

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОУ ВПО «СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»

Ю.А. Кравченко

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ СИСТЕМ
ГЕОМОДЕЛИРОВАНИЯ

Книга 2

ИНФОРМАЦИОННОЕ ГЕОМОДЕЛИРОВАНИЕ:
МОДЕЛИ И МЕТОДЫ

Часть 2

Новосибирск
СГГА
2008

УДК 528.91
К772

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор
Томского государственного университета
А.В. Скворцов

Кандидат технических наук, доцент Новосибирского
государственного архитектурно-строительного университета
А.Ф. Задорожный

Кравченко, Ю.А.

К772 Основы конструирования систем геомоделирования. Книга 2.
Информационное геомоделирование: модели и методы. Часть 2 [Текст] :
монография / Ю.А. Кравченко. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 316 с.

ISBN 978-5-87693-304-1 (ч. 2)

ISBN 978-5-87693-302-7 (кн. 2)

ISBN 978-5-87693-296-9

Излагаются методология моделирования дискретных объектов геопространства, основанная на применении искусственного интеллекта, и принципы создания баз общих знаний о геопространстве. Рассматриваются основы формальной картографии – алгебры картографических изображений – и язык картографического отображения.

Для студентов старших курсов, аспирантов и специалистов в области информационного геомоделирования, геоинформатики и картографии.

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГГА

Научный редактор: кандидат технических наук,
профессор Сибирской государственной геодезической академии
Ю.Г. Костына

УДК 528.91

ISBN 978-5-87693-304-1 (ч. 2)

ISBN 978-5-87693-302-7 (кн. 2)

ISBN 978-5-87693-296-9

© Кравченко Ю.А., 2008

© ГОУ ВПО «Сибирская государственная
геодезическая академия» (СГГА), 2008

СОДЕРЖАНИЕ

9.	Моделирование дискретных объектов.....	5
9.1.	Стандартизация терминологии в области геомоделирования	5
9.2.	Унификация программного обеспечения.....	24
9.3.	О постановке задачи.....	31
9.4.	Сравнительный анализ цифровых карт и цифровых моделей.....	34
9.5.	Принципы унификации цифровых топографических данных	44
9.6.	Специфика систем геомоделирования	47
9.7.	Предпосылки интеллектуализации систем геомоделирования	51
9.8.	Структура и функции интеллектуальной системы геомоделирования	54
9.9.	Геопространство как объект информационного моделирования ...	59
9.9.1.	Основные категории понятий	60
9.9.2.	Типология объектов геоинформационного моделирования	68
9.9.3.	Геометрические объекты.....	69
9.9.4.	Семантические объекты	79
9.10.	Практика представления семантической информации.....	82
9.10.1.	Классификатор НИИПГ.....	82
9.10.2.	Классификатор ФГУП центр «Сибгеоинформ».....	86
9.10.3.	Классификатор НИИПМК.....	94
9.10.4.	Каталог объектов местности.....	99
9.10.5.	Общие замечания по представлению семантических данных	106
9.11.	Представление знаний о земной поверхности	108
9.11.1.	Определение геоинформационных потребностей.....	108
9.11.2.	Некоторые предпосылки решения задачи	110
9.11.3.	Разделение сущностей и отношений	111
9.11.4.	Тезаурус.....	111
9.11.5.	Сравнение с существующими решениями.....	114
9.11.6.	Структура отношений.....	117
9.11.7.	Лингвистические знания	136
9.11.8.	Эллипсис	138
9.11.9.	База знаний и стандарты	139
9.12.	Извлечение знаний	140
9.13.	Использование знаний о геопространстве.....	141
9.14.	Представление семантических данных.....	146
9.15.	Представление геометрических данных	146
9.16.	Представление дискретных объектов.....	152
9.17.	Партнерские системы геомоделирования	155
	Библиографический список	159
10.	Контуры формальной картографии.....	162
10.1.	Потребности и возможности систем картографического отображения.....	162
10.2.	Определение и назначение языка картографического отображения	164

10.3. Возможные решения	167
10.4. Характеристики базового языка.....	169
10.4.1. Разделители и комментарии.....	170
10.4.2. Литералы.....	170
10.4.3. Идентификаторы и ключевые слова.....	171
10.4.4. Операции.....	173
10.4.5. Операторы.....	175
10.4.6. Функции.....	180
10.4.7. Классы.....	180
10.4.8. Производные классы и виртуальные функции	184
10.5. Изобразительные средства	191
10.6. Сигнатуры	194
10.7. Точечные сигнатуры.....	205
10.8. Линейные сигнатуры.....	211
10.9. Площадные сигнатуры.....	216
10.10. Полосные сигнатуры.....	221
10.11. Правила описания и геометрические образы объектов.....	231
10.12. Условные знаки.....	239
10.13. Надписи	244
10.14. Картографическое изображение	249
10.15. Формальное определение картографического отображения	254
10.16. Представление картографических знаний.....	269
10.17. Использование знаний в системах картографического отображения	275
10.17.1. Использование дедуктивного вывода	275
10.17.2. Использование индуктивного вывода.....	278
10.18. Оценка предложения.....	280
Библиографический список	283
Послесловие.....	284

9. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ОБЪЕКТОВ

9.1. Стандартизация терминологии в области гео моделирования

Изучение любой области знания естественно начинать с определения основных понятий. Геоинформационное моделирование уже имеет некоторую историю, хотя и короткую, и в этой области имеются стандарты, устанавливающие определения основных понятий.

Кроме того, анализ стандартов на терминологию в области гео моделирования необходим еще по двум причинам. Во-первых, терминология отражает концептуальное понимание проблемы, определенную научную или техническую парадигму. Во-вторых, разработка стандартов по терминологии в гео моделировании – это подготовка к созданию стандартов на массовую цифровую топографическую и картографическую продукцию. Стандарты на геоинформационную продукцию должны логически следовать из основных концепций, но именно последние, как будет показано далее, представляются дискуссионными.

Терминология в области картографии, в том числе цифровой, регламентируется стандартами [1–4]. Далее эти и другие стандарты рассматриваются в хронологическом порядке. Стандарт [1] является основополагающим. Ниже перечислены определения [1] некоторых исходных понятий, связанных с обсуждаемой проблемой.

Определения из стандарта [1]

1. *Картография* – область науки, техники и производства, охватывающая изучение, создание и использование картографических произведений.

2. *Картографирование* – комплекс мероприятий по созданию карты или ряда карт какой-либо области.

Примечание. Здесь и далее под областью подразумевается любое отображаемое пространство: территория, акватория, небесное тело, космическое пространство и т. д.

3. *Картографический материал* – картографическое произведение и любой другой документ, который используется для составления, исправления или обновления карты.

4. *Картографическая информация* – информация, выражаемая в виде картографических произведений, содержащая сведения о них, требуемая для их создания и обновления.

5. *Картографическое произведение* – произведение, главной частью которого является картографическое изображение.

6. *Картографическое изображение* – свойственное карте изображение Земли, других небесных тел или небесной сферы и расположенных на них объектов в той или иной системе картографических условных знаков.

7. *Содержание карты* – совокупность показанных на карте объектов и сообщаемых о них сведений, определяемая назначением и конкретной темой карты.

8. *Элементы содержания карты* – группы объектов, на которые может быть расчленено содержание карты.

9. *Картографические условные знаки* – применяемые на картах обозначения различных объектов и их качественных и количественных характеристик.

10. *Цифровая карта* – цифровое отображение содержания карты, записанное на магнитной ленте или каком-либо другом носителе.

Таким образом, стандарт [1] содержит единственное понятие из области геоинформационного моделирования – понятие цифровой карты. Следует учесть, что термин «цифровая карта» в [1] дан в разделе «Методика и технология изготовления карт». Место данного термина дает основания предполагать, что авторы стандарта [1] понимали цифровую карту как промежуточный результат в процессах создания и обновления карт.

Определения из стандарта [2]

Стандарт [2] полностью посвящен терминологии в цифровой картографии. Многие определения стандарта, начиная с базовых понятий, представляются, по меньшей мере, спорными.

1. *Цифровая картография* – раздел картографии, охватывающий теорию и практику создания и использования цифровых карт и моделей земной поверхности.

2. *Цифровое картографирование* – комплекс мероприятий по созданию цифровых карт и моделей земной поверхности.

3. *Цифровая картографическая информация* – картографическая информация, представленная в цифровой форме на носителе данных.

4. *Цифровая модель земной поверхности* – логико-математическое описание в цифровой форме объектов земной поверхности и отношений между ними.

5. *Цифровая карта* – цифровая модель земной поверхности, сформированная с учетом законов картографической генерализации в принятых для карт проекции, разграфке, системе координат и высот.

6. *Топографическая цифровая карта* – цифровая карта, по содержанию и точности соответствующая топографической карте определенного масштаба.

7. *Цифровая карта местности* – цифровая карта, отвечающая установленным пользователем требованиям по содержанию и точности.

8. *Цифровая карта контуров* – часть цифровой карты местности, содержащая информацию о плановом и высотном положении объектов, кроме рельефа.

9. *Цифровая карта рельефа* – часть цифровой карты местности, содержащая информацию только о рельефе земной поверхности.

10. *Объект цифровой карты* – структурная единица цифровой картографической информации, однозначно характеризующая определенный объект земной поверхности.

11. *Элемент содержания цифровой карты* – структурная единица цифровой картографической информации, объединяющая объекты цифровой карты по группам с учетом принадлежности к однородным объектам земной поверхности.

12. *Машинные условные знаки объектов цифровой карты* – специальные условные знаки, предназначенные для получения графических копий цифровых карт на средствах отображения информации.

13. *Код объекта цифровой карты* – знак или совокупность знаков, принятых для обозначения объекта цифровой карты или его характеристики и подписи.

14. *Электронная карта* – цифровая карта, визуализированная с использованием программных и технических средств в принятой системе условных знаков, предназначенная для отображения и анализа, а также решения задач с использованием дополнительной информации.

15. *Цифрование картографического материала* – преобразование картографической информации в цифровую форму с использованием ЭВМ и специальных технических и программных средств.

16. *Автоматизированная картографическая система (АКС)* – система технических, программных, информационных и лингвистических средств, обеспечивающая ввод в ЭВМ данных с картографических материалов и фотоснимков, обработку и хранение цифровой картографической информации, составление и обновление топографических и специальных карт в цифровой или графической форме.

17. *Картографическая экспертная система* – автоматизированная картографическая система, использующая средства искусственного интеллекта и картографическую базу знаний.

ГОСТ [1] допускает изменения определения того или иного понятия по форме изложения, но без нарушения его границ (объема). Определение цифровой карты в [2] является более узким по сравнению с определением в [1]: во-первых, исключаются из рассмотрения цифровые карты поверхности других планет и цифровые звездные карты; во-вторых, предъявляются дополнительные требования к представлению данных. Определение цифровой карты в [1] не налагает каких-либо ограничений на используемую систему координат. В определении стандарта [2] говорится о *проекции и системе координат*, следовательно, и о системе координат проекции, каковой чаще всего является система плоских прямоугольных координат. Таким образом, определение цифровой карты в [1] не запрещает, а, значит, допускает использование системы координат, связанной с картографируемой поверхностью, например, геодезических координат, а определение цифровой карты в [2] *требует* применения системы координат картографического изображения.

Конечно, зная параметры проекции и земного эллипсоида, можно перейти от системы координат проекции к системе координат на земной поверхности. Но использование для описания положения объектов земной поверхности системы координат на этой же поверхности представляется более практичным решением. Если цифровые карты предназначаются для решения некоторых геометрических задач, а не только для подготовки к изданию обычных карт, то пользователю требуется описание положения объектов на картографируемой поверхности, а не на картографическом изображении. Кроме того, усложняется подготовка к изданию карт в проекции, отличной от исходной.

Возникают также вопросы: «Каким из определений цифровой карты нужно руководствоваться сегодня? Отменяет ли определение цифровой карты в [2] предшествующее определение?».

В общепринятом понимании понятия земной поверхности, местности и территории близки по смыслу, стоят в одном семантическом ряду. Трактовка термина «цифровая карта местности» в [2] вступает в конфликт с обычными представлениями и с [1], поскольку соответствует понятию карты специального назначения, данному в [1].

По нашему мнению, для стандарта [2] было характерно злоупотребление понятием «цифровая картографическая информация». После его появления цифровую картографическую информацию можно не только сжимать, но и нарезать (в стандарте [1] было определено понятие «нарезка карты»), сшивать (что следует отнести к профессиональному жаргону) и даже «символизировать». Зато понятие данных, без которого практически вообще нельзя говорить о применении ЭВМ в любой области, в том числе в картографии, в нем почти не встречается. Есть понятие базы картографических данных, но нет понятия самих картографических данных.

Определения из стандарта [3]

С выходом в 1995 г. стандарта [3] в дополнение к цифровому картографированию появилось геоинформационное, но смысл данного термина стандартом не раскрывается. Если область цифрового картографирования обозначить как X , а область геоинформационного – как Y , то возможно пять вариантов соотношения объемов этих понятий (рис. 9.1).

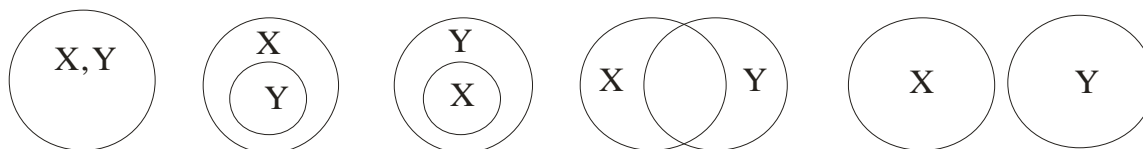


Рис. 9.1. Соотношение объемов понятий

Как в представлении авторов стандарта соотносятся эти объемы, совершенно не очевидно. Можно только предполагать, что в [3] объяснение понятия геоинформационного картографирования отсутствует по той причине, что разработчики не смогли его дать. Но такое определение можно найти в вышедшей в 1997 г. работе [12, с. 3]: «Геоинформационное картографирование (ГК) – это автоматизированное создание и использование карт на основе ГИС и баз картографических данных и знаний. Суть ГК составляет информационно-картографическое моделирование геосистем.» Проблема только в том, что картографическое моделирование и без того является информационным, то есть знаковым.

Кроме определений, стандарт [3] содержит разделы «Требования к системе классификации и кодирования», «Требования к цифровому описанию», «Требования к формату обмена данными» и «Требования к системе условных знаков».

3.1 Дискретные условные знаки (УЗ) – знаки, применяемые для изображения объектов, «точечных» в натуре (например, отметки высот и др.)

или площади распространения которых не выражаются в масштабе карты (например, маяки, шахты и др.), использованной в качестве исходного материала при изготовлении электронной карты.

3.3 Классификатор топографической информации (КТИ) – систематизированный свод кодовых обозначений элементов и объектов местности, а также признаков, характеризующих эти объекты при отображении сведений о местности на топографических картах.

3.5 Линейные УЗ – знаки, употребляемые для отображения объектов линейного характера, т. е. объектов, одно из измерений которых (ширина) не выражается в масштабе карты.

3.7 Объект классификации – совокупность предметов, понятий, свойств или других элементов некоторого множества, для которых разрабатывается система классификации.

3.8 Объект с дискретным характером локализации – объект, показываемый на топографической карте немасштабным постоянно ориентированным условным знаком и описываемый в цифровой форме одной точкой.

3.9 Объект с линейным характером локализации – объект, ширина которого не выражается на топографической карте, и описываемый последовательностью координат точек осевой линии.

3.10 Объект с неопределенным характером локализации – объект, отображаемый на топографической карте совокупностью условных знаков составляющих его элементарных объектов.

3.11 Объект с площадным характером локализации – объект, отображаемый на топографической карте в соответствии со своими размерами и описываемый последовательностью координат граничных точек.

3.12 Объект с условно-линейным характером локализации – объект, показываемый на топографической карте немасштабным произвольно ориентированным условным знаком и описываемый в цифровой форме не менее чем двумя точками.

3.13 Площадные УЗ – знаки, используемые для отображения объектов местности, площади распространения которых выражаются в масштабе карты и ограничиваются контурами внешних и внутренних границ.

3.15 Пространственные данные – сведения, которые характеризуют местоположение и геометрическое описание объектов в пространстве и относительно друг друга (на местности).

3.19 Условные знаки электронных карт – графические символы, применяемые для формализованного изображения различных объектов местности. В зависимости от пространственных и качественных характеристик отображаемых объектов, соответствующие им УЗ подразделяются на следующие типы: дискретные, линейные и площадные.

