. пособие. — Изд. 2-е, исправ. и доп. — М.: Изд-во «ГИС-Ассоциация», 1997. — 155 с.

Капралов Е. Г., Кошкарев А. В., Тикунов В. С. и др. Основы геоинформатики: Учеб. пособие / Под ред. В. С.Тикунова. — М.: Издат. центр «Академия», 2004. — Кн. 1 — 352 с.; Кн. 2 — 480 с.

Книжников Ю. Ф. Аэрокосмическое зондирование: Учеб. пособие. — М.: Изд-во МГУ, 1997. — 119 с.

Кошкарев А. В. Понятия и термины геоинформатики и ее окружения: Учеб.-справ. пособие. РАН, Ин-т географии. — М.: Изд-во «ИГЕМ РАН», 2000. — 76 с.

Лурье И. К. Геоинформатика. Учебные геоинформационные системы: Учеб.-метод. пособие. — М.: Изд-во МГУ, 1997. — 115 с.

Лурье И. К. Основы геоинформатики и создание ГИС. / Дистанционное зондирование и географические информационные системы / Под ред. А. М. Берлянта. — Ч. 1. — М.: ООО «ИНЭКС-92», 2002. — 140 с.

Серапинас Б. Б. Основы спутникового позиционирования. — М.: Изд-во МГУ, 1998. — 84 с.

Серапинас Б. Б. Глобальные системы позиционирования: Учеб. издание. — М.: ИКФ «Каталог», 2002. — 106 с.

Тикунов В. С. Моделирование в картографии. — М.: Изд-во МГУ, 1997. — 405 с.

Филатов Н. Н. Географические информационные системы. Применение ГИС при изучении окружающей среды: Учеб. пособие. — Петрозаводск: Изд-во КГПУ, 1997. — 104 с.

Монографии и сборники

Берлянт А. М. Геоиконика. — М.: Фирма «Астрея», 1996. — 207 с.

Бугаевский Л. М. Математическая картография. — М.: Златоуст, 1998. — 400 с.

Гарбук С. В., Гершензон В. Е. Космические методы дистанционного зондирования Земли. — М.: Изд-во «А и Б», 1997. — 296 с.

Геоинформационные технологии: принципы, международный опыт, перспективы развития / И. В. Гармиз, А. В. Кошкарев, Н. В. Межеловский, Н. С. Рамм. — М.: Изд-во ВИЭМС, 1989. — 55 с.

ГИС для устойчивого развития территорий. Материалы международных конференций ИнтерКарто: ИнтерКарто 1 — 10, 1994 — 2004.

Картография. Геоинформационные системы / Сост., ред. и предисл. А. М. Берлянт и В. С.Тикунов. Сб. пер. ст. Вып. 4. — М.: Картгеоцентр — Геодезиздат, 1994. — 350 с.

Картография и геоинформатика. (Итоги науки и техники. Картография. — Т. 14) — М.: Изд-во ВИНИТИ, 1991. — 178 с.

Королев Ю. К. Общая геоинформатика. — Ч. 1. Теоретическая геоинформатика. Вып. 1. — М.: ДАТА +, 1998. — 118 с.

Кошкарев А. В., Каракин В. П. Региональные геоинформационные системы. — М.: Наука, 1987. — 126 с.

Кошкарев А. В., Тикунов В. С. Геоинформатика / Под ред. Д. В. Лисицкого. — М.: Картгеоцентр — Геодезиздат, 1993. — 213 с.

Линник В. Г. Построение геоинформационных систем в физической географии. — М.: Изд-во МГУ, 1990. — 90 с.

Митчелл Э. Руководство по ГИС-анализу. — Ч. 1: Пространственные модели и взаимосвязи; Пер. с англ. — Киев: ЗАО ЕСОММ Со; Стилос, 2000. — 198 с.

Муниципальные ГИС: обеспечение решения экологических проблем / В. С. Поливанов, М. М. Поляков, Т. А. Воробьева и др. — Вологодский научно-координационный центр ЦЭМИ РАН, 2001. — 162 с.

Произведения автоматизированной картографии. Каталог карт и атласов, составленных при помощи ЭВМ / Сост.: Л. Н. Зинчук, А. В. Кошкарев. Научн. ред. А. В. Кошкарев. — М.: Гос. б-ка СССР им. В. И. Ленина, 1990. — 108 с.

Сербенюк С. Н. Картография и геоинформатика — их взаимодействие. — М.: Изд-во МГУ, 1990. — 157 с.

Трофимов А. М., Панасюк М. В. Геоинформационные системы и проблемы управления окружающей средой. — Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1984. — 142 с.

Халугин Е. И., Жалковский Е. А., Жданов Н. Д. Цифровые карты / Под ред. Е. И. Халугина. — М.: Недра, 1992. — 419 с.

Справочники и словари

Андрианов В. Ю. Англо-русский толковый словарь по геоинформатике. — М.: ДАТА+, 2001. — 122 с.

Воройский Ф. С. Систематизированный толковый словарь по информатике (Вводный курс по информатике и вычислительной технике в терминах). — М.: Либерея, 1998. — 376 с.

Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов / Под ред. А. М. Берлянта и А. В. Кошкарева. — М.: ГИС-Ассоциация, 1999. — 204 с.

Нормативно-правовая база, программно-аппаратное обеспечение, пространственные данные и услуги на рынке геоинформатики России. Ежегодный обзор. Вып. 5. (1999) (приложение к «Информационному бюллетеню» ГИС-Ассоциации). — М.: ГИС-Ассоциация, 2000. — 156 с.