3.22 Электронная карта – векторная или растровая карта, сформированная на машинном носителе (например, на оптическом диске) с использованием программных и технических средств в принятой проекции, системе координат и высот, условных знаках, предназначенная для отображения, анализа и

моделирования, а также решения информационных и расчетных задач по данным о местности и обстановке.

Стандарт [3] вступает в противоречие с двумя предыдущими. В [1] определяются картографические условные знаки, в [2] – машинные условные знаки, а в [3] – условные знаки электронных карт. В [1] даются понятия немасштабных, линейных и площадных условных знаков, а в [3] – дискретных, линейных и площадных.

Определения из стандарта [4]

В 1999 г. вышел стандарт [4], представляющий собой новую редакцию стандарта [2].

1 Цифровая картография – раздел картографии, охватывающий теорию и практику создания и использования цифровой картографической продукции.

2 Цифровое картографирование – комплекс мероприятий, направленных на создание цифровой картографической продукции.

3 Цифровая картографическая продукция – продукция, получаемая с использованием цифровой картографической информации.

6 Цифровая картографическая информация (ЦКИ) – картографическая информация, представленная в цифровой форме.

7 Цифровая (картографическая) модель – логико-математическое представление в цифровой форме объектов картографирования и отношений между ними.

8 Цифровое картографическое моделирование – процесс создания и использования цифровых картографических моделей.

9 Цифровая модель местности (ЦММ) – цифровая картографическая модель, содержащая данные об объектах местности и ее характеристиках.

10 Цифровая проблемно-ориентированная модель местности (ЦПОММ) – цифровая модель местности, содержание и форма представления которой определяются требованиями пользователя.

11 Цифровая модель объектов местности – цифровая модель местности, содержащая информацию о плановом и высотном положении объектов местности, кроме рельефа.

12 Цифровая модель рельефа (ЦМР) – цифровая модель местности, содержащая информацию о ее рельефе.

13 Цифровая модель издательского оригинала карты (ЦМИО) – содержание издательского оригинала карты, представленное в цифровой форме.

15 Трехмерная электронная модель местности – наглядная и измеримая модель местности, построенная на экране средства отображения информации в трехмерной системе координат в соответствии с заданными условиями наблюдения.

16 Цифровая карта – цифровая картографическая модель, содержание которой соответствует содержанию карты определенного вида и масштаба.

19 Электронная карта – цифровая картографическая модель, визуализированная или подготовленная к визуализации на экране средства отображения информации в специальной системе условных знаков, содержание которой соответствует содержанию карты определенного вида и масштаба.

28 *Условный знак электронной карты* – картографический условный знак, предназначенный для отображения объекта электронной карты.

32 *Классификатор картографической информации (для цифрового картографирования)* – классификатор, содержащий систематизированный перечень наименований и кодов объектов цифровых карт и их характеристик.

34 *Правила цифрового описания (картографической информации)* – система единых требований к формализованному цифровому описанию картографической информации.

35 *Структурная единица цифровой карты* – совокупность данных цифровой карты, имеющая самостоятельное значение.

36 *Слой (цифровой картографической информации)* – совокупность объектов цифровой или электронной карты, объединенная каким-либо признаком или группой признаков.

37 *Элемент содержания цифровой карты* – структурная единица цифровой карты, объединяющая ее элементы по определенным группам.

38 *Объект цифровой [электронной] карты* – структурная единица цифровой [электронной] карты, характеризующая конкретный объект карты или местности и его признаки. *Примечание. Подпись является объектом цифровой или электронной карты.*

39 *Площадной объект (цифровой [электронной] карты)* – объект цифровой [электронной] карты, метрическое описание которого представлено последовательностью координат точек его замкнутого контура.

40 *Линейный объект (цифровой [электронной] карты)* – объект цифровой [электронной] карты, метрическое описание которого представлено последовательностью координат его точек.

41 *Условно-линейный объект (цифровой [электронной] карты)* – объект цифровой [электронной] карты, метрическое описание которого представлено координатами двух точек, определяющих положение и ориентацию немасштабного условного знака.

42 *Точечный объект (цифровой [электронной] карты)* – объект цифровой [электронной] карты, метрическое описание которого представлено координатами одной точки.

43 *Комплексный объект (цифровой [электронной] карты)* – объект цифровой [электронной] карты, состоящий из совокупности объектов.

46 *Характер локализации объекта (цифровой карты)* – вид геометрического представления объекта цифровой карты.

48 *Пространственно-логические связи (объектов цифровой [электронной] карты) (ПЛС)* – совокупность данных о топологических отношениях между объектами цифровой [электронной] карты.

82 *Автоматизированная система обеспечения цифровой картографической продукцией* – автоматизированная система, предназначенная для организации сбора, накопления, хранения цифровой картографической продукции и выдачи ее потребителям.

83 *Геоинформационная система* – автоматизированная система, предназначенная для сбора, обработки, анализа, моделирования и отображения данных, а также решения информационных и расчетных задач с использованием цифровой картографической, аналоговой и текстовой информации.

Прежде всего можно заметить, что стандарт [4] не различает цифровые модели вообще и цифровые картографические модели. И те, и другие определяются через объекты картографирования. Цифровые модели местности и цифровые карты в нем трактуются как частные случаи цифровой картографической модели (рис. 9.2). Возможно, разработчики стандарта хотели отмежеваться от геоинформационного моделирования и подчеркнуть, что областью применения стандарта является только автоматизированное картографирование.

Но геоинформационное моделирование является более широкой областью, чем картографирование. Его целью далеко не всегда является получение каких-либо карт. Следовательно, данное определение цифровой карты и ЦММ, а также все последующие определения неприменимы при геоинформационном моделировании. В результате геоинформационное моделирование в целом оказывается вне стандартизации.

Многие определения стандарта [4] сомнительны, в частности, определение цифровой картографической продукции. В соответствии с данным определением, в разряд цифровой картографической продукции (ЦКП) попадают бумажные карты, полученные по автоматизированным технологиям, поскольку при их изготовлении используется цифровая картографическая информация. По существу же, ЦКП и есть не что иное, как цифровая картографическая информация, представленная в товарном виде, то есть готовая к использованию по назначению. Поскольку в общем случае цифровая картографическая информация может представлять собой полуфабрикат или даже сырье, которые не могут быть названы продукцией.

В этих определениях следует обратить внимание на два момента. Определение классификатора картографической информации содержит примечание «для цифрового картографирования». Следовательно, авторы стандарта допускают возможность существования других классификаторов, например, для геоинформационного моделирования. Тогда к чему разговоры о единой инфраструктуре геопространственных данных? Кроме того, согласно этому определению, классифицируются не объекты моделируемого пространства (предметной области), а объекты ЦТК. Наконец, основой

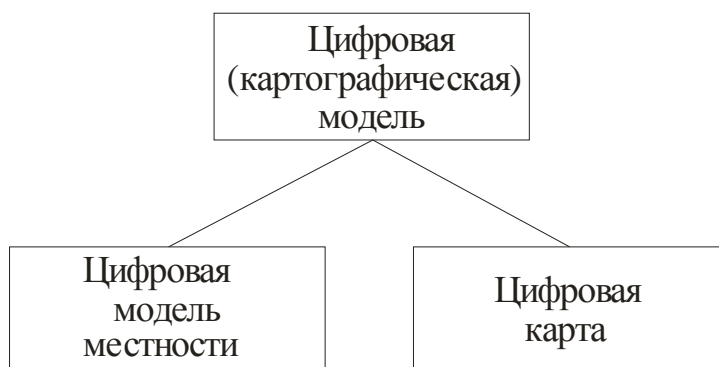


Рис. 9.2. К определению цифровой карты

унификации должны быть не классификаторы, а базы топографических и картографических знаний, что будет показано дальше.

Заметим также, что в данной редакции стандарта исчезло понятие картографической экспертной системы, имевшееся в [2]. Означает ли это, что авторы стандарта [4] считают интеллектуализацию картографических систем бесперспективным направлением?

Трудно понять, почему определение ЦММ из [2] авторы стандарта [4] полностью повторили, а определение цифровой модели рельефа сочли нужным подправить не лучшим образом.

В определении электронной карты согласно [2] можно было согласиться только с основным смыслом: это картографическое изображение; остальное в определении – сомнительно. Нет особого смысла в подчеркивании визуализации с использованием технических и программных средств, поскольку нет иного способа. Кроме того, «визуализированная» означает «отображенная», визуализированное – это то, что можно рассматривать. Поэтому карта не может быть одновременно «визуализированной» и «предназначенной для отображения». Нельзя согласиться с тем, что для электронной карты назначение указывается, а для цифровых моделей и карт оно отсутствует. Более того, прямое назначение электронной карты – представление содержания цифровой модели или цифровой карты в виде, удобном для восприятия человеком. Излишне указывать использование дополнительной информации, поскольку ее наличие для решения задач не является обязательным.

Стандарт [4] дает новое определение электронной карты столь же сомнительного качества: изображение на экране монитора является не цифровой картографической моделью, а ее отображением.

Кроме того, стандарт [4] не отличается внутренней логичностью. Так, например, дается определение классификатора топографической информации, но нет определения топографической информации, и наоборот, есть картографическая информация, но нет ее классификатора. Вводятся новые понятия, но затем от них отступают в тексте самого стандарта. Например, дается определение точки привязки на с. 3, а на с. 7 говорится о привязочных точках.

Если внимательно изучить стандарт [4], то становится очевидной его ориентация на одну технологию – получение цифровых карт по уже имеющимся обычным картам. Вот несколько примеров из стандарта, подтверждающих это утверждение:

- «... метрическое описание объекта, получаемое с исходного материала, должно в максимальной степени соответствовать положению этого объекта на местности» [4, с. 7];

- «Для объектов типа “мост” первая и вторая точки располагаются на оси знака» [4, с. 8]. Не по оси объекта местности, а по оси условного знака!

- «Для объектов, условные знаки которых имеют правильную геометрическую форму ... в качестве первой точки принимается левый нижний угол УЗ, второй точки – его правый верхний угол (углы поименованы

относительно стандартного представления объектов в Таблицах условных знаков)» [4, с. 8] и т. д.

Очевидно, что авторы стандарта не смогли выйти за пределы собственного практического опыта, ограниченного картометрическим методом создания цифровых карт.

Определения из стандарта [5]

В 1999 г. вышел в свет стандарт [5], посвященный метаданным. Но его название не соответствует содержанию. Любые данные, получаемые методами геодезии, гравиметрии, дистанционного зондирования, объявлены в нем данными электронных карт. Фактически стандарт содержит требования к составу и содержанию описания *геоинформационных ресурсов*. В нем приводятся новые определения некоторых терминов.

3.1 Метаданные электронных карт – данные, которые позволяют описывать содержание, объем, положение в пространстве, качество (точность, полноту, достоверность и современность) и другие характеристики электронных карт, а также данные геодезической, гравиметрической, фотограмметрической и картографической информации, которую используют при создании (обновлении) и применении электронных карт.

3.6 Электронная карта – векторная или растровая карта, сформированная на машинном носителе (например, на оптическом диске) с использованием программных и технических средств в принятой проекции, системе координат и высот, условных знаках, предназначенная для отображения, анализа и моделирования, а также решения информационных и расчетных задач по данным о местности и обстановке.

3.8 Цифровая модель местности – цифровая картографическая модель, содержащая данные об объектах местности и ее характеристиках.

3.9. Цифровая модель рельефа – цифровая картографическая модель, содержащая информацию о неровностях земной поверхности.

В 2000 г. вышло сразу четыре стандарта [6–9], устанавливающих требования к цифровым топографическим картам. Ранее эти стандарты были опубликованы как отраслевые стандарты Роскартографии.

Недоумение вызывает уже область применения стандартов [6–9]: «Положения настоящего стандарта подлежат применению расположенными на территории Российской Федерации учреждениями, организациями и предприятиями независимо от ведомственной принадлежности и форм собственности, имеющими лицензию Федеральной службы геодезии и картографии России на изготовление и распространение цифровых топографических карт (ЦТК)».

По нашему мнению, лицензирование упомянуто не к месту. Из стандартов следует, что не имеющие лицензии могут не соблюдать требования этих стандартов. Сегодня Федеральной службы уже нет. Как быть не успевшим получить ее лицензии? А если лицензирование в данной области будет вообще отменено?

В соответствии с данными стандартами:

1) иностранные фирмы, занимающиеся созданием ЦТК на территорию России, где эти ЦТК и будут использоваться, могут не соблюдать требования стандартов, поскольку находятся вне России;

2) российские организации, занимающиеся созданием ЦТК на зарубежную территорию, на которой они и будут использоваться, должны выполнять требования стандартов, поскольку расположены на территории России. Прецеденты уже существуют.

Кроме того, эти стандарты устанавливают основные требования только к ЦТК масштабов 1 : 10 000 – 1 : 1 000 000. Крупные масштабы (1 : 500 – 1 : 5 000) остались вне поля зрения разработчиков!

Определения из стандарта [6]

4.5 Объект топографической карты – структурная единица картографической информации, отображающая объект местности или другую информацию, являющуюся обязательной для отображения на топографической карте.

4.6 Объект цифровой топографической карты – структурная единица цифровой картографической информации, описывающая объект местности или другую информацию, являющуюся обязательной в составе цифровой топографической карты.

Определение объекта цифровой карты в стандарте [4] и примечание к нему, а также определения в [6] свидетельствуют о том, что объекты предметной области и объекты картографического изображения авторами стандартов рассматриваются как элементы одного множества, что является концептуальной ошибкой.

Определения из стандарта [7]

3.2 Классификация объектов цифровых топографических карт – разделение множества объектов ЦТК на подмножества в соответствии с имеющимися у них признаками.

3.3 Классификатор объектов цифровых топографических карт – нормативный документ, представляющий систематизированный свод наименований и кодовых обозначений объектов ЦТК, их признаков и значений признаков, классифицированных и кодированных в соответствии с принятой системой классификации и кодирования объектов ЦТК.

Нужно ли в дополнение к определению классификатора картографической информации в [3] вводить в [7] определение классификатора объектов цифровых топографических карт?

Определения из стандарта [8]

4.2 Точечный объект цифровой топографической карты – объект ЦТК, местоположение которого описывается координатами одной точки.

4.3 Линейный объект цифровой топографической карты – объект ЦТК, метрика которого описывает положение осевой линии.

4.4 Площадной объект цифровой топографической карты – объект ЦТК, метрика которого описывает положение границ объекта.

4.5 *Локализация объекта цифровой топографической карты* – способ формирования метрики объекта ЦТК в соответствии с заданными правилами.

4.8. *Правила локализации объекта цифровой топографической карты* – свод предписаний, регламентирующих действия по формированию метрики объекта ЦТК с учетом размеров объекта и масштаба создаваемой карты.

4.9 *Правила цифрового описания картографической информации* – свод систематизированных предписаний, регламентирующих содержание, структуру и порядок формирования цифровой картографической информации при создании ЦТК.

4.10 *Простой объект цифровой топографической карты* – объект ЦТК, описанный в классификаторе объектов ЦТК для данного масштаба на нижней ступени иерархии.

4.11 *Сложный объект цифровой топографической карты* – объект ЦТК, в цифровом описании которого присутствует информация о нескольких простых объектах ЦТК.

4.12 *Цифровое описание картографической информации* – набор символов, принятых (установленных) для формализованного представления объектов ЦТК.

4.13 *Цифровое описание объекта цифровой топографической карты* – формализованное представление данных об объекте топографической карты в цифровом виде, которое включает в себя цифровое описание пространственного распространения объекта (метрика объекта ЦТК), его смыслового содержания (семантика объекта ЦТК) и пространственно-логических связей объекта с другими объектами данного номенклатурного листа топографической карты.

В стандарте [4] было введено понятие *комплексного* объекта, а в [8] говорится о простых и *сложных* объектах. Если в состав некоторого объекта входят сложные объекты, то будет ли он сложным, или стандарт допускает только два уровня иерархии? Являются ли термины комплексных и сложных объектов синонимами или они отличаются своим смыслом?

Далее в [8] сообщается, что сложный объект ЦТК должен содержать семантику *нескольких* взаимосвязанных объектов, входящих в его состав. Означает ли это, что при описании сложного объекта, состоящего, например, из семи более простых объектов, достаточно указать семантику хотя бы четырех («нескольких») из них?

В пункте 5.2 стандарта утверждается: «Допускается включать в состав объектов ЦТК цифровую картографическую информацию, обусловленную особенностями ее отображения в графической форме. В соответствии с ГОСТ Р 51606 указанная информация должна быть представлена в качестве *объектов ЦТК* (выделено Ю. К.)» [8, с. 2].

В стандарте [8, с. 2] исчезли имевшиеся в [4] условно-линейные объекты, но зато появился еще один тип локализации: «5.3.1 По характеру локализации объекты ЦТК подразделяют на точечные, линейные, площадные и *подписи* (выделено Ю. К.)». По каким соображениям авторы стандарта сочли

необходимым повторить определения площадного, линейного и точечного объектов, но не дали определение объекта с новым типом локализации «подпись»? Все далеко не так, как представляется в этих стандартах. В частности, следует различать размерность объектов и тип локализации, выделить полосные объекты.

Даже определение линейного (линейного – по мнению авторов стандарта) объекта является неправильным, поскольку положение таких линейных объектов, как откос и обрыв, не выражающихся в масштабе карты, представляется координатами верхней бровки, а не их осевой линии.

Далее читаем: «5.3.3 По характеру ориентирования относительно системы координат, используемой при графическом отображении НЛ ЦТК, объекты ЦТК подразделяются на стандартно и нестандартно ориентированные» [8, с. 2]. Так можно классифицировать условные знаки, но не объекты местности!

Определения из стандарта [9]

4.2 *Избыточно введенные объекты* – объекты, имеющиеся на ЦТК, но отсутствующие на исходном картографическом материале, или объекты исходного картографического материала, преобразованные в цифровую форму повторно.

4.4 *Исходный картографический материал* – картографическое произведение, которое используется для создания ЦТК.

Стандарт [9] следовало бы назвать «Карты цифровые топографические. Требования к качеству ЦТК, получаемых картометрическим методом», поскольку в соответствии с его пунктом 6.2.2.1 точность ЦТК необходимо проверять с использованием ИКМ в качестве растровой подложки. Другие методы проверки точности ЦТК не указаны. Все допустимые значения погрешностей в положении объектов определяются относительно их положения на исходных картографических материалах (!), а не относительно их действительного положения на местности.

Кроме того, стандарт [9] содержит допустимые значения погрешностей, заимствованные из других нормативных документов. Во-первых, необходимо и достаточно было сделать ссылку на эти документы. Во-вторых, подобная дифференциация допусков при картометрическом методе создания ЦТК представляется принципиальной ошибкой. По нашему мнению, с которым, скорее всего, согласится большинство пользователей, при создании ЦТК картометрическим методом необходимо стремиться к максимальному сохранению точности исходных картографических материалов, для чего целесообразно установить единый допуск (порядка 0.1–0.15 мм) для всех типов объектов.

Анализ стандартов можно было бы продолжить, но и этого достаточно для целей настоящей работы. Во-первых, следует признать неудовлетворительный уровень и даже некоторую неряшливость многих определений. Один из оттенков значения слова «стандарт» означает «образец». Рассмотренные стандарты, к сожалению, нельзя признать образцом точности и логичности.

Во-вторых, становится закономерностью пренебрежительное отношение разработчиков последующих стандартов к предыдущим. Вместо поправок или

отмены неудачных определений утверждаются новые, столь же сомнительного качества. В итоге мы имеем два определения цифровой карты (стандарты [1, 4]) и два определения электронной карты (стандарты [3, 4, 5]). Отмененный стандарт [2] содержал свои определения этих терминов. Аналогичная картина наблюдается с определениями некоторых других понятий.

Ситуация со стандартами частично может быть объяснена сложившейся практикой их разработки. В нашей стране стандарт – это результат НИР (см., например, [21]). По другой отечественной традиции, НИР не может закончиться отрицательным результатом. Следовательно, разработанный в рамках НИР стандарт будет утвержден, каков бы он ни был. Еще одной причиной является закрытый характер разработки стандартов. Стандарты появляются вдруг, как черт из табакерки.

Выше ситуация со стандартизацией в цифровом картографировании охарактеризована как критическая, хотя со времени ввода в действие стандартов [2] и [3] появилась единственная публикация [24], содержащая некоторые претензии в адрес [3]. Но молчание в данном случае едва ли означает согласие. Скорее всего, это либо игнорирование, либо неведение.

Являясь потребителями множества товаров и услуг, мы не имеем представления о разработанных на них стандартах. Аналогично, потребители цифровой картографической продукции могут не читать стандарты [1–9]. Тем не менее, последние затрагивают интересы многочисленных потребителей геоинформации самым непосредственным образом.

Некоторые авторы уверяют, что ЦТК предназначены для использования в геоинформационных системах и автоматизированных информационных системах создания и ведения кадастров различного назначения и, дескать, только во вторую очередь содержание ЦТК должно обеспечивать возможность их использования в автоматизированных технологиях картографического производства. Подобные утверждения противоречат действительности – содержанию стандартов и практике цифрового картографирования. Нельзя говорить о приоритетном назначении цифровых карт для использования в ГИС, если *по определению* цифровая карта является *картографической моделью* [4].

Декларации об использовании цифровых карт в первую очередь в ГИС рассыпаются в прах при внимательном прочтении стандартов. Например, стандарт [4] определяет *цифровую картографию* как раздел *картографии*, как теорию и практику создания и использования цифровой *картографической* продукции.

Содержание стандартов убедительно свидетельствует о том, что их авторы придерживаются картоцентрической системы мира, что для картографов естественно. Но нельзя согласиться с тем, что все информационные модели геопространства являются *картографическими*. Множество информационных моделей шире множества картографических моделей. Картографические модели (даже традиционные) являются информационными (то есть – знаковыми), но обратное утверждение – любая информационная модель геопространства является картографической – неверно.

В данных стандартах просматриваются две тенденции. Первая из них – это стремление максимально расширить область картографии, а, следовательно, и сферу влияния Роскартографии. Данное явление не ново. В мире конкуренции технические стандарты не столь редко используются как средство в борьбе за выживание. Вторая тенденция в определенном смысле противоположна первой – это стремление избежать ответственности за обширную область геоинформационного моделирования. Поэтому в трактовке авторов стандартов цифровые карты представляют собой продукцию, пригодную, прежде всего, для получения топографических карт.

Определение требований к геодезической и картографической продукции не сводится только к решению чисто технических или научных проблем. Чтобы понимать появление тех или иных технических решений, необходимо учитывать некоторые организационные и даже исторические аспекты.

Развитие геодезии и картографии в нашей стране происходило при доминирующем влиянии Военно-топографического управления Генерального штаба (ВТУ ГШ). Министерство обороны является привилегированным заказчиком и потребителем геодезической и картографической продукции. До сих пор планы работ Роскартографии по развитию геодезических сетей, а также по созданию и обновлению традиционных и цифровых топографических карт и планов согласовываются с Министерством обороны. Определенные объемы таких работ выполняются военно-топографической службой. Исторически сложилось так, что требования к содержанию традиционных, а затем и цифровых топографических карт масштабов 1 : 25 000 – 1 : 1 000 000 разрабатывались военно-топографической службой.

Реконструкция (и не более того) логики авторов термина «цифровые топографические карты» и концепция цифровых топографических карт позволяет предположить, что они появились под влиянием двух факторов. Первый из них – техническая база, существовавшая на момент возникновения идеи автоматизации картографирования – 1970-е гг., время больших ЭВМ. Из-за высокой стоимости эти ЭВМ имели незначительное распространение. Вероятно, развитие элементной базы средств вычислительной техники по пути миниатюризации в то время могли предвидеть только специалисты по физической электронике. Спрогнозировать массовое распространение персональных компьютеров, вызвавшее высокие темпы развития информатики, в том числе – геоинформатики, тогда едва ли было возможно. В серьезных специальных изданиях потешались над двумя энтузиастами, якобы создавшими в сарае новый компьютер, который должен едва ли не перевернуть мир. Бесспорный лидер в области вычислительной техники в то время – фирма IBM (на долю которой приходилось около 80 % мирового производства ЭВМ, и которая вызывала такое же раздражение у пользователей, как позднее – Intel и Microsoft) среагировала на появление персональных ЭВМ только тогда, когда ее собственные программисты стали покупать их для отладки программ.

Формируя требования к цифровой топографической продукции, ВТУ исходило из понимания собственных задач и информационных потребностей. Вторым фактором, повлиявшим на концепцию цифровых карт, были

представления о характере современной войны, в частности, о скоротечности боевых действий и вероятности больших разрушений на местности. В тех условиях военно-топографическая служба понимала свою наиважнейшую задачу как максимально оперативное обновление или исправление карт и снабжение ими частей. Самый эффективный способ подготовки к будущим задачам – заблаговременное так называемое «оцифровывание» имеющихся карт и создание их архивов. Но поскольку понятие цифровой модели местности уже существовало, и геоинформационные модели успешно использовались в других сферах, например, при проектировании, постольку появился такой гибрид, как цифровые карты. Его авторы пытались совместить в «цифровых картах» содержание карт и картографическое изображение. В наши намерения не входит критика ЦТК, используемых Министерством обороны в собственных целях. Мы всего лишь утверждаем, что ЦТК, создаваемые для передачи ВТУ, не адекватны потребностям многочисленных гражданских организаций.

Концепция цифровых карт имеет почти 30-летнюю историю, хотя существует ГОСТ [1]. Определение цифровой карты в нем сегодня можно считать едва ли не классическим. Его авторам можно простить «магнитную ленту» и некоторую шероховатость, если учесть почти полное отсутствие опыта информационного моделирования геопространства на тот момент времени – 1976 (!) г.

Рассмотренные стандарты не отличаются концептуальным единством и заслуживают сравнения с лошадью, созданной комиссией. Количество замечаний к этим стандартам намного превысит их собственный объем. Разработка *новых стандартов* с нуля представляется менее трудоемкой задачей, чем анализ и переработка существующих. Они должны представлять собой *единую систему стандартов* под общим примерным названием «*Геоинформационное моделирование*». Но это тема другого разговора. Наша цель здесь состояла в том, чтобы показать неудовлетворительный уровень существующих стандартов и их бессистемность.

Топографические (или географические) данные являются основой для создания ГИС самого разного назначения. Отсутствие удовлетворительных нормативных документов на представление цифровых топографических данных является сдерживающим фактором распространения геоинформационных систем. Следствием ограниченного распространения ГИС служит низкий спрос на цифровые топографические данные и незначительные объемы заказов на их создание предприятиями Роскартографии и саморегулируемыми организациями.

Монопольное положение Роскартографии является причиной того, что у нее отсутствуют достаточные стимулы для решения проблемы разработки стандартов на представление цифровых топографических данных, в получении которых заинтересованы многие организации. Отсутствие указанных стандартов двояким образом сказывается на деятельности предприятий самой Роскартографии. Чтобы подтвердить данное утверждение, достаточно проанализировать содержание статей только одного номера отраслевого издания Роскартографии – журнала «Геодезия и картография» № 4 за 2005 г.

В статье [11, с. 36] можно прочитать следующее: «Основой инфраструктуры пространственных данных, о которой в последнее время так много говорится, являются цифровые топографические карты. В условиях существенного расширения области применения геоинформационных технологий с особой остротой встает вопрос об обеспечении единства геоинформационного пространства. Роскартография и ВТУ ГШ прилагают немало усилий, направленных на выполнение работ по созданию цифровых карт в едином формате. Но вопросы унификации их информационного обеспечения до сих пор окончательно не решены».

По нашему мнению, фактическое состояние дел в процитированном высказывании несколько приукрашено, и *вопросы унификации геоинформационного обеспечения многочисленных потребителей вообще никак не решены*, если не считать решением рассмотренные выше стандарты и договоренность двух сторон (Роскартографии и ВТУ) об использовании системы ПАНОРАМА. Кроме того, заметим, что единое геоинформационное пространство сужено до Роскартографии и ВТУ! По существу, из этого абзаца можно вывести формулу:

Геоинформационное пространство = Роскартография + ВТУ.

Можно предполагать, что рано или поздно Роскартография и ВТУ решат проблему классификаторов и форматов, в которых Роскартография будет передавать цифровые карты частям ВТУ. Затем этот формат и классификаторы будут объявлены стандартом обмена цифровой топографической информацией.

Далее авторы [11, с. 36] пишут: «Наибольшим же спросом в органах государственной власти и обороны страны пользуются топографические карты масштаба 1 : 100 000 и крупнее. Наращивание объемов создания цифровых карт тормозит отсутствие унификации информационного обеспечения и технологий картографического производства». Предложения по решению проблемы унификации автоматизированных технологий создания и обновления геоинформационных моделей и карт были опубликованы в 2003–2004 гг. в Информационном бюллетене ГИС-Ассоциации.

Затем в статье говорится о том, что в Новгородском АГП, где работают ее авторы, для создания указанных ЦТК используется цифровая фотограмметрическая станция (ЦФС) ЦНИИГАиК и программный комплекс «Типаж-М» (вариант системы ПАНОРАМА). И далее [11, с. 36]: «Основной проблемой, которая возникла при такой технологии, была конвертация ввиду большой разницы программного и информационного обеспечения, применяемого в этих комплексах». И [11, с. 38]: «В зависимости от сложности листа на окончательное редактирование и контроль в СПО технологии «Типаж-М» требовалось 10 – 15 % от общего времени, затраченного на создание ЦТК. Трудовые затраты могли быть меньше, если бы существовало единое информационное обеспечение ЦТК, единые правила цифрового описания и формирования объектов, принятых Роскартографией и ВТУ».

Как видим, остальные пользователи не существуют. Мир сузился до Роскартографии и ВТУ. Конечно, авторы статьи не являются официальными лицами Роскартографии, но они выражают типичные настроения ее

работников, их образ мышления. Официальные лица Роскартографии, скорее всего, будут опровергать наши выводы и говорить, как и авторы статьи, о большой работе по решению указанной проблемы. Но усилия Роскартографии по решению проблемы унификации представления цифровых топографических данных можно измерить объемом финансирования работ (в том числе, НИР и ОКР) в данном направлении. По нашим предположениям, они ничтожны и сводятся к затратам на разработку некоторых стандартов из числа рассмотренных.

В завершение статьи высказывается предложение [11, с. 38]: «В настоящее время ЦНИИГАиК и ТС ВС РФ продолжают опытно-конструкторские работы по созданию единого информационного обеспечения для ЦТК масштабов 1 : 25 000 и 1 : 50 000. Мы считаем, что сюда следует включить также карты масштабов 1 : 100 000 и 1 : 200 000».

Неожиданная трансформация понятия единого информационного обеспечения, то есть пространства. Оказывается, можно создавать единое информационное пространство для масштабов 1 : 25 000 и 1 : 50 000, затем для масштабов 1 : 100 000 и 1 : 200 000. После этого можно творить единое информационное пространство для каждого из оставшихся масштабов. После топографических карт перейти к картам других видов. Подобный подход дает нам реальный шанс превратиться в страну, самую богатую едиными информационными пространствами. Если называть вещи своими именами, то можно говорить всего лишь об унификации представления ЦТК масштабов 1 : 25 000 и 1 : 50 000, передаваемых из ЦФС ЦНИИГАиК в ПАНОРАМУ.

Приведенная цитата подтверждает нашу мысль о том, что для работников аэрогеодезических предприятий главной проблемой является передача цифровых топографических карт ВТУ. Именно перечисленные масштабы пользуются наибольшим спросом в армии. Поэтому к остальным масштабам отношение более равнодушное.

Объяснение причин такого отношения можно обнаружить в статье [25], написанной работником центрального аппарата Роскартографии. В ней справедливо отмечается, что эффективность развития и внедрения ГИС-технологий во многом зависит от наличия разнообразной современной пространственной информации, в том числе картографической, приводятся фактические данные о наличии цифровых топографических карт на территорию России (табл. 9.1) и цифровых топографических планов масштаба 1 : 25 000 (34 города, 79 листов) и масштаба 1 : 10 000 (99 городов, 280 листов).

В статье признается, что «...основной проблемой при этом является перенос данных из одной оболочки в другую» [25, с. 33–34]. Оболочкой автор статьи называет автоматизированную картографическую или геоинформационную систему. Далее дается пояснение: «Если формат хранения цифровой картографической продукции отличается от формата, необходимого пользователю, применяются конверторы – специальное программное обеспечение, позволяющее выполнять перенос метрических, семантических и топологических характеристик объектов карт из одного формата в другой. Конвертация, как правило, происходит в автоматическом режиме, ей

предшествует определенная операторская работа по подготовке исходной информации и настройке параметров конвертации. По окончании процесса в 9 случаях из 10 требуется доработка получившейся цифровой картографической продукции в той оболочке, в формат которой выполнялась конвертация» [25, с. 34].