Цифровая картография и геоинформатика. Краткий терминологический словарь / Под ред. Е. В. Жалковского. — М.: Картгеоцентр — Геодезиздат, 1999. — 46 с.

McDonell R., Кетр К. International GIS Dictionary. — Geoinformation International, 1995. — 111 p.

Цитируемая литература

Айвазян С.А. и др. Прикладная статистика: Исследование зависимостей. — М.: Финансы и статистика, 1985. — 607 с.

Анучин В.А. Географический фактор в развитии общества. — М.: Мысль, 1982. — 334 с.

Арнольд В.И. Теория катастроф. — М.: Наука, 1990.

Бердников К.В., Тикунов В.С. Данные, информация, знания в картографии и геоинформатике // Изв. Русского геогр. общ-ва. — 1992. — Т. 124. — Вып. 4. — С. 369—374.

Берлянт А.М. Виртуальные геоизображения. — М.: Научный мир, 2001. — 56 с.

Берлянт А.М., Ушакова Л.А. Картографические анимации. — М.: Научный мир, 2000. — 99 с.

Блануца В.И. Интегральное экологическое районирование: концепция и методы. — Новосибирск: ВО «Наука», 1993. — 159 с.

Блюменау Д.И. Информация и информационный сервис. — Л.: Наука, 1989. — 192 с.

Бородулина Н.А., Тикунов В.С. Социально-экономическая классификация регионов России — основа формирования объективных критериев оценки бюджетных потребностей регионов (на примере здравоохранения) // Изв. АН. Сер. геогр., 1998. — № 1. — С. 18—35.

Бриллюен Л. Наука и теория информации. — М.: Изд-во физ.-мат. литры, 1960. — 392 с.

Бугаевский Л.М., Малинников В.А., Савиных В.П. Преобразование сканерного снимка в заданную картографическую проекцию // Тр. Международного Форума по проблемам науки, техники и образования / Под ред. В.П. Савиных, В.В. Вишневского. — М.: Академия наук о Земле, 1998. — С. 51—57.

Бугаевский Л.М., Цветков В.Я. Геоинформационные системы. М.: Златоуст, 2000. — 222 с.

Василевский Л.И. Анаморфированные карты переменного масштаба и их применение в экономической картографии // В кн.: Новое в тематике, содержании и методах составления экономических карт. — М.: МФ ГО, 1970. — С. 27—37.

Василевский Л.И., Полян П.М. Картографирование параметров территориальных структур. — В кн.: Теория и методика экономико-географических исследований. — М.: МФ ГО, 1977. — С. 34—47.

Васильев Л.Н. Фрактальность и самоподобие природных пространственных структур // Изв. АН. Сер. геогр. — 1992. — № 5. — С. 25—35.

Введение в теорию экспертных систем и обработку знаний. — М.: Дизайн-Про, 1995. — 225 с.

Винер Н. Кибернентика.— М.: ИЛ, 1948.

Винер Н. Кибернетика и общество — М.: ИЛ, 1958.

Виноградов Б.В. Космические методы изучения природной среды. — М.: Мысль, 1976. — 287 с.

Гараевская Л.С., Малюсова Н.В. Практическое пособие по картографии. — М.: Недра, 1976.

Геология и математика. Методологические, теоретические и организационные вопросы геологии, связанные с применением математических методов и ЭВМ. — Новосибирск: Наука, 1967. — 254 с.

Герасимов А.П., Ефимов Г.Н. Система координат СК-95 // Инф. бюлл. ГИС-Ассоциации. — 1999. — № 3(20). — С. 63—64.

Германсен Т. Информационные системы для планирования: вопросы и проблемы // В кн.: Новые идеи в географии. — Вып. 2. Город. системы и информатика. — М.: Прогресс, 1976. — С. 184—222.

Гинзбург Г.А., Салманова Т.Д. Атлас для выбора картографических проекций // Тр. ЦНИИГАиК. — Вып. 110. — М., 1957. — 239 с.

Гинзбург Г.А., Салманова Т.Д. Пособие по математической картографии // Тр. ЦНИИГАиК. — Вып. 160. — 1964. — 456 с.

Гриффит Д.А., Тикунов В.С. Сравнительный анализ алгоритмов моделирования содержания типологических карт // Геодезия и картография. — 1990. — № 8. — С. 39—43.

Гусейн-Заде С.М., Тикунов В.С. Численные методы создания анаморфированных картографических изображений // Геодезия и картография, 1990. — № 1. — С. 38—44.

Гусейн-Заде С.М., Тикунов В.С. Создание анаморфированных изображений для географических исследований // Вестн. Моск. ун-та. — Сер. геогр. — 1992. — № 4. — С. 43—52.

Гусейн-Заде С.М., Суетова И.А., Тикунов В.С. Опыт корреляционного анализа явлений с использованием анаморфированных изображений // Геодезия и картография, 1993. — № 12. — С. 40—45.

Гусейн-Заде С.М., Тикунов В.С. Анаморфозы: что это такое? — М.: Эдиториал УРСС, 1999. — 168 с.

Дейт К. Введение в системы баз данных. — М.: Наука, 1988. — 464 с.

ДеМерс М.Н. Географические информационные системы. — М: ДАТА+, 1999. — 350 с.

Диев В.С. Философско-методологические аспекты. — Спб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 1998.