Таблица 9.1. Наличие цифровых карт на территорию РФ

Масштаб	Покрытие, %		Число листов
	Страна	Обжитые районы	
1 : 1 000 000	100	-	148
1 : 200 000	100	-	3 543
1 : 100 000	3	8.5	387
1 : 50 000	4	11	1 946
1 : 25 000	8	20	15 266
1 : 10 000	-	-	705

Далее: «До недавнего времени рынок конверторов, как таковой, не существовал. Средства конвертации были узкоспециализированными и недолговечными. В последние годы появились программные продукты, которые вывели процесс конвертации на уровень коммерческих, широко распространяемых разработок. В качестве примера такого рода программных средств можно привести линейку программных продуктов FME (Feature Manipulation Engine) канадской фирмы Safe Software, которую в настоящее время изучают эксперты нашей отрасли» [25, с. 34].

Из этих слов можно сделать вывод, что Роскартография намерена вкладывать деньги либо в приобретение этих конверторов, либо в разработку подобных отечественных программных продуктов. Но почему бы вместо этого не решить проблему унифицированного представления цифровой топографической продукции? Ответ на этот вопрос можно обнаружить далее в той же статье: «Следует отметить, что затраты на работы по конвертации цифровых топографических карт из формата хранения в конкретный формат пользователя оплачиваются заказчиком на договорных условиях» [25, с. 34].

Это ответ на последний вопрос и некоторые другие. Роскартография является самым крупным субъектом рынка геодезической и картографической продукции и владельцем государственного картографо-геодезического фонда (ГКГФ). Передавая цифровые или бумажные карты негосударственным организациям, предприятия Роскартографии взимают с них плату за использование материалов ГКГФ. С государственных организаций такая плата не берется. Плату за конвертирование данных из одного формата в другой можно брать как с тех, так и с других организаций. При скудном финансировании из госбюджета Роскартографии нет никаких резонов разрабатывать единый формат представления топографических данных и лишать самое себя дополнительного источника доходов.

В том же номере журнала опубликована статья «Первоочередные задачи отрасли» руководителя Роскартографии. В начале статьи он замечает, что «...по данным ООН, доля пространственной информации при принятии

управленческих решений во всех сферах государственной и экономической деятельности составляет до 60 % от общего объема информации» [13, с. 5]. А дальше высказывается следующим образом: «Необходимо разработать технические регламенты в области геодезии и картографии, наметить пути эффективного использования материалов картографо-геодезического фонда Роскартографии и других министерств и ведомств, имея в виду интеграцию геопространственных данных, а также обеспечение свободного доступа к ним и обмена. Это сложная задача, и решать ее, по-видимому, придется путем создания соответствующей нормативно-правовой базы и проведения научно-технических мероприятий для получения совместимых геопространственных данных на межотраслевом уровне. При этом необходимо обеспечить единый подход к их формированию и использованию» [13, с. 6]. Складывается впечатление, что в Роскартографии решение проблемы создания нормативно-правовой базы имеет приоритет над решением технических проблем интеграции геопространственных данных.

9.2. Унификация программного обеспечения

Проблема унификации и стандартизации представления цифровых топографических данных чрезвычайно важна для развития геоинформатики. Без решения данной проблемы информационное обеспечение пользователей осуществляется крайне неэффективно. Идея унификации в технике считается достижением XX в. Унификация, как способ ограничения многообразия в технических системах, оказывается экономически выгодной. Можно сказать, что в настоящее время практически все развитие техники происходит под знаком унификации. Необходимость унификации при геоинформационном моделировании представляется достаточно очевидной, но, как показывает практика, не столь очевидно, что должно быть *предметом унификации*.

Выше говорилось, что настойчивые усилия прежнего руководства Роскартографии по продвижению системы РАСТР-2/2П можно оценить как попытку унификации. Эти руководители ранее были связаны с Военно-топографическим управлением. В вооруженных силах унификация имеет еще большее значение, чем в гражданских организациях. Возможно, что именно по этой причине унификация не информационного, а программного обеспечения представлялась им разумным решением.

Решение о приемке единственной системы для создания ЦТК в качестве отраслевой было продиктовано стремлением избежать информационной несовместимости различных систем и добиться снижения общих затрат на цифровое картографирование. Предполагалось, что основой информационного обеспечения потребителей вне Роскартографии станет формат системы РАСТР-2/2П. Важность поставленной цели – повышения экономической эффективности цифрового картографирования на основе унификации – не может быть предметом дискуссий. Но решение задачи унификации оказалось никуда негодным: формат данных системы РАСТР-2/2П был отвергнут всеми или почти всеми ведомствами России.

Некоторые новые руководители Роскартографии пошли по тому же пути. Одним из них было заявлено, что во всей отрасли будет использоваться всего 2-3 программы. Цель такой технической политики все та же – унификация. Поэтому необходимо рассмотреть, какие преимущества или недостатки имеет «унификация» программного обеспечения, понимаемая как *ограничение* числа используемых программ.

Поскольку в области автоматизации картографирования и ГИС-технологий мы не входим в число лидеров, то необходимо использовать зарубежный опыт, чтобы не повторять чужие ошибки. В этой связи интерес представляют давние публикации американских авторов [19] и [32]. В статье Н.Р. Хрисмана можно прочитать о «хаосе автоматизации без ее осмысления и совершенствования» [32, с. 23]. Т. Коппок и Э. Андерсон писали следующее: «Эти системы обычно разрабатывались совершенно независимо на различных машинах, при этом данные собирались в разных стандартах и анализировались с помощью доморощенного программного обеспечения. Это привело к образованию так называемого «цифрового хаоса», в котором невозможно реализовать весь потенциал ГИС, поскольку этими данными нельзя обмениваться...» [19, с. 112]. Отсюда можно сделать вывод, что *главное – это обмен данными*.

Оценивая положение в области цифрового картографирования в России, можно утверждать, что в стадию информационного хаоса мы уверенно вступили. Причина его возникновения в цифровом картографировании заключается не в чрезмерном изобилии автоматизированных картографических и геоинформационных систем (скорее всего, их даже не хватает), а в отсутствии удовлетворительных стандартов на геопространственные данные.

Тезис о том, что *принятие на вооружение только одной системы цифрового картографирования не решает проблему информационного хаоса*, подтверждается историей создания в ПО «Инжгеодезия» цифрового топографического плана (ЦТП) масштаба 1 : 10 000 одного из крупных городов. В 1990-91 гг. средствами Автоматизированной информационной системы городского геодезического кадастра (АИС ГГК) был создан упомянутый ЦТП в объеме 32 листов. В 1991 г. разработчики системы изменили классификатор и форматы данных и внесли соответствующие изменения в программное обеспечение. В результате система утратила совместимость по данным со своей предыдущей версией и собранные ранее цифровые данные перестали восприниматься системой. В 1992-93 гг. было выполнено повторное цифрование всех 32 планшето. В 1993-94 гг. система была принята двумя (!) комиссиями, а в середине 1995 г. разработчики выпустили новую версию системы, ориентированную на еще более новую версию классификатора. В результате всех манипуляций с классификаторами, форматами данных и программным обеспечением АИС ГГК в очередной раз утратила совместимость по данным со своей предыдущей версией, вследствие чего предприятием было принято решение об отказе от ее дальнейшей эксплуатации.

Еще один пример: при сдаче заказчику цифровых топографических карт масштаба 1 : 200 000, полученных с использованием системы АРКА, были

обнаружены расхождения в классификаторах, хотя АРКА находилась в эксплуатации около восьми лет.

Из этих фактов можно сделать вывод, что принятие для всей отрасли одной (любой) системы получения цифровых топографических карт может оказаться принципиальной ошибкой. Такое решение не избавляет от проблем с сохранением цифровых топографических данных, доказательством чего служит описанная выше смена классификаторов и организации данных в АИС ГГК.

Примерно с 2003 г. под давлением ВТУ в предприятиях Роскартографии начата эксплуатация системы ПАНОРАМА. Выше мы приводили свидетельства работников одного из аэрогеодезических предприятий о проблеме ее совместимости с ЦФС ЦНИИГАиК и о продолжении работ по согласованию форматов и классификаторов. Поэтому возникает вопрос: «В какой мере ПАНОРАМА будет в состоянии воспринимать собственные данные по истечении некоторого времени, если работы уже выполняются около двух лет, а классификатор все еще разрабатывается?».

Сертификация единственной системы создания цифровых карт или моделей местности может автоматически привести к монополизму со всеми его негативными последствиями. По нашему мнению, необходимы разработка стандартов на представление данных и поощрение конкуренции среди разработчиков систем автоматизированного картографирования и ГИС-технологий вне зависимости от их правового статуса и форм собственности.

В предприятиях и организациях возможны разные ситуации: одни вложили средства в определенное оборудование, другие уже имеют отработанные технологии и не хотели бы нести дополнительные расходы на освоение новой и т. п. Поэтому поставщики цифровых топографических данных должны иметь возможность выбора из нескольких программных продуктов наиболее приемлемого для конкретных условий.

В свою очередь, разработчики должны иметь возможность конкурировать за право получения сертификатов Роскартографии или другого органа на создаваемые системы и технологии. Конкуренция должна явиться лучшим стимулом для развития и совершенствования предлагаемых программных продуктов.

Аргументом в пользу эффективности такого подхода может служить ситуация на рынке программных продуктов вообще и трансляторов, систем управления базами данных (СУБД) и графических пакетов, в частности. В этих областях нет ни одной системы – безусловного лидера по всем критериям. В течение года, как правило, появляется усовершенствованная версия каждого программного продукта, и на лидирующие позиции выходит то одна, то другая система. В конечном итоге выигрывает конечный пользователь, имеющий возможность выбора оптимальной для его условий системы, при этом более совершенной, а иногда и более дешевой, чем предыдущая версия.

Одним из немногих исключений в мире программных продуктов является операционная система Windows. Недостатки этой системы и монопольное положение ее разработчика – фирмы Microsoft – являются причиной постоянного недовольства, а то и раздражения многих пользователей. В США

предпринимались даже попытки на основании антимонопольного законодательства разукрупнить эту фирму в судебном порядке. Однако все судебные процессы пока что выигрывались фирмой Microsoft.

У нас же, как видим, наблюдается устойчивая тенденция к сознательному образованию монополистов. Сертификат Роскартографии (или другого подобного органа) на ту или иную автоматизированную систему картографирования, как и любую другую, должен являться свидетельством того, что качество данной системы достигло необходимого уровня, и она может использоваться в производственных целях, и не более того. Сертификация и придание единственной системе статуса унифицированной может привести к тому, что пользователи станут заложниками у коллектива разработчиков.

В этой связи имеет смысл обратить внимание на ситуацию и тенденции в промышленности. Так, в статье [22, с. 42] утверждалось, что «...мы все чаще встречаемся с тем, что автоматизация делается непосредственно на предприятиях, без привлечения узко специализированных фирм. Эта тенденция усиливается в связи как с общим промышленным кризисом, когда у заводов просто нет средств на оплату АСУ “под ключ”, так и с осознанием того факта, что лучше иметь контроль за информационными технологиями, обеспечивающими производственный процесс, чем зависеть от поставщика, пусть даже самого маститого».

Даже если у заказчика прекрасные отношения с разработчиком, и на момент принятия решения качество сертифицированного продукта заметно выше качества программ его конкурентов, нет абсолютно никаких гарантий, что эта ситуация сохранится через несколько месяцев. Вполне возможно, что другая организация завершит свою более эффективную разработку уже после принятия решения о выборе унифицированной системы. Но поскольку принятое решение не может пересматриваться каждые несколько месяцев, первая (и единственная) принятая система получает неоспоримые привилегии перед остальными. Следовательно, придание исключительного статуса одному программному продукту может оказаться *консервативным* по своей сути, так как создаст препятствия для совершенствования автоматизированных технологий его конкурентами. Объявление какой-либо системы цифрового картографирования стандартом имеет только одно «преимущество»: все цифровые карты будут иметь одни и те же недоработки или ошибки, в том числе – концептуальные. Данное утверждение подтверждается историями систем АРКА и РАСТР-2/2П.

Даже более высокая производительность того или иного программного продукта не всегда является достаточным основанием для его приобретения и внедрения, так как более важное значение имеет интегральный показатель – отношение «стоимость/производительность». Препятствием для внедрения новой системы может служить даже то обстоятельство, что на этапе освоения новой технологии производительность обычно снижается. Например, руководством «Bell Laboratories» более 15 лет назад было принято решение не внедрять новые языки программирования, если они не дают четырехкратного

повышения производительности труда программистов. Причину такого решения понять не трудно.

Кроме того, на современном уровне развития общественного производства основным направлением остается унификация и стандартизация продукции, а не технологий. В редких случаях действительно требуется строгое соблюдение технологии. В частности, это необходимо, когда единственными методами контроля качества продукции являются разрушающие, например, проверка бетонных изделий на прочность. В отличие от приведенного примера, каждый набор цифровых топографических данных может быть многократно проверен как визуально, так и с помощью различных средств программного контроля без какой-либо угрозы для сохранности данных. Проблема заключается в разработке формальных методов контроля и их программной реализации, но предварительно должна быть решена задача унификации и стандартизации требований к содержанию и форме представления топографических данных.

Чтобы работал естественный отбор, коллективы разработчиков должны быть поставлены в равные условия. Если все-таки будет принято решение о необходимости сертификации программных продуктов, то со стороны сертифицирующего органа должны быть сформулированы обязательные и желательные требования к программным средствам, претендующим на получение сертификата. Программные средства, не отвечающие обязательным требованиям, не должны сертифицироваться. Кроме того, должны быть указаны критерии, по которым осуществляется оценка качества программных комплексов и их относительная значимость.

В число обязательных требований должна быть включена возможность импорта и экспорта цифровых топографических данных в нескольких (двух или трех, вероятно, не более) форматах, принятых в качестве общероссийских. Здесь может возникнуть вопрос: «Почему не в каком-либо одном формате?». Ответ заключается в отсутствии общепризнанного универсального формата. Используемые форматы систем РАСТР-2, НЕВА, ПАНОРАМА и других не являются безупречными и имеют своих сторонников и противников.

Здесь нужно сказать, что во времена больших ЭВМ программное обеспечение делилось на два класса: первый предназначался для решения научно-технических задач, второй – экономических. Программы для решения научно-технических задач характеризовались простыми структурами данных, но сложными алгоритмами. Для экономических задач картина была прямо противоположной – простые алгоритмы, но сложные структуры и большие объемы данных.

В современных картографических и геоинформационных системах сочетаются наименее благоприятные свойства экономических и научно-технических программ: многообразие структур, большие объемы данных и сложные вычисления. Кроме того, они должны работать в режиме, близком к режиму реального времени; изменения в базе данных должны почти мгновенно отображаться на экране дисплея.

Строго говоря, быстроедействие картографических и геоинформационных систем непосредственно не зависит от формата обмена данными, а

определяется организацией данных в базе данных и оперативной памяти и алгоритмами обработки. Быстродействие алгоритмов, в свою очередь, также зависит от структур данных, поэтому структуры данных являются, в определенном смысле, первичными. (В действительности – это проблема яйца и курицы.) Именно по этой причине структуры данных и форматы являются предметом дискуссий.

Преобразование данных из внутреннего формата в обменный и обратно может оказаться не самой тривиальной задачей, так как с увеличением объема данных может резко возрасти время конвертирования. Эта проблема возникает тогда, когда исходный формат является объектным, а результирующий – топологическим. Подобных трудностей значительно меньше при преобразовании из топологического представления в объектное, а также когда исходная и результирующая структуры данных одного типа: обе топологические или обе объектные.

Топологическое представление топографических данных в качестве кандидата на стандартный формат обмена представляется более предпочтительным. Но даже после разработки и утверждения топологического формата обмена данными в течение некоторого времени будет необходимость использовать одновременно с ним и упомянутые выше объектные форматы, потребуется некоторый переходный период. В конце концов, практика одновременного использования форматов обоих типов внесет окончательную ясность в решение вопроса об их сравнительных достоинствах и недостатках – проголосуют потребители цифровых топографических данных.

Чтобы избежать проблем с импортом и экспортом данных, разработчики склонны предлагать в качестве обменного формата структуру, близкую к организации данных в их собственной системе. Следовательно, по предлагаемому обменному формату можно косвенно судить о внутренней структуре данных той или иной системы.

Вполне логично предположить, что при приемке в эксплуатацию единственной системы для всей Роскартографии в качестве стандартов классификатора и формата обмена данными будут приняты те, что поддерживаются данной системой, вне зависимости от их достоинств и недостатков. В качестве примера можно привести именно так возникший обменный формат интегрального файла (ОФИФ) в системе РАСТР-2/2П. В 2003–2004 гг. на роль унифицированной системы создания ЦТК выдвинута ПАНОРАМА.

Однако, необходимо учитывать, что картометрический метод создания цифровых карт не единственный, и в настоящее время он постепенно превращается из основного во второстепенный. Эффективный обменный формат должен предусматривать возможность получения цифровых топографических данных также топометрическим и фотограмметрическим методами, т. е. быть независимым от методов создания цифровой продукции.

Необходимо также иметь в виду, что при отсутствии стандартов на содержание и формат обмена цифровыми топографическими данными существует высокая вероятность того, что с появлением новых версий

программных продуктов будет изменяться внутренняя структура данных (пример – описанная выше история с АИС ГГК). Дело в том, что разработка программного обеспечения выполняется коллективами и требует определенного времени. Но для каждого коллектива существует проблема текучести кадров. А каждый новый разработчик в первую очередь начинает ревизовать (иногда обоснованно, так как уже имеется некоторый опыт) решения, принятые его предшественниками. Таким образом развивалась упомянутая выше АИС ГГК, при создании которой команда разработчиков существенно обновилась.

Более того, опыт программирования показывает, что если в одной организации разрабатываются две системы, близкие по своему назначению, то коллектив разработчиков разделится на две противоборствующие группировки. Конфликтовать они будут, прежде всего, из-за различий во взглядах на принципы представления и структуры данных, поскольку эти решения могут оказаться «судьбоносными» для их собственной системы в целом. Если появится необходимость в разработке еще одной системы, то можно почти со стопроцентной точностью предсказать появление еще одной группы инакомыслящих.

Таким образом, в настоящий момент в области геоинформационного моделирования первоочередной задачей является разработка требований к содержанию и представлению цифровых данных для всего масштабного ряда топографических карт и планов, служащих основой для создания карт и планов других видов, а также геоинформационных моделей самого разного назначения.

Разработка указанных стандартов позволит достичь относительной независимости пользователей от разработчиков программного обеспечения и покончить с произволом последних. Существование таких стандартов обеспечит решение проблемы сохранения данных при внедрении новых систем или модифицированных версий уже существующих. В случае необходимости данные экспортируются из старой системы в обменный формат, а затем импортируются из него в новую систему после ее установки.

Наличие стандарта выгодно и разработчикам. Во-первых, они имеют право не раскрывать внутреннюю организацию данных, которая может быть их ноу-хау. Во-вторых, они имеют такое же право на изменение внутренней организации данных с целью совершенствования системы. Поскольку импорт и экспорт данных в стандартном обменном формате является обязательным условием сертификации программного продукта, то некоторые проблемы с изменением внутренней структуры данных отпадут. Системы, не поддерживающие стандарт обменного формата, не будут вызывать доверие и не будут находить спроса у пользователей.

Состав системы стандартов на цифровые топографические данные, их статус и содержание должны быть предметом дискуссии. Обязательным условием в любом случае должны быть публикация и обсуждение предлагаемых решений. Но даже после обсуждения и утверждения стандартов их создание на этом не прекращается, поскольку подобная деятельность «никогда не заканчивается». В процессе использования разработанных стандартов могут происходить их расширение и развитие.

Изложенные выше соображения не отличаются особой новизной и оригинальностью; некоторые из них высказывались раньше. Но сейчас наступил такой момент, когда нерешенность проблемы унификации и стандартизации представления цифровых топографических данных превратилась в фактор, сдерживающий развитие автоматизированного картографирования и геоинформационных технологий.

Высказанные соображения не следует понимать как апологию отказа от унификации программного обеспечения. Речь идет о критике унификации, понимаемой как ограничение числа используемых программных продуктов. Такое ограничение можно называть как угодно, но только не как унификацию. Наши предложения по унификации программного обеспечения были изложены ранее, где отмечалось, что использование при автоматизированном картографировании разнообразных программных средств порождает проблему их информационной совместимости. Поэтому в качестве особой проблемы следует выделить разработку комплексной высокоавтоматизированной технологии создания и обновления цифровых и обычных карт и планов всего масштабного ряда как *информационного конвейера*, охватывающего все технологические процессы, начиная с разработки технических проектов и заканчивая получением расчлененных издательских оригиналов.

В настоящее время есть все необходимые условия для создания такого конвейера: устройства сбора и ввода данных, достаточно мощные ПЭВМ, локальные вычислительные сети, запоминающие устройства большой емкости, устройства вывода высокого разрешения. Таким образом, проблема автоматизации картографирования сводится к разработке программного обеспечения и единых форматов данных как интерфейсов между подсистемами.

9.3. О постановке задачи

Выше было показано, что в первую очередь предметом унификации должно являться представление цифровых данных, а не программное обеспечение. Если мы соглашаемся с данным выводом, то далее мы должны решить вопрос о том, что должны представлять собой геопространственные данные: цифровые модели, цифровые карты или что-то еще. Решение зависит от того, каким образом мы сформулируем задачу.

Системотехника придает исключительное значение постановке задачи. Один из принципов системотехнического подхода к решению задач демонстрируется в [31, с. 105] на примере построения лучшей мышеловки следующим образом: «Первое, что нужно сделать, – это убедиться в том, что мы знаем точно, какую нужду пытаемся утолить, какой цели достичь. ...пожалуй не столь легко решить, что цель эта не обязательно состоит и в постройке лучшей мышеловки. В самом деле, наша главная задача – тем или иным способом избавиться от мышей, и при такой формулировке нам безразлично, ловить ли их, поражать ли электрическим током, топить или морить голодом, – годится все, что избавляет от мышей. Слова, используемые вами при постановке общей задачи, следует выбирать крайне тщательно, чтобы референты этих слов или побочные значения не стесняли вашей мысли или

мысли конструктора, которому вы поручили работу. Неудачное слово может нечаянно направить конструкторскую мысль по ограниченному числу путей и помешать использованию других, не менее желательных и плодотворных».

Таким образом, при постановке задачи число возможных решений возрастает одновременно с общностью и широтой формулировки. С ростом числа ограничений число возможных решений убывает, и может случиться так, что оптимальное решение окажется вне поля зрения исследователя потребностей.

Теперь у нас есть все для уяснения нашей задачи, которая в самом общем виде может быть сформулирована как *обеспечение пользователей цифровыми данными о геопространстве*. При такой постановке задачи *определения информационных потребностей* пользователей в область возможных решений попадают и цифровые карты, и цифровые модели. Остается только выяснить, какое из этих решений наиболее адекватно потребностям многочисленных потенциальных пользователей.

Концепция цифровых карт сформировалась как результат гиперболизации значения картографического изображения. Привычка мыслить в терминах карт и картографической генерализации, фетишизация картографического видения служат для части картографов основанием считать цифровые карты единственно возможной формой существования цифровых данных о геопространстве.

Свой вклад в распространение термина «цифровые карты» внесли и конечные пользователи. Использование цифровых данных о местности до настоящего времени часто сводится к созерцанию картографического изображения на экране дисплея. В итоге в сознании неподготовленного пользователя понятие цифровой карты интуитивно ассоциируется с картографическим изображением.

Пока антропокоммуникация была единственным видом коммуникации, карте, как форме представления сведений о геопространстве, не было альтернатив. Карты до настоящего времени являются лучшим способом передачи информации о геопространстве, если ее получателем является человек. Ранее мы уже говорили о присущем человеку инстинкте картографирования – точном наблюдении и понимании.

Компьютеру для решения прикладных задач на местности совершенно не требуется какое-либо знание о способе обмена сведениями о земной поверхности, принятом между людьми. Протвиеостественно накладывать на компьютерную коммуникацию ограничения и условности, присущие человеческому общению. Предпочтительность использования цифровых моделей местности, как более соответствующих «природе» компьютеров, представляется достаточно очевидной.

Однако, понятие цифровой модели местности, еще встречающееся в публикациях, всего один раз было упомянуто в стандарте [2], а затем переопределено в [4]. В 2003 г. был опубликован отраслевой стандарт [10], вроде бы обозначивший поворот в сторону цифровых моделей местности, после чего это понятие практически исчезло из нормативных документов. Сегодня в

нормативной литературе безраздельно господствуют цифровые карты – суррогат из содержания карты и картографического изображения.

Концепция цифровых карт настойчиво проводится по той причине, что существует еще один вид коммуникации – гетерогенная, коммуникация между человеком и компьютером, когда во весь рост встает проблема построения картографического изображения автоматом в соответствии с содержанием геоинформационной модели.

Самое простое решение этой проблемы – одновременно с оцифровыванием содержания карты оцифровать картографическое изображение, поскольку картометрический способ получения цифровых данных о земной поверхности до недавнего времени был самым распространенным. Именно по этой причине мы встречаемся с прецедентами классификации не объектов местности, а условных знаков; примеры подобной классификации будут приведены ниже. Такое решение нельзя даже назвать некорректным, это решение совсем другой задачи – построения картографического изображения по его формализованному описанию.

Формализованное описание картографического изображения можно относительно легко создать (в диалоговом режиме), имея последнее перед глазами. Создание цифровых карт фотограмметрическим или топометрическим методом представляется более сложной задачей.

Основные принципы, заложенные в цифровую карту, предполагают использование технологической схемы: *источник информации (местность, аэро- и космоснимки, данные лазерного сканирования) → карта → цифровая карта* (I на рис. 9.3). На использование технологической схемы I были ориентированы системы АРКА, РАСТР-2/2П, а теперь и ПАНОРАМА. Более эффективной является схема: *источник информации → геоинформационная модель → карта* (II на рис. 9.3), использовавшаяся в АСК-1 [20] и находящая все большее применение сегодня. В схеме II цифровая (геоинформационная) модель занимает центральное место и является универсальным средством для последующего решения всего спектра прикладных задач, в том числе для создания обычных карт.

Причина, по которой схема I временно получила большее применение, в том, что АСК-1 была реализована на ЕС ЭВМ. Когда персональные компьютеры получили массовое распространение, большие ЭВМ не выдержали конкуренции с ними и повсеместно снимались с эксплуатации. Таким образом, технологическая схема II (или АСК-1) оказалась без программного обеспечения. В то же время в России произошел резкий

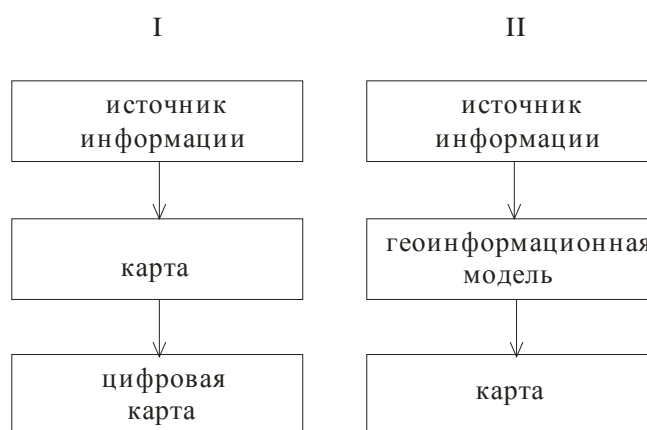


Рис. 9.3. Общие технологические
схемы

экономический спад, и финансирование разработок программного обеспечения для ПЭВМ, ориентированного на технологическую схему II, было осуществлено с большим опозданием. В настоящее время предприятия и организации, занимающиеся картографированием, постепенно переходят на технологическую схему II.

Разработка оптимальной структуры цифровых данных о земной поверхности – достаточно сложная техническая проблема, подтверждением чего служит полемика по форматам данных. Один из методов борьбы со сложностью – использование принципа «разделяй и властвуй». Другой принцип, называемый лезвием или бритвой Оккама, требует «не усложнять сущее сверх необходимого». Эkleктическая смесь из описания содержания карты и описания картографического изображения в цифровых картах приводит к неоправданному усложнению структуры цифровых данных.

Авторы статьи [14] дилемму «цифровые карты – цифровые модели» признают концептуальной, но называют псевдоальтернативой, считая цифровую модель обязательным продуктом. Для автора этих строк также не существует проблемы выбора между геоинформационной моделью и цифровой картой, ее решение представляется очевидным. По нашему мнению, необходимо самым срочным образом реабилитировать цифровые модели местности, которые лучше называть геоинформационными. Однако стандарты и некоторые публикации свидетельствуют о существовании противоположной точки зрения. Поэтому далее мы должны проанализировать достоинства и недостатки карт, цифровых карт и цифровых моделей.

9.4. Сравнительный анализ цифровых карт и цифровых моделей

Наиболее трудной проблемой при проектировании унифицированной технологии является разработка решений по внешнему представлению цифровых топографических данных, называемому обменным форматом. В сущности, указанное внешнее представление должно трактоваться как межсистемный интерфейс.

Решение проблемы разработки содержания и структуры цифровых данных о геопространстве определяет сложность создания и эффективность функционирования федеральных и региональных *геоинформационных фондов*, являющихся важным компонентом *национальных информационных ресурсов*. Качество цифровых топографических данных, их содержание и структура являются наиболее важными факторами, определяющими свойства *единого геоинформационного пространства*.

В процессе унификации представления цифровых топографических данных прежде всего необходимо решить, что они должны собой представлять: геоинформационную модель или цифровую карту. Данный вопрос возникает в связи с тем, что центры геоинформатики и предприятия Роскартографии в настоящее время заняты массовым производством цифровых топографических карт. Практически во всех руководящих документах в качестве цифровой топографической продукции рассматриваются цифровые топографические карты.

Но именно геоинформационные модели должны быть обязательным продуктом топографо-геодезического производства.

Понятие цифровой карты и концепция цифрового картографирования возникли одновременно с созданием системы АРКА. Чтобы понять, почему в цифровом картографировании используются именно такая концепция и соответствующая терминология, необходимо учитывать, что методология картографирования территории страны в средних и мелких масштабах, определение всех требований к картам, в том числе к их точности, содержанию и оформлению, находятся в компетенции ВТУ. Им же определяются требования в области цифрового картографирования в мелких и средних масштабах.

Если внимательно прочитать определения понятий «цифровая модель» и «цифровая карта» в [4], то становится очевидно, что это разные сущности. В определении цифровой модели имплицитно предполагается, что объекты земной поверхности и отношения между ними существуют объективно, независимо от чего-либо или кого-либо.

Понятие цифровой карты, согласно определению [4], является особым случаем цифровой модели, когда на цифровую модель накладывается дополнительное требование: ее содержание должно формироваться с учетом законов картографической генерализации. Таким образом, цифровые модели земной поверхности содержат описание реального мира, а цифровые карты – описание мира, отображаемого (или уже отображенного) на картах. Если говорить строго, то это разные миры.

Цифровые карты являются цифровыми моделями обычных карт и наследуют все свойства последних. Поэтому необходимо рассмотреть достоинства и недостатки карт и цифровых моделей, как способов представления информации о геопространстве и геосистемах.

Вначале отметим сходство, общие черты обычных карт и цифровых моделей земной поверхности. Прежде всего, и те, и другие являются *моделями*. В отличие от *законов*, модели не претендуют на точное воспроизведение действительности и являются лишь ее некоторым приближением. Модели допускают качественные сравнения, могут быть лучше или хуже, тогда как законы могут быть либо правильными, либо неправильными. Одной из основных причин использования моделей является упрощение сложных для изучения объектов. Поэтому модель почти всегда проще объекта.

Рассматривая цифровые карты – цифровые модели обычных карт, необходимо учитывать, что карты являются *гомоморфным отображением* земной поверхности, то есть таким отображением, когда одному объекту карты (образа) может соответствовать несколько объектов картографируемой поверхности (прообраза). Так, на карте несколько городских кварталов могут быть объединены в один. В кварталах с плотной застройкой рядом стоящие здания могут изображаться как одно здание. Некоторое количество небольших участков леса может представляться как объект «редколесье» и т. п. В целом присущий картам гомоморфизм можно считать их серьезным недостатком.

Данные примеры являются частными случаями *геометрической генерализации*. Кроме геометрической генерализации, существует

семантическая, когда объекты с несколько различающимися значениями свойств показываются на карте или плане как имеющие одно обобщенное значение, например, кирпичные, каменные и панельные здания изображаются как огнестойкие, а деревянные или саманные – как неогнестойкие.

Цифровые модели местности способны отображать земную поверхность с точностью до *изоморфизма*, разумеется, с некоторой степенью огрубления действительности, присущей методу моделирования как таковому. Различия между гомоморфными и изоморфными отображениями являются *фундаментальными*. Следовательно, таковы же различия между цифровыми картами и цифровыми (геоинформационными) моделями.