Дистанционное зондирование. Количественный подход / Под ред. Ф.Свейна и Ш.Дейвис. — М.: Недра, 1983. — 415 с.

Джексон П. Введение в экспертные системы. — СПб.: Вильямс, 2001. — 624 с.

Дьяконов К.Н., Касимов Н.С., Тикунов В.С. Современные методы географических исследований. — М.: Просвещение, 1996. — 207 с.

Евдокимова А.К., Солнцева О.И., Тикунов В.С. Изучение распределения тяжелых металлов для характеристики археологических объектов (на примере средневековых городищ Средней Азии) // География и природные ресурсы. — 1988. — № 1. — С. 97—104.

Жамбю М. Иерархический кластер-анализ и соответствия. — М.: Финансы и статистика, 1989. — 342 с.

Жуков В. Т., Сербенюк С.Н., Тикунов В. С. О математико-картографических моделях // В кн.: Теоретическая география. — Рига: Изд-во ЛГУ, 1973. — С. 90—94.

Жуков В. Т., Сербенюк С.Н., Тикунов В. С. Математико-картографическое моделирование в географии. — М.: Мысль, 1980. — 224 с.

Жуковская В. М., Мучник И. Б. Факторный анализ в социально-экономических исследованиях. — М.: Статистика, 1976. — 152 с.

Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее использование для принятия решений. — М.: Мир, 1976. — 166 с.

Зинченко А. Г., Ласточкин А. Н. Методика геоморфологического картографирования шельфа и континентального склона Российской Федерации (применительно к задачам Госгеолкарты-1000) / Под ред. Б. Г. Лопатина. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2001. — 38 с.

Индикаторы устойчивого развития России (социально-экономические аспекты) / Под ред. С.Н. Бобылева, Р.А. Макеенко. — М.: ЦПРП, 2001.

Инструкция по топографическим съемкам в масштабах 1 : 10 000 и 1 : 25 000. Полевые работы. Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. — М.: Недра, 1978.

Исаченко Г. А. Отечественное экологическое картографирование: первые итоги // Изв. РГО. — 1992. — Т. 124. — Вып. 5. — С. 418—427.

Искусственный интеллект / Под. ред. Э. В. Попова. В 3-х кн. Кн. 1: Системы общения и экспертные системы. — М.: Радио и связь, 1990. — 464 с.

Казаков А. И. О мере сформированности подмножеств в нейроподобных сетях. — Нейроподобные сети в робототехнике. — Киев: Изд-во Ин-та кибернетики, 1979. — С. 43—51.

Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. — М.: Мир, 1980. — 604 с.

Кинев Ю. Ю. Р-система: Введение в экономический шпионаж. — Кн. 1, 2. — М.: Изд-во «Хамтек Паблишер», 1997.

Козелецкий Ю. Психологическая теория решений. — М.: Прогресс, 1979.

Книжников Ю. Ф. Аэрокосмическое зондирование. Методология, принципы, проблемы. — М.: Изд-во МГУ, 1997. — 129 с.

Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И. Аэрокосмические исследования динамики географических явлений. — М.: Изд-во МГУ, 1991. — 206 с.

Книжников Ю. Ф., Лурье И. К. Модель учебного полигона географического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова — «Электронное Сатино» // В кн.: Электронная Земля, Электронная Россия, Электронная Москва: методология и технологии. — М.: ИПИ РАН, 2002. — С. 108—111.

Колосов В. А., Тикунов В. С., Заяц Д. В. Мир в зеркале средств массовой информации: использование анаморфоз в политико-географическом анализе // Вестн. Моск. ун-та. — Сер. геогр. — 2000. — № 2. — С. 3—7.

Комплексное экологическое картографирование (географический аспект). — М.: Изд-во МГУ, 1997. — 147 с.

Костюк Ю. Л. Представление рельефа земной поверхности в геоинформационных системах. — «Геоинформатика-2000» // Тр. Международной научно-практической конференции / Под ред. А. И. Рюмкина, Ю. Л. Костюка, А. В. Скворцова. — Томск: Изд-во Томск. ун-та, 2000. — С. 12—17.

Котляков В. М. Международная геосферно-биосферная программа и ее значение для проблемы взаимодействия общества и природы // В кн.:

Международная геосферно-биосферная программа «Глобальные изменения», I Всесоюз. совещ. (25—27 апреля 1987 г., г. Звенигород). — Вып. 1. — М., 1989. — С. 5—23.

Кошкарев А. В. К автоматизации построения карт ориентации, формы и относительной освещенности склонов // Изв. АН СССР. Дальневост. науч. центр, Тихоокеанский ин-т геогр. — Владивосток, 1980. — 30 с. (Деп. в ВИНИТИ 26.08.80, № 3891—80 Деп).

Кошкарев А. В. Инфраструктуры пространственных данных. — М.: ГИС-обозрение. — № 3, 4, 2000. — № 1, 2001.

Кошкарев А. В., Лицукова Г. М., Смирнова Л. А. Создание карт ориентации путем обработки цифровой модели рельефа // Исслед. вторичных биоценозов Среднего Сихотэ-Алиня. — Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1978. — С. 179—185.

Кошкарев А. В., Тикунов В. С., Трофимов А. М. Теоретические и методические аспекты развития географических информационных систем // География и природные ресурсы. — М., 1991. — № 1. — С. 11—16.