Радикальные различия между цифровыми картами и цифровыми моделями связаны также с различиями в их разрешающей способности. В определении цифровой карты неявно присутствует понятие масштаба, поскольку картографическую генерализацию можно осуществлять не вообще, а применительно к конкретному масштабу.

Геометрическая генерализация обусловлена недостаточной разрешающей способностью человеческого глаза (около $1'$, что соответствует примерно 0,1 мм при рассматривании изображения на расстоянии 30–35 см). Если расстояние между двумя точками на карте менее 0,1 мм, то человеческий глаз воспринимает их как одну точку. Минимальное расстояние между двумя точками на местности, которые на карте масштаба $1 : M$ могут быть представлены как различающиеся точки, составляет $0,0001 \times M$ м. Эта величина определяется как *точность масштаба* $1 : M$. Таким образом, точность (разрешение) карты и, соответственно, цифровой карты является функцией масштаба и разрешения человеческого глаза. Важно то, что этот показатель – геометрическое разрешение карты – не может быть улучшен, поскольку в действительности это разрешение не карты, а человеческого глаза.

Семантическая генерализация объясняется другими особенностями человеческого восприятия и вызвана невозможностью отображения на небольшом участке бумаги множества типов объектов и их свойств с помощью скудного (по сравнению с многообразием реального мира) набора графических переменных, имеющих в распоряжении картографа. Указанную особенность карт можно рассматривать как своего рода разрешающую способность. На основании данных соображений можно говорить как о *геометрическом*, так и *семантическом разрешении* карт, если под последним понимать способность карт передавать смысловые оттенки.

Кроме того, необходимость семантической генерализации связана с ограничениями человеческой памяти. Условные знаки [27], например, содержат 285 страниц, и едва ли найдется специалист с многолетним стажем, помнящий все детали и тонкости их применения. Существует определенный предел для числа типов объектов и их характеристик, отображаемых на картах и планах, превышение которого снижает *понимаемость* картографического изображения. В отличие от человека, компьютер ничего не забывает и при необходимости может легко решить задачу семантической генерализации на основе отношения таксономии.

Для цифровых моделей понятие масштаба не применимо, но они также характеризуются геометрической и семантической разрешающей способностью. Поэтому любые утверждения о цифровых картах масштаба $1 : M$ следует понимать как утверждения о цифровых картах, содержание и точность которых соответствует картам масштаба $1 : M$.

Геометрическое разрешение геоинформационной модели определяется минимальным расстоянием между двумя точками на моделируемой поверхности (или в пространстве), представление значений координат которых в памяти ЭВМ различно. Если для представления значений координат в памяти ЭВМ отводится n двоичных разрядов (рис. 9.4), то геометрическое разрешение будет равно расстоянию на местности, соответствующему единице младшего разряда в представлении числа.

Таким образом, геометрическое разрешение цифровой модели является функцией от количества двоичных разрядов памяти ЭВМ, используемых для представления значений координат. Очевидна также связь между количеством используемых двоичных разрядов для представления чисел и количеством значащих цифр в этих числах. В отличие от

$$\begin{array}{cccccc} a_{n-1} & a_{n-2} & \dots & a_2 & a_1 & 0 \\ a_{n-1} & a_{n-2} & \dots & a_2 & a_1 & 1 \end{array}$$

Рис. 9.4. К понятию геометрического разрешения

геометрического разрешения карт геометрическое разрешение геоинформационных моделей может быть улучшено, для чего достаточно увеличить число двоичных разрядов, отводимых для представления координат. При использовании традиционных карт для увеличения геометрического разрешения приходится увеличивать их масштаб. С точки зрения геометрического разрешения, обычные карты подобны аэро- или космоснимкам земной поверхности.

Геометрическое разрешение и точность планов самого крупного масштаба ($1 : 500$) составляют 5 см, а высоты точек земной поверхности показываются на них с точностью 1 см или грубее. Если координаты точек представлять как целые числа длиной 4 байта, то легко посчитать, что координаты любой точки земной поверхности могут быть представлены в единой системе координат с ошибкой менее 1 см. Такое разрешение соответствовало бы разрешению планов масштаба $1 : 100$. Для представления высоты (или глубины) любой точки земной поверхности с ошибкой порядка 1 мм требуется 3 байта. Данного разрешения достаточно не только для целей картографирования, но и для решения подавляющего большинства практических задач.

Отсюда следует, что карты и планы, являющиеся аналоговыми моделями, могут рассматриваться как дискретные модели, разрешение которых в плане равно $0,1 \times M$ мм, где M – знаменатель масштаба, а по высоте составляет 1 см.

Понятие *семантического разрешения цифровой модели* характеризует ее способность отображать многообразие моделируемых объектов, а также значений их качественных и количественных свойств. Необходимое семантическое разрешение достигается тем же способом, что и повышение

геометрического разрешения, – увеличением числа двоичных разрядов, выделяемых для представления значений свойств или их кодов.

Если для представления некоторой качественной характеристики объекта отводится n двоичных разрядов, то такая характеристика может принимать 2^n значений, одно из которых, например, 0 может обозначать неизвестное значение. Пусть, например, для представления свойства «материал» объекта «здание, постройка» отводится 1 бит. Тогда можно представить только два значения свойства «материал», например, «неогнестойкое» и «огнестойкое». Если под данное свойство будет отведено 3 бита, то можно представить 8 значений, например, «неизвестное значение», «глинобитный», «деревянный», «шлакоблочный», «кирпичный», «каменный» «бетонный» и «железобетонный».

В обоих случаях, то есть при создании геоинформационной модели и при создании карты, разумно перечисленные значения некоторым образом *упорядочить*, например, по возрастанию прочности материала. Тогда при создании геоинформационной модели каждому значению материала можно поставить в соответствие целое число таким образом, что чем прочнее материал, тем больше число, его обозначающее. Такое решение позволило бы любой программе в дальнейшем без труда сравнивать материал разных построек.

Для отображения указанного свойства (материала постройки) на карте может быть использована надпись. Надписи – универсальное средство для представления любых значений любых свойств. Но недостаток надписей в том, что они не наглядны. Если бы мы захотели определить преобладающий материал построек на некотором участке местности, то нам пришлось бы отыскивать их на картографическом изображении и подсчитывать частоту каждого значения.

Если бы мы использовали для той же цели другое изобразительное средство (графическую переменную), например, заливку или штриховку, то карту или план можно было бы сделать более наглядными. Данный пример представляет интерес по той причине, что независимо от способа изображения материала постройки (надпись, штриховка или заливка) *содержание карты* остается одним и тем же, но *содержание цифровой карты* при этом изменяется. Напомним, что, с одной стороны, имеется дефиниция цифровой карты как цифровой картографической модели, содержание которой соответствует содержанию карты определенного вида и масштаба [4, с. 2], а с другой стороны, дается уточнение в виде примечания: *надпись является объектом цифровой или электронной карты* [4, с 3].

Продолжим последний пример. При любом способе отображения материала построек, чтобы сделать карту более наглядной, картографу придется размышлять над тем, каким образом передать эту упорядоченность значений, «фундаментальность» построек. Картограф может использовать для передачи материала разные цвета или разную насыщенность какого-то одного цвета. Поскольку человеческая психика устроена так, что более насыщенные изображения объектов человек трактует как более высокую степень их надежности, прочности или стабильности, постольку картограф, используя

заливку, скорее всего, выберет ее примерно такой, какой она представлена на рис. 9.5.

Штриховка обладает несколькими параметрами: толщина, ориентация и цвет линий, расстояние между линиями (частота линий), сигнатура (стиль) линии. Картографу придется размышлять над тем, какой из этих параметров штриховки или их комбинацию выбрать для отображения материала построек. Ниже приводятся

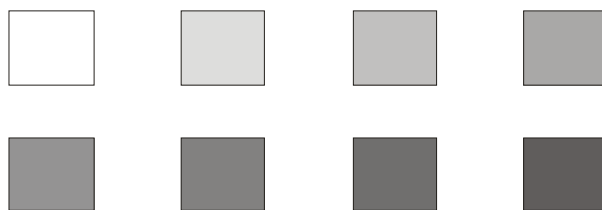


Рис. 9.5. Использование заливки

примеры использования параметров штриховки (рис. 9.6–9.9), в том числе не самые удачные, чтобы показать, что понимаемость карты зависит от числа значений некоторого свойства или количества разновидностей объектов, которые должны быть отображены на карте, и от квалификации ее создателя. Большое число значений градации свойства трудно запомнить, а следовательно, и трудно понимать. Психологами было установлено, что оптимальным для человека является число различаемых типов или объектов, их свойств, равное 7 ± 2 .

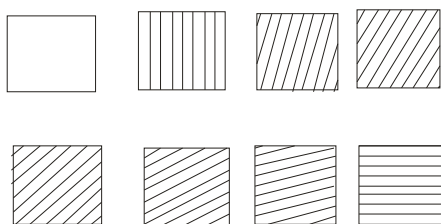


Рис. 9.6. Использование наклона штриховки

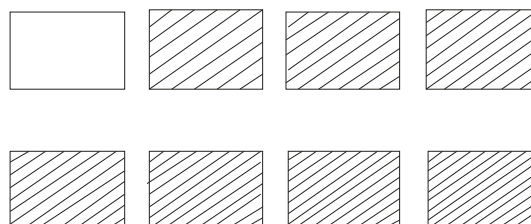


Рис. 9.7. Использование частоты штриховки (пример 1)

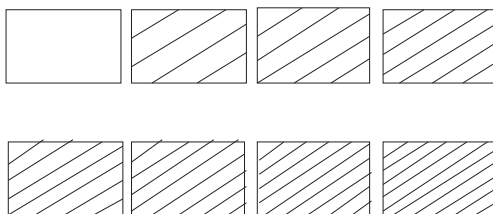


Рис. 9.8. Использование частоты штриховки (пример 2)

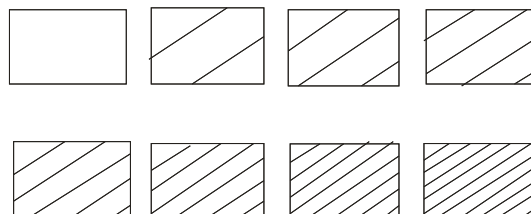


Рис. 9.9. Использование частоты штриховки (пример 3)

Поэтому картографическая генерализация используется не только для отсеивания малоценной информации. В рассматриваемом примере разновидностей материала могло быть больше, например, постройки из металла, здания из металла и стекла, смешанные строения и т. п. Следовательно, семантическая генерализация применяется также в тех случаях, когда количество типов объектов или число значений их свойств слишком большое по сравнению с числом графических переменных. Представим, что требуется

отобразить на карте или плане, кроме традиционных, еще 20 или 30 характеристик каждого жилого здания (форма крыши, цвет здания, наличие подвала, год постройки, время последнего капремонта, потребление электроэнергии, воды и тепла, суммарная задолженность по квартплате, число жильцов, число мужчин, женщин, детей и пенсионеров, число стационарных телефонов, число принадлежащих жильцам автомобилей, уровень доходов, средний возраст, число имеющих судимости, число больных и т. д. и т. п.).

Рассмотрим, каким образом на топографических картах отображаются, например, населенные пункты и число жителей в них. Для отображения городов и населенных пунктов на картах мелкого масштаба используются кружки, размеры которых тем больше, чем больше число жителей. В пределах России эта характеристика выражается любым целым числом в диапазоне от нескольких человек до нескольких миллионов человек. Чтобы показать на карте число жителей, осуществляется градация населенных пунктов по числу жителей (до 100, от 100 до 1 000, от 1 000 до 10 000 и т. д.). и отображается не фактическое число жителей, а принадлежность населенного пункта к той или иной группе. На картах разных масштабов градация городов и других типов объектов осуществляется по-разному. Таким образом, генерализация осуществляется и тогда, когда возникают проблемы с представлением точных значений некоторых свойств или с представлением разновидностей объектов.

Кроме того, использование любой проекции, как уже отмечалось выше, искажает взаимное положение объектов на изображении по сравнению с их положением на отображаемой поверхности. В конформной проекции Гаусса – Крюгера, используемой в нашей стране, относительные искажения длин линий на краях шестиградусных зон достигают величины порядка 1 : 1 200, то есть ошибка линии длиной 1 200 м составляет 1 м. (Работники земельных комитетов рассказывают истории о том, что владельцы земельных участков судятся иногда годами из-за 10 см.)

Таким образом, картографическое изображение и его цифровая модель – цифровая карта – неразрывно связаны с искажениями, обусловленными картографической генерализацией и используемой проекцией. В качестве общего названия этих искажений будем использовать термин *«картографическая аберрация»*.

Также необходимо сказать о нарезке цифровых карт. Необходимость нарезки карт и размеры их листов связаны с ... длиной рук человека, карту должно быть удобно брать в руки. Согласно ГОСТ [4] цифровые карты также должны «нарезаться» – изготавливаться по номенклатурным листам. Если пользователя интересует территория, изображенная на нескольких листах карты, то эти листы часто склеиваются. Аналогичным образом придется поступать с цифровыми картами, поскольку пользователю необходима единая модель интересующей его территории.

При решении прикладных задач может возникнуть *необходимость представления объектов земной поверхности в единой модели с различной точностью и степенью детализации*. Так, на территорию в радиусе нескольких сот метров от источника экологической опасности могут требоваться планы

масштаба 1 : 500, в радиусе нескольких километров – планы масштаба 1 : 2 000, а на удалении нескольких десятков километров – карты среднего масштаба, допустим, 1 : 25 000. Разнородные данные могут быть интегрированы в единую цифровую модель без какого-либо дублирования информации. При необходимости построения картографического изображения в масштабе 1 : 25 000 на экране дисплея генерализация могла бы осуществляться «на лету». Использование цифровых карт в подобных ситуациях сопровождается неизбежным дублированием данных, что влечет за собой определенные неудобства.

Концепция цифровых карт в целом представляется неадекватной информационным потребностям пользователей. С термином «цифровые карты» можно было бы согласиться как с образным выражением, метафорой, но он трактуется слишком буквально, причем не только случайными пользователями.

Представления о потребительских свойствах карт, требования к картам формировались в течение длительного периода, когда карты создавались человеком и предназначались для человека; они (требования) вполне разумны. Но неразумно требования к картам механически распространять на цифровые данные. Цифровые данные создаются человеко-машинной системой и предназначены для восприятия другой человеко-машинной системой, и машина при этом играет роль посредника между данными и человеком. Пожалуй, единственным недостатком цифровых данных является невозможность их непосредственного восприятия человеком.

В словосочетании «цифровые карты» основной смысл несет слово «карты», а определение «цифровые» играет уточняющую роль, выделяет некоторую разновидность карт. Согласно [1], карта – это «построенное в картографической проекции, уменьшенное, обобщенное изображение поверхности...». Таким образом, цифровые карты – это те же карты, но цифровые. Терминология направляет наше мышление.

Трюизмом представляется утверждение о необходимости различения содержания карты (обозначаемого) и картографического изображения (обозначающего). Однако на практике смешивание этих двух аспектов носит массовый характер.

Самой распространенной ошибкой является трактовка надписей как элементов содержания. Хотя надпись – элемент изображения, сплошь и рядом можно встретить либо слой, либо объект «надпись». Эта ошибка была закреплена стандартом [4]. В некоторых системах можно даже встретить категорические требования размещать надписи строго на тех местах, где они изображены на исходном картографическом материале.

Понимание цифровых карт как картографического изображения находит свое отражение и в практике использования различных программных средств для моделирования геопространства. Так, например, являются неразумными требования точного соответствия положения заполняющих условных знаков на изображении площадных объектов (луг, болото, редколесье и т. п.) их положению на исходной карте. Еще недавно существовали требования по

оцифровыванию сетки прямоугольных координат в проекции Гаусса – Крюгера и сетки геодезических координат (система АРКА), хотя их изображение может быть получено программным путем.

Среди объектов цифровой карты можно встретить строения, расположенные в плотной застройке, расположенные в неплотной застройке и удаленные от населенного пункта. Объяснение такой классификации заключается в использовании для невыражающихся в масштабе карты строений прямоугольников трех размеров [28, с. 46]. Прямоугольники малого размера служат для показа строений в кварталах с плотной застройкой; среднего размера – для строений в кварталах с редкой застройкой и большого размера – для строений вне населенных пунктов. Принцип разумен и очевиден: чем меньше места на карте, тем меньше размеры условного знака.

В цифровых картах строения классифицируются (система РАСТР-2) не только по своим свойствам, но и по способу их изображения на карте; последний зависит от свободного места на бумаге. Таким образом, классификация строений определяется свободным местом на бумаге. Невероятно, но факт.