Коэ Л., Тикунов В. С., Торп Л. Алгоритмизация создания карт углов наклона // Вестн. Моск. ун-та. — Сер. геогр. — 1981. — № 2. — С. 52—61.

Кравченко Ю. А. О технологии получения растровых копий с использованием сканеров малого формата // Инф. бюлл. ГИС-Ассоциации. — 1999. — № 4(21). — С. 22—23 (начало); № 5(22). — С. 47—49 (окончание).

Кравцова В. И., Лурье И. К., Мудря Т. М. Космический мониторинг усыхания Арала // Геодезия и картография. — М., 2002. — № 10. — С. 46—52.

Краткий словарь по философии. — М.: Политиздат, 1979. — 416 с.

Кринов Е. Л. Спектральная отражательная способность природных образований. — М.-Л., 1947. — 272 с.

Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в волшебных странах. — М.: Логос, 2000. www.raai.botik.ru/Resource/Larichev.ru.shtml.

Ласло М. Вычислительная геометрия и компьютерная графика на C++: Пер. с англ. — М.: Изд-во БИНОМ, 1997. — 304 с.

Лурье И. К., Косиков А. Г. Теория и практика цифровой обработки изображений / Под ред. А. М. Берлянта // Дистанционное зондирование и географические информационные системы. — М.: Научный Мир, 2003.

Львов В. Системы Управления Базами Данных # 3/97. Создание систем поддержки принятия решений на основе хранилищ данных, Price Waterhouse. —М., 2001. — С. 30—40.

Мазур М. Качественная теория информации. — М.: Мир, 1974. — 240 с.

Макаренко Н. Л. и др. / Под ред. А. А. Дражнюка. Единая Государственная Система Геодезических Координат 1995 г. (СК-95). — М.: ЦНИИГАиК, 2000. — 28 с.

Малиновский Д. В., Тикунов В. С., Трейвиш А. И. Картографическая оценка изменений взаимной транспортной удаленности российских регионов за 1985—2001 гг. (на примере железнодорожных тарифных расстояний) // Материалы международной конференции «ГИС для устойчивого развития территорий». ИнтерКарто 8. Хельсинки. — СПб., 2002. — С. 180—186.

Мартыненко А. И., Бугаевский Ю. Л., Шибалов С. Н. Основы ГИС: теория и практика. — М: Астра семь, 1995. — 100 с.

Математический энциклопедический словарь. — М.: Сов. энциклопедия, 1988.

Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. — М.: Мир, 1968.

Матлин И. С. Статистическое моделирование развития системы поселений // Вопросы географии. № 88. Теоретическая география. — М.: Мысль, 1971. — С. 153—163.

Мещеряков Ю. А. Рельеф и современная геодинамика. — М.: Наука, 1981.

Мильчин А. Э. Издательский словарь-справочник. — М.: Юристъ, 1998. — 472 с.

Мусин О. Р. Цифровые модели для ГИС // Инф. бюлл. ГИС-Ассоциации, 1998. — № 4(16). — С. 30—31.

Мусин О. Р. Диаграмма Вороного и триангуляция Делоне // Инф. бюлл. ГИС-Ассоциации, 1999. — № 2(19). — С. 51—52; № 3(20). — С. 9—10.

Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д. А. Поспелова. — М.: Наука, 1986. — 321 с.

Огарков В. М. От триангуляции Делоне к управляемой триангуляции (о настоящих моделях рельефа в ГИС) // Инф. бюлл. ГИС-Ассоциации, 1999. — № 2(19). — С. 53—54.

Орешкина Д. Д., Тикунов В. С. Образ мира и России в Интернете. — ГИС-Обозрение. — М., 2001. — № 2. — С. 12—13.

Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ. — М.: Высшая школа, 1989. — 367 с.

Портянский И. А. Компьютерный арсенал географии. — М.: Мысль, 1989. — 172 с.

Поспелов Г. С., Поспелов Д. А. Искусственный интеллект — прикладные системы. — М.: Знание, 1985. — 48 с.

Построение экспертных систем / Под ред. Ф. Хейеса-Рота, Д. Уотермана, Д. Лената. — М.: Мир, 1987. — 441 с.

Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности / С. А. Айвазян, В. М. Бухштабер, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. — М.: Финансы и статистика, 1989. — 607 с.

Пржиялковский В. В. СЛОВАРЬ www.sibinfo.ru/~buka/dict/dic_prj.htm. — 2001.

Прэтт У. Цифровая обработка изображений. — М.: Мир, 1982. — 160 с.

Пудовик Е. М. Фрактальный анализ сложных эколого-географических объектов (на примере г. Казани) / Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук, 1997. — 16 с.

Пузаченко Ю. Г. Профилактика экологических катастроф // Новые концепции в географии и прогнозировании / Изв. РАН. Науч. совет по проблемам биосферы. — М., 1992. — С. 21—34.

Пьянова О. В. Социально-экономическая ситуация как объект комплексного исследования территории (на примере республики Татарстан) / Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук, 1998. — 16 с.

Росин В. Я., Тикунов В. С. Классификация и картографирование префектур Японии по уровню развития отраслей обрабатывающей промышленности // Изв. Всесоюз. геогр. об-ва, 1982. — Т. 114. — Вып. 2. — С. 164—172.

Рыбина Г. В. Технология проектирования прикладных экспертных систем. — М.: Изд-во МИФИ, 1991. — 104 с.

Салищев К. А. Картоведение. — М.: Изд-во МГУ, 1982. — 408 с.

Саломонссон О. Об идентификации, интеграции и организации данных в городских и региональных информационных системах // В кн.: Новые идеи в географии. — Вып. 2. Город. системы и информатика. — М.: Прогресс, 1976. — С. 223—242.

Сариев Г.Дж. Принцип ограничения. — Баку: Изд-во Элм, 1986. — 297 с.

Саушкин Ю.Г. Экономическая география: история, теория, методы, практика. — М.: Мысль, 1973.

Сваткова Т.Г. Русская гипсометрическая школа // Тематическое картографирование: традиции и перспективы (к 90-летию проф. И.П.Зарцкой). — М., 1998.

Серапинас Б.Б. О надежности картографического метода исследований // Вестн. Моск. ун-та. — Сер. геогр. — 1983. — № 3. — С. 60—65.

Сербенюк С.Н. Составление карт средней многолетней урожайности при помощи ЭВМ // В кн.: Новое в тематике, содержании и методах составления экономических карт. — М.: МФ ВГО, 1970. — С. 80—90.

Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Сравнительный анализ некоторых многомерных математических моделей, применяемых в тематической картографии // В кн.: Новое в тематике, содержании и методах составления экономических карт (1970 — 1973). — М.: МФ ВГО, 1974. — С. 18—43.

Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Автоматизация в тематической картографии. — М.: Изд-во МГУ, 1984. — 112 с.

Сиголаева Е.А., Тикунов В.С. Математико-картографическое моделирование хозяйственной освоенности Атлантического океана // География и природные ресурсы, 1986. — № 4. — С. 113—121.

Симонов Ю.Г., Невяжский И.И. Экспертные оценки при географическом прогнозировании // Вестн. Моск. ун-та. — Сер. геогр. — 1978. — № 4. — С. 25—31.

Система Геодезических Параметров Земли «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90) / В.Ф.Галазин, Б.Л.Каплан, М.Г.Лебедев и др.; Под ред. В.В.Хвостова. — М., 1998. — 37 с.

Смирнов Л.Е. Геоэкологическое картографирование // В кн.: Основы геоэкологии. — СПб, 1994. — С. 55—76.

Статистические и динамические экспертные системы / Э.В.Попов, И.Б.Фоминых, Е.Б.Кисель, М.Д.Шапот. — М.: Финансы и статистика, 1996. — 320 с.

Стурман В.И. Основы экологического картографирования. — Ижевск, 1995. — 220 с.

Тикунов В.С. Разработка алгоритмов распознавания, классификации и картографирования географических комплексов с помощью ЭВМ // В кн.: Новые методы в тематической картографии (Математико-картографическое моделирование и автоматизация). — М.: Изд-во МГУ, 1978. — С. 52—69.

Тикунов В.С. Типология математико-картографических моделей социально-экономических явлений // Изв. АН СССР. — Сер. геогр. — 1979. — № 2. — С. 130—134.

Тикунов В.С. Имитация пространственного развития явлений на примере гравитационной модели распространения эпидемий и их картографирование // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. — Львов: Выща школа, 1981. — С. 104—110.

Тикунов В. С. Способ оценки достоверности математико-картографического моделирования // Вестн. Моск. ун-та. — Сер. геогр. — 1982. — № 4. — С. 42—48.

Тикунов В. С. Моделирование в социально-экономической картографии. — М.: Изд-во МГУ, 1985. — 280 с.

Тикунов В. С. Классификация и картографирование нечетких географических систем // Вестн. Моск. ун-та. — Сер. геогр. — 1989. — № 3. — С. 16—23.

Тикунов В. С. Исследования по искусственному интеллекту и экспертные системы в географии // Вестн. Моск. ун-та. — Сер. геогр. — 1989. — № 6. — С. 3—9.

Тикунов В. С. Многовариантность моделирования географических систем // Изв. АН СССР. — Сер. геогр. — 1990. — № 5. — С. 106—118.

Тикунов В. С. Мультимедиа в географии // Вестн. Моск. ун-та. — Сер. геогр. — 1995. — № 5. — С. 23—27.

Тикунов В. С. Классификации в географии: ренессанс или увядание? — Смоленск: Изд-во СГУ, 1997. — 367 с.

Тикунов В. С. Атласная информационная система «Устойчивое развитие России» // Вестн. Моск. ун-та. — Сер. геогр. — 2002. — № 5. — С. 21—32.

Тикунов В. С., Орешкина Д. Д. «Управляемая демократия»: российский вариант или о «кое-каких недостатках» электоральной культуры в регионах // Прил. к журн. Эксперт, 2000. — № 11—12. — С. 61—65.

Тикунов В. С., Цапук Д. А. Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение. — М.; Смоленск: Изд-во СГУ, 1999. — 176 с.

Тикунов В. С., Флоринский М. А. Типология пахотных почв СССР с различным содержанием подвижных форм фосфора, калия и степени кислотности // География и природные ресурсы, 1981. — № 3. — С. 129—131.

Тикунов В. С., Флоринский М. А. Опыт математико-картографического исследования природных условий для целей химизации сельскохозяйственного производства // Изв. Всесоюз. Геогр. об-ва, 1981. — Т. 113. — Вып. 4. — С. 346—352.

Количественные методы районирования и классификации / А. М. Трофимов, Я. И. Заботин, М. В. Панасюк, В. А. Рубцов. — Казань: Изд-во Каз. ун-та, 1985. — 120 с.