Государственные или административные границы, проходящие по руслу узких рек, дамбам, дорогам на картах принято изображать поочередно по обеим их сторонам. Так они представляются и в цифровых картах, то есть опять-таки передается изображение, а не содержание. По аналогичному признаку различаются такие объекты, как зимняя дорога по льду водоема или водотока, участок зимника по узкой реке.

Предмет особого разговора – представление рельефа в цифровых картах. На местности нет таких объектов, как бергштрихи, но в цифровых картах они присутствуют. Горизонтالي – элемент картографического изображения и вполне характеризуются своим значением высоты, однако в цифровых картах их не только хранят, но и подразделяют на основные утолщенные, основные, дополнительные и вспомогательные. Для эффективного решения любых задач на рельефе, включая автоматическое построение изолиний, требуется его представление в виде плотной регулярной сетки или более редкой нерегулярной сетки треугольников с вершинами в характерных точках рельефа. Но цифровая модель топографической поверхности в цифровых картах отсутствует.

Примеры можно продолжить, но и перечисленных достаточно, чтобы понять принципиальную ошибку при создании цифровых карт: *описываются не объекты земной поверхности, а объекты карты* (условные знаки, картографическое изображение). Более того, стандарт требует: «между условным знаком и объектом Классификатора топографической информации должно устанавливаться однозначное соответствие» [3, с. 7]. Таким образом, классификатор *топографической* информации оказывается ни чем иным, как *классификатором условных знаков*.

Наконец, надо сопоставить точность традиционных карт с требованиями их точного оцифровывания и внести некоторую ясность в точность цифровых карт. Автору этих строк пришлось быть свидетелем обсуждения качества первого листа карты, полученного автоматизированным способом, в одном из

ведущих аэрогеодезических предприятий. В обсуждении принимали участие наиболее квалифицированные картографы предприятия, человек 5–6.

Среди разных замечаний к качеству картографического изображения было предложение выровнять условные знаки зданий по линии квартальной застройки, чтобы сделать изображение «более красивым». Поэтому в ходе дискуссии возник вопрос о соотношении критерия точности и эстетических критериев. Все участвовавшие в обсуждении картографы отдали приоритет эстетическим критериям: карты должны быть «красивыми».

По таким же соображениям выполняется так называемая укладка горизонталей. Фотограмметристы не без ущерба для зрения отслеживают горизонталю с максимально возможной точностью. После этого картограф берет составительский оригинал и, не видя местности, начинает править изображение горизонталей так, как они должны проходить по его представлениям. Необходимость укладки горизонталей объясняют тем, что после такой операции рельеф будет лучше читаться. По нашему мнению, если человек свободно читает рельеф, то укладка горизонталей никак не сказывается на этой его способности. Но если человек не может читать рельеф по карте, то укладка горизонталей ему не помогает.

В процессе генерализации при получении карт мелкого масштаба по картам более крупного масштаба также вносятся сильные искажения. Читатели могут выполнить эксперимент по оценке точности рельефа, например, на картах масштаба 1 : 50 000 или 1 : 100 000. Для этого достаточно оцифровать горизонталю на карте масштаба 1 : 25 000, а затем наложить их векторное изображение на растровое изображение соответствующего листа карты масштаба 1 : 50 000 или 1 : 100 000. В выполненном нами эксперименте максимальные ошибки горизонталей на карте более мелкого масштаба иногда составляли 2–3 высоты сечения рельефа горизонталями. (Наш эксперимент выполнялся по картам, покрывающим некоторые участки хребта Сихотэ-Алинь.)

В одном из аэрогеодезических предприятий при обновлении карт масштаба 1 : 1 000 000 по космоснимкам примерно такого же масштаба было обнаружено, что на одном из листов карты имелось множество озер, отсутствовавших на космоснимках. В результате анализа причин было установлено, что карты создавались по традиционной технологии и исходными служили карты масштаба 1 : 100 000. По ним методом генерализации были созданы карты масштаба 1 : 200 000. Озера были отнесены к важным объектам и их размеры были несколько преувеличены. Затем по картам масштаба 1 : 200 000 таким же методом были созданы карты масштаба 1 : 500 000, а уже по ним – карта масштаба 1 : 1 000 000. На каждом из этапов никто не обратился к первоисточнику – картам масштаба 1 : 100 000 и площади озер несколько преувеличивались. В итоге площади озер на карте масштаба 1 : 1 000 000 превышали фактические в несколько десятков раз. (Историю отображения на картах Арала – когда его площадь сократилась едва ли не вдвое, а на картах он упорно изображался в прежних границах – обсуждать не будем, так как там были другие причины.)

Карта – это специфическая модель земной поверхности. Цифровая карта является моделью карты, то есть моделью модели, и сохраняет способность в той или иной мере описывать картографируемую поверхность только благодаря свойству *транзитивности отношения моделирования*: если объект *A* является моделью объекта *B*, и объект *B* служит моделью объекта *C*, то *A* является также моделью *C*.

Цифровая карта является моделью, искаженной картографической абберацией. Цифровые карты – это насильственное принуждение пользователя к картографическому видению, даже если в этом нет никакой необходимости. Например, у пользователей может быть своя собственная градация населенных пунктов, рек, дорог и любых других объектов, однако на картах точные значения их некоторых свойств обычно отсутствуют.

Трактовка цифровой карты как картографического изображения неизбежно приводит к выводу о необязательности обеспечения топологической корректности геометрических данных. Линии имеют определенную толщину, поэтому при вычерчивании карты или плана две близко расположенные точки могут восприниматься как одна, и картографическое изображение будет вполне корректным. Однако решение прикладных задач по топологически некорректным геопространственным данным может давать самые невероятные результаты.

Топологическая корректность несовместима с понятием допуска. Именно этот недостаток для цифровых карт, созданных в системе АРКА, явился причиной их низкого качества. На какую бы малую величину ни различались координаты двух вершин графа, с топологической точки зрения – это разные вершины. Две точки, заданные своими координатами, могут рассматриваться как одна только при условии *абсолютного равенства* их координат. Проблема топологической корректности геометрических данных не сводится только к рассмотренному аспекту и достаточно обсуждалась в публикациях.

В этой связи можно напомнить об одной истории разработки транслятора, описанной таким авторитетом в мире программирования, как Дейкстра. Операции над вещественными числами являются приближенными, и их результат содержит некоторую ошибку округления. Поэтому в процессе разработки было принято решение считать два вещественных числа равными, если их мантиссы отличаются на единицу последнего разряда. Но затем от принятого решения пришлось отказаться, так как возникали случаи, когда выполнялись соотношения $a = b$ и $b = c$, но при этом оказывалось, что $a \neq c$. Столь же нелепые случаи могут возникать при решении задач с использованием цифровых карт, не отвечающих требованию представления топологических отношений.

9.5. Принципы унификации цифровых топографических данных

Отсутствие стандартов на содержание и форму представления цифровых топографических данных – основу геоинформационных систем – негативно влияет на внедрение, развитие и экономическую эффективность геоинформационных технологий. Как ни странно, данное обстоятельство имеет

и позитивную сторону. Концепция классификаторов топографической (картографической) информации, лежащая в основе подобных стандартов, со времени своего возникновения успела устареть.

Разработка нормативных документов на содержание и представление цифровых топографических данных является самой актуальной задачей. На основе анализа существующих стандартов, содержания различных классификаторов картографической информации, изучения требований потребителей к цифровым топографическим данным можно сформулировать следующие принципы, которые должны быть положены в основу нормативных документов, регламентирующих представление цифровых топографических данных.

1. *Принцип единства.* Нормативные документы по представлению цифровых топографических данных должны разрабатываться как система государственных стандартов, соблюдение которых является обязательным при распространении цифровых топографических данных на территории России. Разработка отраслевых стандартов в данном случае представляется паллиативом.

2. *Принцип полноты.* Система документов должна определять содержание цифровых топографических данных для всего масштабного ряда.

3. *Принцип системности.* Система кодирования и формат представления цифровых топографических данных должны быть едиными для всего масштабного ряда.

4. *Принцип однозначности.* Система кодирования цифровых топографических данных должна быть контекстнонезависимой, исключать возможность неоднозначной интерпретации цифровых топографических данных принимающими системами.

5. *Принцип расширяемости.* Система кодирования должна обеспечивать возможность добавления новых типов объектов, свойств и отношений; быть пригодной для представления нетопографических цифровых данных.

6. *Принцип модифицируемости.* При изменениях в системе кодирования и в представлении цифровых топографических данных должна обеспечиваться относительная простота модификации программного обеспечения. Иначе, при разработке стандартов представления цифровых топографических данных необходимо предвидеть характер будущих изменений и принимать адекватные этим изменениям решения.

7. *Принцип технологичности.* Содержание и формат цифровых топографических данных не должны зависеть от технологии их получения, обеспечивать возможность получения цифровых топографических данных фотограмметрическим, топометрическим и картометрическим методами.

8. *Принцип функциональности.* В основу классификации объектов земной поверхности должен быть положен приоритет имманентных свойств – функционального назначения для искусственных объектов и природной сущности для естественных, а не второстепенные признаки (геометрические параметры и др.). И тем более – не особенности их картографического отображения. Представление должно содержать перечень концептов, а не знаков,

используемых для их обозначения. Картографическая классификация объектов геопространства может использоваться в автоматизированных картографических системах.

Некоторые геоинформационные системы вообще обходятся без классификаторов. Все объекты в них представляются на одном уровне, следовательно, все они являются элементарными, и существование составных объектов невозможно в принципе. Очевидно, что функциональные возможности таких систем по обработке семантической информации будут крайне ограниченными.

9. *Принцип семантизации.* Анализ классификаторов (см. раздел 9.10) и их сопоставление с требованиями к цифровым топографическим данным со стороны потребителей позволяют сделать вывод о том, что система нормативных документов о содержании цифровых топографических данных должна представлять собой требования к базам знаний – формализованному описанию концептуальных представлений о местности как целостной системе объектов, их свойств и отношений.

Система стандартов должна основываться на *прогрессивных принципах*, а не на морально устаревших концепциях. Сегодня актуальной является проблема разработки не геоинформационных систем, а интеллектуальных геоинформационных систем. Нормативной базой интеллектуальных систем геомоделирования должны быть не классификаторы топографической (картографической) информации, а базы знаний.

Данный принцип может быть также назван *принципом концептуализации*.

10. *Принцип разделения топографических и картографических знаний.* Решение проблемы унификации представления цифровых топографических данных и картографических изображений должно осуществляться на основе топографических и картографических знаний.

Разделение знаний на топографические и картографические является обязательным условием успешного развития систем геомоделирования. *Топографические знания* включают в себя описание абстрактных объектов местности, их свойств и отношений. При создании топографических знаний мы абстрагируемся от способов отображения предметной области на картах или планах и, в известной мере, даже от самого факта такого отображения. Таким образом, топографические знания – это абстрактное содержание топографических карт. *Картографические знания* содержат описание способов отображения содержания карт с помощью изобразительных средств.

Данный подход к представлению семантической информации и принципы построения систем картографического отображения могут быть легко распространены на другие типы карт. Более того, они могут использоваться при создании интегрированных ГИС.

Содержание и структура топографических и картографических знаний рассматриваются далее.

11. *Принцип конкретизации* (детализации). Представления только общих понятий в геоинформационных и картографических системах недостаточно,

обязательным условием их успешного применения является представление уточняющих понятий и необходимых типов отношений.

9.6. Специфика систем геомоделирования

Совершенствование технических систем, развитие их функциональных возможностей является предметом постоянной заботы разработчиков. И в этом отношении автоматизированные системы картографирования и геоинформационные системы не являются исключением.

Наиболее актуальными технологическими проблемами топографо-геодезического и картографического производства сегодня являются разработка и внедрение:

- 1) систем автономного определения координат;
- 2) технологий цифровой фотограмметрии;
- 3) лазерных сканирующих систем;
- 4) интеллектуальных систем геомоделирования.

Важность решения трех первых задач осознана практически всеми. Актуальность решения последней проблемы не столь очевидна, в результате чего данное направление сегодня практически полностью игнорируется. В своем развитии автоматизированные картографические системы и ГИС сегодня подошли к пределу, за которым дальнейшее повышение их эффективности может быть достигнуто только в результате переосмысления основных концепций и принципов создания, их структуры и функций.

Методологической основой дальнейшего развития возможностей систем геомоделирования в настоящее время являются методы искусственного интеллекта. В общих чертах проблема интеллектуализации систем геомоделирования сводится к автоматизации тех функций, которые до этого мог выполнять только человек. Таким образом, результатом интеллектуализации систем геомоделирования является повышение коэффициента автоматизации, а уже на его основе – повышение производительности систем геоинформационного моделирования.

Интеллектуальные системы являются тем направлением в геомоделировании, развитие которого требует самых серьезных усилий. *Интеллектуализация систем геоинформационного моделирования может быть отнесена к стратегически важным проблемам в геоинформатике и картографии.* Практическим результатом реализации данной идеи будут более высокие темпы геоинформатизации в России.

Однако, как геоинформатика, так и искусственный интеллект являются относительно новыми сферами человеческой деятельности, развивавшимися до сих пор независимо друг от друга. Дискуссии о предмете их исследований продолжаются до сих пор. По этой причине прежде всего необходимо рассмотреть именно эти вопросы.

Геопространственные данные используются многими автоматизированными системами. Поэтому некоторые типы автоматизированных систем содержат пространственную компоненту: АСУ, АСУТП, САПР объектов строительства, автоматизированные навигационные

системы. С другой стороны, практика эксплуатации различных геоинформационных систем свидетельствует о том, что они используются как САПР или автоматизированные системы управления, в которых окончательное решение принимается человеком.

Далее мы будем рассматривать автоматизированные картографические и геоинформационные системы общего назначения, для которых требование адаптируемости имеет чрезвычайно важное значение в силу их особенностей.

В настоящее время в геоинформатике наметилась тенденция к интеграции данных. Территория используется коллективно даже при частной собственности на землю. Расположенные на территории объекты имеют множество разнообразных межобъектных связей. Их собственники в процессе своей деятельности вынуждены взаимодействовать между собой и с территориальными администрациями различного уровня. Это взаимодействие осуществляется и в информационном плане.

Таким образом, информация о территории имеет общественный характер, представляет общественный интерес и должна быть ресурсом совместного использования. Она может поступать из одного множества организаций – источников информации, а использоваться другим множеством – потребителями информации. В общем случае эти множества не совпадают, а пересекаются.

Необходимость интеграции данных о земной поверхности наиболее актуальна для муниципальных ГИС и ГИС субъектов федерации. Территория современного крупного города представляет собой сложноорганизованный антропотехнический комплекс. Управление его функционированием и развитием является сложной задачей, требующей применения адекватных средств и методов. Поэтому наиболее заинтересованной стороной в создании городских или муниципальных ГИС являются городские и районные администрации. Это обстоятельство является благоприятной предпосылкой для централизации управления геоинформационными ресурсами. Понимание сложности проблем управления и развития инфраструктуры современных городов, в которых проживает большая часть населения России, нашло отражение в принятии закона о градостроительном кадастре.

Экономическая эффективность совместного использования информации установлена давно. Информация является неистощаемым ресурсом. Более того, видимо, можно считать, что она обладает *синергетическим эффектом*, проявляющимся в том, что целое больше суммы его частей, так как ценность информации возрастает с увеличением ее объема.

Тенденция к интеграции отчетливо прослеживается в истории развития программного обеспечения для решения задач обработки данных. Появление концепции систем управления базами данных было вызвано необходимостью централизации управления данными как ресурсом и, с другой стороны, стремлением обеспечить независимость программ от будущих изменений в структуре данных. В результате на смену традиционному сочетанию «данные + программы» пришла организация систем обработки данных в виде комплекса «данные + описание данных + механизм доступа к данным + программы».

Хотя необходимость централизации управления данными как ресурсом осознана сравнительно давно, появление персональных компьютеров повлияло на эту тенденцию негативным образом. В качестве основного преимущества ПЭВМ перед большими ЭВМ указывалась информационная независимость конечных пользователей, возможность так называемых «персональных» вычислений, ведения личных баз данных и т. п.

С ростом мощности персональных компьютеров происходила переоценка ценностей. В настоящее время эйфория относительно ценности персональных вычислений прошла, и отсутствие, например, корпоративных вычислительных сетей рассматривается как несоответствие современному уровню обработки данных и неэффективное использование вычислительных мощностей организации. «Персональные» ГИС сегодня следует расценивать как исчерпавшие свои возможности.