Трофимов А. М., Игонин Е. И. Концептуальные основы моделирования в географии (развитие основных идей и путей математизации и формализации в географии) / Под ред. В. С. Тикунова, Ю. П. Переведенцева. — Казань: Изд-во Матбугат йорты, 2001. — 340 с.

Трофимов А. М., Панасюк М. В. Геоинформационные системы и проблемы управления окружающей средой. — Казань: Изд-во Каз. ун-та, 1984. — 142 с.

Трофимов А. М., Пьянова О. В. Проблема территориальной справедливости в рамках региональной политики // В кн.: Территориальная справедливость, региональные конфликты и региональная безопасность. — Смоленск, 1998. — С. 105—106.

Трофимов А. М., Солодухо Н. М. Вопросы методологии современной географии. — Казань: Изд-во Каз. ун-та, 1986. — 84 с.

Трофимов А. М., Тикунов В. С., Нургалеев Э. Х. Глобальная система мониторинга и ресурсный банк данных в международной программе изучения окружающей среды // География и природные ресурсы, 1990. — № 2. — С. 27—31.

Трофимова С.Ф. Проблемы концептуального моделирования в ГИС. — «Геоинформатика-2000» // Тр. Международной науч.-практ. конференции / Под ред. А. И. Рюмкина, Ю. Л. Костюка, А. В. Скворцова. — Томск: Изд-во Томск. ун-та, 2000. — С. 7—12.

Ульман Дж. Основы систем баз данных. — М.: Финансы и статистика, 1983. — 334 с.

Фишер Р. А. Статистические методы для исследований. — М.: Статистика, 1957. — 321 с.

Хаггет П. Пространственный анализ в экономической географии. — М.: Прогресс, 1968. — 391 с.

Хузеев Р. Г. Теория принятия компромиссных решений. — Казань: Изд-во Каз. ун-та, 1988. — 154 с.

Хузеев Р. Г. О лингвистическом подходе к решению экономико-географических задач // Математико-географическое моделирование. — Казань: Изд-во Каз. ун-та, 1979. — С. 17—21.

Цикритзис Д., Лоховски Ф. Модели данных. — М.: Финансы и статистика, 1985. — 343 с.

Черванев И. Г. Моделирование и автоматизированный анализ рельефа: методологические аспекты // Проблемы системно-формационного подхода к познанию рельефа (основные направления в развитии геоморфологической теории). — Новосибирск: Наука, 1982. — С.14—21.

Экспертные системы. Инструментальные средства разработки / Л. А. Керов, А. П. Частиков, Ю. В. Юдин, В. А. Юхтенко; Под. ред. Ю. В. Юдина. — СПб.: Политехника, 1996. — 220 с.

Экспертные системы. Принципы работы и примеры. — М.: Радио и связь, 1987. — 224 с.

Элти Дж., Кумбс М. Экспертные системы: концепции и примеры. — М.: Финансы и статистика, 1987. — 191 с.

Ягодина Л. Л. Математические модели рельефа / Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук. — Л., 1973. — 16 с.

Adding video and sound to GIS / A. Fonseca, C. Gouvei, J. Raper, F. C. Ferreira, A. S. Camara. — Fourth European Conference on Geographical Information Systems, Genoa, Italy, March 29 — April 1, 1993, EGIS Foundation, 1993. — Vol. 1. — P. 187—193.

Ambroise C., Govaert G. Spatial Clustering and the EM Algorithm. — France: Universite de technologie de Compienge, 1996.

Armenakis C. Map animation and hypermedia: tools for understanding changes in spatio-temporal data. — Proceedings the Canadian Conference on GIS, Ottawa, March 23—25, 1993. — P. 859—868.

Armenakis C., Siekierska E. M. Issues on the Visualization of Time-Dependent Geographical Information. — Proceedings the Canadian Conference on GIS, 1991. — P. 584—592.

Asche H., Herrmann C. M. Electronic mapping systems — a multimedia approach to spatial data use. — Proceedings of the 16th International Cartographic Conference. Cologne, 3—9 May 1993. — Vol. 2, Bielefeld, 1993. — P. 1101—1108.

Bertanffy L. An Outline of General System Theory — British J. for Phil. of Sci. 1950. — Vol. 1. — N 2. — P. 134—165.

Bielawski L., Lewand R. Intelligent systems design: integrating expert systems, hypermedia and database technologies. 1991, John Wiley & Sons, Inc. — 302 p.

Biswas G., Oliff M., Sen A. Expert decision support system for productuon control. Decision Support System. 1984. — Vol. 4. — N 2. — P. 7—14.

Blayo F. Application on Self-organizing Maps to the Analysis of Economic Situation. — IOP publishing Ltd and Oxford Univ. Press, 1997.

Bogomolov N., Rylskiy I., Tikunov V. Creation of the Ananorphoses-Based 3D-Pyramidal Block-Diagrams. — Advances in spatial data handling: 10th International Symposium on Spatial Data Handling / Dianne E.Richardson, Peter van Oosterom (ed.) — Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hong Kong, London, Mailand, Paris, Tokyo: Springer, 2002. — P. 465—473.

Burrough P.A. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Clarendon press. Oxford, 1986. — 193 p.

Buscema M. The Neural Vision of a Compatative City: an Exploration on the Urban Winning Assets in the European Context. — Simeon-Centro Ricerche di Scienze della Communicazione. Viale di Val Fiorita, Roma, 1996. — 24 p.

Clarce K. C. Geographic information systems: definitions and prospects. — Bull. Geogr. and Map Div. Spec. Libr. Assoc., 1985. — N 142. — P. 12—17.

Clinton W. J. Coordinating Geographic Data Aquisition and Access: the National Spatial Data Infrastructure. Executive Order 12906. — Published in the April 13, 1994, edition of the Federal Register. — Vol. 59. — N. 71. — P. 17671—17674.

Content Standard for National Biological Information Infrastructure Metadata (Based on Content Standards for Digital Geospatial Metadata. Federal Geographic Data Committee. June 8, 1994). Draft, December 1995. — 66 p., Ms.

Computer cartography in Sweden. — Cartographica, 1977. — N 20. — 114 p.

Computer software for spatial data handling. International Geographical Union: Commission on Geographical Data Sensing and Processing. — Ottawa; Ontario, 1981. — Vol. 1: Full geographic information systems. — P. 136.

Dollfus O. Chaos bornes et monde actuel // Espace geogr., 1990, 19—20, N 4. — P. 302—308.

EDI-Press & Web Mission © 2000—2001.

Environmental Data Report. Prepared for UNEP. — London: UK, Basil Blackwell, 1987.

Functions for a multimedia GIS / A.Fonseca, C.Gouveia, A.S.Camara, F.C.Ferreira. — Third European Conference on Geographical Information Systems, Munich, Germany, March 23—26, 1992, EGIS Foundation, 1992. — Vol. 2. — P. 1095—1101.

GEMS — The Global Environment Monitoring System. UNEP, Penshurst Press Ltd. Kent. England, 1982. — 32 p.

Goodchild M. F. Applications of a GIS benchmarking and workload estimation model. — Papers and Proceedings of Applied geography Conferences, 1987. — N 10. — P. 1—6.

Goodchild M. F., Rizzo B. R. Performance evaluation and workload estimation for geographic information systems. — International Journal of Geographic Information Systems, 1987. — N 1. — P. 67—76.

Gould P., White R. Mental maps. New York, Baltimore, 1974. — 204 p.

Griffith D.A. Toward a theory of spatial statistics: another step forward. — Geogr. Anal., 1987, 19. — N 1. — P. 69—82.

Gwynne M.D. GEMS and the need for a global resource information database. — Sci. Total Environ., 1986, 56. — P. 19—29.

Haan B.J., Kahn P., Riley V.A., Coombs J.H., Meyrowitz N. IRIS hypermedia services. — Communications of the ACM, 1992. — Vol. 35. — N 1. — P. 36—51.

Hadden D. From videodisk geographic information systems to multimedia empowerment. — Proccedings of the ISPRS Commission II Symposium «Systems for data processing, analysis and representation», Vol. 30, part 2, Ottawa, June 6—10, 1994. — P. 391—396.

Halas J. Computer Animation, New York: Hastings House Publishers, 1974. — 204 p.

Huffmann N.H. Hyperchina: adventures in hypermapping — Proceedings of the 16th International Cartographic Conference. Cologne, 3—9 May 1993. — Vol. 1, Bielefeld, 1993. — P. 26—45.

Hunter G.M. Computer animation survey // Computer and graphics, 1977. — Vol. 2. — N 4. — P. 225—229.

Jensen J.R. Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective, 2nd Ed. NJ: Prentice Hall, 1996. — 318 p.

Kartogramm zur Reichstagswahl. 2 Wahlkarten d. Deutschen Reiches in alter und neuer Darstellung mit polit.-statist. Begleitworten und kartogr. Erl. von Dr. H. Haack und H. Wiechel. Gotha: J.Perthes, 1903. — 36 p.

Kohonen T. Self-Organizing Maps, Berlin,Springer-Verlag, 1997.

Konecny M., Rais K. Geograficke informacni systemy. — Folia prirodoved. fak. UJEP v Brne, 1985. — Vol. 26. — N 13. — 196 p.

Levitan E.L. Electronic Imaging Technique: A Handbook of conventional and computer controlled animation, Optical and Editing Processes. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1977. — P. 178.

Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature. N.-Y., Freeman, 1983. — 468 p.

Micro-atlases and the diffusion of geographic information: an experiment with HyperCard / J.-L. Raveneau, M. Miller, Y. Brousseau, C. Dufour. — Geographic Information Systems: The micro-computer and modern cartography, 1991, Pergamon Press. — Vol. 1. — P. 201—223.

Merging GIS with multimedia technologies: the case-study of an information system for tourist applications / P. Mogorovich, C. Magnarapa, M.V. Masserotti, S. Mazzotta. — Third European Conference on Geographical Information Systems, Munich, Germany, March 23—26, 1992, EGIS Foundation, 1992. — Vol. 2. — P. 1085—1094.

Molenaar M. Single valued vector maps — a concept in geographic information sustems. — Geo-Informationssysteme,1989, 2. — N 1. — P. 18—26.

Monmonier M.S. Maximum-difference barriers: alternative numerical regionalization method. — Geogr. Anal., 1973. — Vol. 5. — N 3. — P. 245—261.

Nagy G., Wagle Sh. Geographic data processing. — Comput. Surv. 1979. — Vol. 11. — N 2. — P. 139—181.

Neft D.S. Statistical analysis for areal distribution. Philadelphia, Regional Science Research Institute, 1966. — 172 p.

Ormeling F. Ariadne's thread — structure in multimedia atlases. — Proceedings of the 16th International Cartographic Conference. Cologne, 3—9 May 1993, vol. 2, Bielefeld, 1993. — P. 1093—1100.

Ormeling F. Atlas information system. — 17th Int. Cartogr. Conf. and 10th Gen. Assembly ICA. Barcelona, Sept. 3rd-9th, 1995: Proc. Vol. 2, Barcelona, 1995. — P. 2127—2133.

Phillips J. D. Chaotic behavior in Earth surface systems. — 27th IGC Washington D.C., August 9—14, 1992. — P. 499—500.

Permitin V. E., Tikunov V. S. Environmental Monitoring in the USSR: Present State and New Tasks. — Intern. J. Environmental Studies, 1992. — Vol. 40. — P. 67—77.

Polydorides N. D. An experiment in multimedia GIS: great cities of Europe. — Fourth European Conference on Geographical Information Systems, Genoa, Italy, March 29 — April 1, 1993, EGIS Foundation, 1993. — Vol. 1. — P. 203—212.

Ritter H. Kohonen's Self Organization Maps: Exploring their computational capabilities. — Proc. Int. Conf. On Neural Networks, 1988. — N 1. — P. 109—116.

Rolland-May C. La theorie des ensembles flous et son interet en geographie. — Espace geogr., 1987. — Vol. 16. — N 1. — P. 42—50.

Russell S.J., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach, Prentice Hall, Inc.,1995

Siekierska E.M. From the electronic atlas system to the ecectronic atlas products (electronic atlas of Canada from the beginning to the end). — Proceedings of the Seminar on Electronic Atlases, Visegrad, Hungary, April 27—29, 1993. — P. 103—111.

Snyder John P., Philip M. Voxland. An Album of Map Projections U.S. Geological Survey professional paper 1453 (introduction by Joel L. Morrison), Washington, 1989. — 239 p.

Taylor D.R.F. A conceptual basis for cartography/new directions for the information era. — Cartographica, 1991. — Vol. 28. — N 4. — P. 1—8.

The Greenhouse Cases. — UNEP, Nairobi, Kenya, 1987.

The Ozone Layers. — UNEP. Nairobi, Kenya, 1987.

The National Spatial Data Infrastructure. A technical perspective. — A Federal Geographic Data Committee sponsored Meeting, February 18—21, 1993. Charleston, South Carolina. — Ms.

The 1990 — GIS Sourcebook. Geographic Information System Technology in 1990. GIS World, Inc., 1990. — 356 p.

1991 — 1992 International GIS Sourcebook. Geographic Information System Technology in 1991, GIS World, Inc., 1991. — 597 p.

1993 International GIS Sourcebook. Geographic Information System Technology in 1992, GIS World, Inc., 1992. — 482 p.

Thrower N. J. W. Animated cartography // The Professional Cartographer, 1959. — Vol. 11. — N. 6. — P. 9—12.

Tobler W. R. A computer movie simulation urban growth in the Detroit region. // Economic Geography, 1970. — Vol. 46. — N 2. — P. 234—240.

Tobler W. R. Experiments in migration mapping by computer // The American Cartographer, 1987. — Vol. 14. — N 2. — P. 155—163.

Tomlinson R. F. Geographic Information Systems, Spatial Data Analysis and Decision Making in Government. University of London, July 1974. — 444 p.

Wang Y., Gong J., Huang J., Deng Y. The CNSDTF topological vector model and structure. — Geo-Spatial Information Science. — 1999. — Vol. 2. — N 1. — P. 104—108.

Zadeh L. A. Fuzzy sets. — Information and Control, 1965. — Vol. 8. — P. 338—353.

Оглавление

Введение 6
Глава 1. **Введение в геоинформатику** 11
1.1. Понятие географической информационной системы 11
1.2. Геоинформатика: наука, технология, индустрия 22
1.3. Периодизация развития геоинформатики 31
Глава 2. **Функциональные возможности ГИС** 41
2.1. Ввод, предобработка и хранение данных 41
2.1.1. Источники данных 41
2.1.2. Модели пространственных данных 51
2.1.3. Аналого-цифровое преобразование данных 71
2.1.4. Базы данных и управление ими 86
2.2. Геоанализ и моделирование 113
2.2.1. Общие аналитические операции и методы пространственно-временно́го моделирования 113
2.2.2. Классификации 143
2.2.3. Цифровое моделирование рельефа 167
2.2.4. Математико-картографическое моделирование 187
2.3. Визуализация данных 199
2.3.1. Картографическая визуализация 199
2.3.2. Изображения в неевклидовой метрике 210
2.3.3. Виртуально-реальностные изображения 232
2.3.4. Картографические анимации 247
Глава 3. **ГИС как основа интеграции пространственных данных и технологий** 266
3.1. ГИС и дистанционное зондирование 266
3.2. ГИС и глобальные системы позиционирования 286
3.3. ГИС и Интернет 304
3.4. Понятие о мультимедиа 320
Глава 4. **Интеллектуализация и поддержка принятия решений в геоинформатике** 336
4.1. Технологии искусственного интеллекта и экспертные системы 336
4.2. Нейронные сети и ГИС 346
4.3. Системы поддержки принятия решений 358
Глава 5. **Проектирование ГИС** 375
5.1. Разработка системного проекта ГИС 375
5.2. Инфраструктуры пространственных данных 396
5.3. Реализация геоинформационных проектов 412
Словарь терминов 430
Рекомендуемая литература для самостоятельной работы 466
Цитируемая литература 468