Таким же образом коллективное использование геоинформации предполагает централизованное управление ею, а не просто информационный обмен между заинтересованными сторонами.

В зависимости от того, каким образом мы определим информационные потребности, будет решаться вопрос о том, должны ли ГИС быть персональными или коллективными, универсальными или специализированными. Среди разработчиков систем существуют две противоположные точки зрения. По мнению автора, проблема разработки геоинформационной системы, определения ее назначения и функций должна формулироваться в наиболее общем виде: современная система геоинформационного моделирования должна обеспечивать возможность интеграции разнообразных данных о местности и получения планов и карт любого масштаба и содержания.

В подтверждение такой точки зрения можно привести тот факт, что для решения разнообразных прикладных задач, решаемых многочисленными категориями пользователей и связанных с территорией, одной только топографической информации недостаточно. Общеизвестно, что многие организации вынуждены дополнять ее специфической информацией.

Эксплуатация большого числа разнородных банков данных о территории порождает трудности, связанные с информационной несовместимостью систем вследствие различий в идеологии используемых СУБД, структурах данных, языках описания данных, содержании и оформлении карт и т. п. Неуправляемая и некоординируемая разработка множества специализированных банков данных на территорию и их эксплуатация приведут к тому, что многие конечные пользователи неизбежно окажутся перед необходимостью сопряжения своей автоматизированной системы, как правило, с несколькими разнородными базами данных о территории. Но поскольку проблема интеграции неоднородных баз данных считается трудной технической задачей [16], то последствия такой автоматизации нетрудно предсказать.

Кроме того, при наличии многих банков данных на территорию возникнут проблемы, связанные с дублированием информации и необходимостью одновременного обновления данных, внесения сведений о произошедших на местности изменениях. Поскольку синхронное обновление данных в реальных

условиях проблематично, то неизбежно возникновение ситуации, когда в различных банках данных будут храниться взаимно противоречивые сведения.

В качестве аргумента в пользу специализированных банков данных о местности иногда выдвигается проблема ответственности за достоверность данных. По нашему мнению, эти опасения преувеличены. Распределение ответственности за правильность данных должно осуществляться очевидным образом: поставщики данных отвечают за достоверность входных данных, а администрация банка данных должна обеспечивать ввод и хранение этой информации без искажений и корректность операций обновления баз данных.

Наконец, возражения против универсальности обосновываются тем, что функционирование специализированных банков данных будет более эффективным, поскольку дифференциация функций является основой прогрессивного развития. С ролью и значением дифференциации функций в обществе можно только согласиться. Но специализация должна осуществляться не путем создания в многочисленных организациях специальных территориальных информационных систем, а в направлении создания специализированных информационных организаций, задачей которых являлось бы по возможности максимальное удовлетворение потребностей в сведениях о местности.

Анализ информационных потребностей будет неполным, если не учитывать их динамичный характер, подверженность постоянным изменениям. Тезис о необходимости специализации геоинформационных систем приводит к тому, что каждая такая система оказывается «жесткой», способной моделировать и строить картографическое отображение ограниченного числа объектов, предусмотренных при ее разработке. При необходимости моделирования новых типов объектов в процессе эксплуатации возникают неизбежные трудности с модификацией программного обеспечения.

По целому ряду причин (отсутствие исходных текстов программ, плохая документация и т. п.) организации-пользователи вынуждены систематически обращаться к разработчикам программного обеспечения. Вследствие этого сроки модификации программного обеспечения затягиваются и происходит снижение коэффициента готовности системы.

Аналогичная ситуация наблюдалась с использованием автоматизированных систем в промышленности: изменение номенклатуры выпускаемых изделий влекло за собой большие затраты на переподготовку производства. Как реакция на высокий уровень расходов в подготовительный период, была разработана и получила всеобщее признание концепция гибкого автоматизированного производства (ГАП).

Поэтому требование *универсальности* ГИС не является достаточным и должно быть дополнено требованием гибкости, *адаптируемости* системы по отношению к моделируемым объектам. Свойство адаптируемости системы в данном случае должно выступать как средство достижения ее универсальности, способности покрывать обширную область потребностей пользователей в информации о местности.

Геоинформационные системы, включая самые известные, не могут быть признаны функционально полными. Причина неполной функциональности предлагаемых сегодня коммерческих ГИС заключается в том, что они основаны на устаревших концепциях и не учитывают современные тенденции в разработке программного обеспечения.

Таким образом, проблема развития функциональных возможностей геоинформационных систем еще не получила удовлетворительного решения и по-прежнему остается актуальной. Данное замечание особенно справедливо по отношению к большим интегрированным ГИС, примером которых могут служить муниципальные информационные системы и ГИС субъектов Российской Федерации.

Основные принципы создания перспективных интегрированных ГИС, их структура и функции рассматриваются ниже.

9.7. Предпосылки интеллектуализации систем геомоделирования

Выше было показано, что многообразие пользователей, имеющих различные и изменяющиеся во времени концептуальные представления об объектах территории, и появление новых категорий пользователей ведут к тому, что ГИС и автоматизированные картографические системы должны быть адаптирующимися. Постоянную эволюцию систем геомоделирования следует считать их нормальным состоянием. Для поддержания собственной способности эволюционировать геоинформационные системы и системы картографического отображения должны иметь соответствующие функции и структуру, которые необходимо предусмотреть уже на самой ранней стадии их проектирования – разработке основных концепций систем.

Качество функционирования системы информационного моделирования геопространства, как и любого другого программного продукта, определяется ее внутренней структурой. Наиболее распространенными являются три традиционных типа структуры пакетов прикладных программ (ППП): библиотека программ, программная система и система программирования. Практически все используемые в настоящее время картографические системы и ГИС имеют структуру программной системы, иногда с использованием некоторых элементов библиотеки программ или системы программирования. Преимущество такой организации ППП в том, что пользователь получает готовый к эксплуатации программный продукт, и при функционировании системы на него возлагается только подготовка входных данных.

Но также известно, что основным недостатком организации ППП в виде программной системы является ее плохая адаптируемость, жесткость системы. Разработчики системы геоинформационного моделирования обязаны предусмотреть все потенциально возможные ситуации и соответствующим образом запрограммировать реакцию системы. Однако, попытки перечислить все возможные комбинации свойств топографических объектов или все сочетания топографических объектов в принципе обречены на неудачу.

Если персональные ГИС не позволяют эффективно использовать геоинформационные ресурсы, то интегрированные ГИС порождают новые

проблемы, требующие своего решения. Число организаций-пользователей интегрированной геоинформационной системы в крупном городе может составлять несколько десятков. Здесь мы сталкиваемся с феноменом, известным под названием «проклятие размерности», но уже в новой форме. В обычном понимании под проклятием размерности подразумевается резкое возрастание времени обработки данных при увеличении их объема. В нашем случае проблема размерности заключается в многообразии представлений конечных пользователей о геопространстве и геосистемах как объекте информационного моделирования и многообразии способов картографического отображения одних и тех же объектов различными категориями пользователей.

При оценке новизны картографических, кадастровых и геоинформационных систем необходимо учитывать то обстоятельство, что все они являются частным случаем более широкого класса технических систем. Для технических же систем самой важной характеристикой служит принцип действия, являющийся одновременно и системообразующим принципом [29].

В качестве примера можно рассмотреть хотя бы развитие транспортных средств. Повозки, автомобили, гребные и парусные суда, пароходы, дирижабли, самолеты и вертолеты предназначены для решения *одной задачи* – перемещения грузов или пассажиров из одной точки земной поверхности в другую. Но они делают это разными способами, и их возможности и эффективность могут изменяться в широких пределах. Перечисленные транспортные средства основаны на различных принципах действия и представляют собой разные технические системы, подобия между которыми столько, сколько сходства в принципах действия.

Решение перечисленных выше проблем *геоинформационного моделирования* и *автоматизации картографирования* может быть получено на базе новой информационной технологии, основополагающей идеей которой является адаптация и сопровождение программного обеспечения автоматизированных систем силами пользователей. Но реализация этой идеи требует принципиального изменения общей организации их программного обеспечения. В самых общих чертах система геоинформационного моделирования должна иметь описанную выше структуру конечного автомата.

Нетрудно видеть, что системы, основанные на обработке знаний, являются частным случаем конечного автомата. Если вернуться к определению конечного автомата

$$A = (X, Q, Y, \alpha, \beta),$$

то множество Q внутренних состояний автомата может интерпретироваться как совокупность знаний, а функция перевода автомата в новое состояние $\alpha: X \times Q \rightarrow Q$ – это не что иное, как модификация знаний.

Включение знаний в состав геоинформационной или картографической системы оказывает наиболее существенное влияние на ее функционирование и обеспечивает следующие преимущества.

1. Появляются более благоприятные возможности интеграции в банке данных сведений топографического и специального характера, в результате

чего расширяется область применения системы и круг организаций-пользователей.

2. Поскольку сопровождение баз знаний во многом сходно, в операционном смысле, с ведением баз данных, пользователи имеют возможность модифицировать состав моделируемых объектов, конструировать новые условные знаки, создавать системы условных знаков для специальных карт и планов собственными силами, обращаясь к разработчикам системы в исключительных случаях. В результате сокращаются сроки и стоимость подготовки производства и изготовления специальных карт и планов.

3. При необходимости появляется возможность разработки специализированных картографических систем методом адаптации, наполнения их знаниями о конкретных типах объектов предметной области, представляющих интерес для определенной категории пользователей.

4. Кроме того, создаются благоприятные предпосылки использования такой системы для составления топографических карт и планов всего масштабного ряда. Реализация этой идеи даст дополнительный эффект, так как системы картографирования крупных, средних и мелких масштабов будут обладать одинаковой архитектурой, что существенно облегчит их изучение и эксплуатацию.

В заключение необходимо рассмотреть вопрос о возможности реализации настоящих предложений. С нашей точки зрения, практическая реализация автоматизированных систем геомоделирования, основанных на знаниях, вполне возможна. Концепции систем, основанных на знаниях, прошли все три стадии жизненного цикла научно-технических идей:

- публикации в научных журналах;
- издание специальных монографий;
- издание учебной литературы.

Кроме того, считается, что благоприятными для реализации экспертных систем являются предметные области, характеризующиеся следующими особенностями:

- 1) результаты решения задач представляются в качественном, а не в количественном виде;
- 2) в процессе решения задач используются правила дедуктивного вывода;
- 3) число правил (в нашем случае оно пропорционально числу отображаемых объектов) не должно превышать несколько сотен или тысяч;
- 4) существуют специалисты, обладающие необходимыми знаниями из проблемной области и способные передать их автоматизированной системе.

Как проблемная область, автоматизированное получение карт и планов вполне отвечает перечисленным критериям возможности применения интеллектуальных систем. Можно надеяться, что разработка систем геомоделирования, основанных на знаниях, позволит достичь качественного улучшения их функционирования. Сказанное не означает легкого решения всех проблем при создании таких систем. Но при подходе, основанном на знаниях, эти проблемы решаемы; при традиционном подходе, как показала практика, –

нет. Было бы ошибкой пренебрегать теми результатами, которые были получены в области систем, основанных на знаниях.

9.8. Структура и функции интеллектуальной системы геомоделирования

В настоящее время в аэрогеодезических предприятиях и саморегулируемых организациях, занимающихся геомоделированием и/или автоматизированным картографированием, используются программные комплексы РАСТР-2/2П, НЕВА, ПАНОРАМА, ФОТОМОД, ЦФС ЦНИИГАиК, ArcInfo, MapInfo, CorelDraw, FreeHand и множество других, менее известных. Перечисленные программные комплексы позволяют *автоматизировать практически все технологические процессы*. Однако, их эксплуатация еще раз подтверждает давно известный вывод о недостаточной эффективности так называемой «лоскутной» автоматизации. Отечественные программные комплексы разрабатываются преимущественно небольшими коммерческими фирмами, не имеющими необходимых ресурсов для системной проработки всех вопросов автоматизированного картографирования и геоинформационного моделирования.

Однако в технических системах роль унификации исключительно важна. По этому поводу в монографии 16 американских системотехников утверждается следующее: «Нерегулируемое разнообразие предвещает гибель системы как функционального механизма. Здесь мы сталкиваемся с явлением *энтропии*... Если рассматривать систему обработки данных, то жизненный цикл входит в стадию гибели, когда по той или иной причине разнообразие системы становится нерегулируемым» [23, с. 497].

Поэтому далее мы будем говорить об интегрированной системе геомоделирования, понимая под интеграцией как объединение в систему практически всех важных подсистем, так и возможность обработки разнообразных данных о геопространстве и геосистемах.

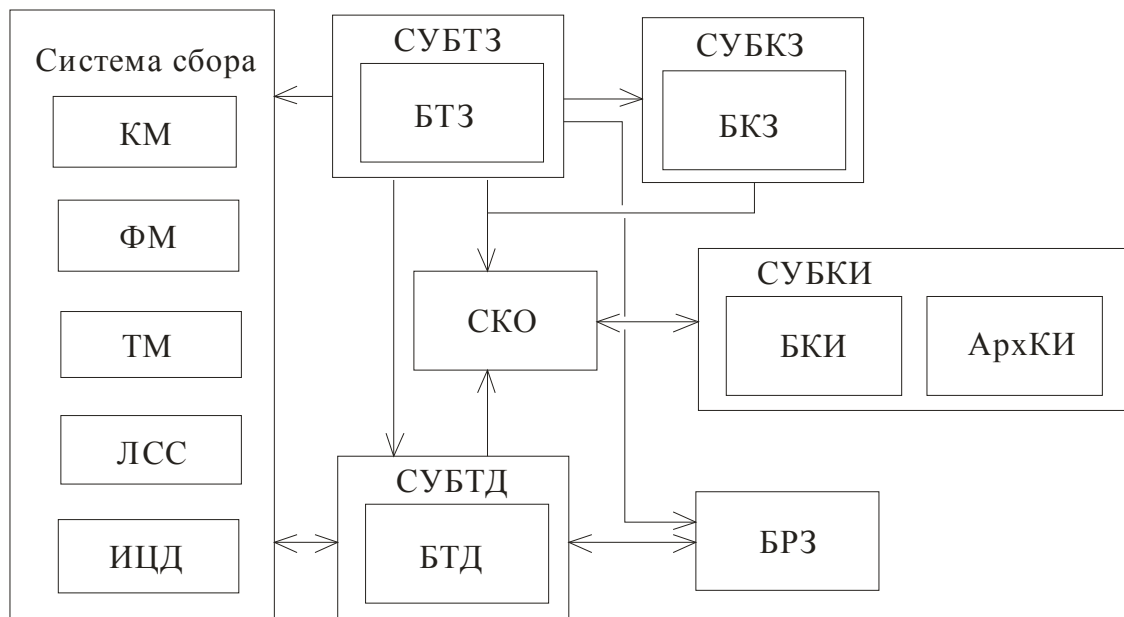
Системой информационного геомоделирования (СИГМа) будем называть автоматизированную систему, предназначенную для создания геоинформационных моделей и/или решения прикладных задач с использованием геопространственных данных. Решение прикладных задач здесь трактуется в широком смысле и включает построение картографических изображений. Под *геопространственными данными* будем понимать данные о положении и свойствах объектов геопространства в системе координат, определенной на земной поверхности. *Интеллектуальной системой геомоделирования* будем называть систему геомоделирования, основанную на знаниях.

Геоинформационной моделью, или информационной моделью геопространства, будем называть структурированное символьное представление выделенной части географического пространства как целостной системы (объектов, свойств и отношений), предназначенное для использования в среде технических средств обработки информации. В главе 5 отмечалось, что представление некоторых объектов может быть структурированным и неструктурированным. Неструктурированными описаниями являются тексты на

естественных языках. Слово «структурированное» в определении геоинформационной модели указывает на то, что обязательным компонентом обрабатываемых системой данных являются структурированные данные о геопространстве. Неструктурированные данные могут храниться в системе, но они обрабатываются не системой, а человеком.

В определении геоинформационной модели «символьное представление» является более общим термином, чем «цифровое представление». По нашему мнению, не столь важно то, что ЭВМ обрабатывает двоичные цифры, а существенно то, что последовательности двоичных цифр трактуются как символы. Что касается «представления», то любая модель суть некоторое представление (физическое или знаковое). Причины, по которым мы говорим о выделенной части геопространства, очевидны. Создавать абсолютно точную копию геопространства не возможно и не нужно, такой копией служит само геопространство. Модель – это всегда огрубление. Кроме того, выделенный фрагмент географического пространства пользователем мыслится как система, как целостное образование. Если отсутствие некоторой важной информации не позволяет пользователю воспринимать модель как целостную систему, то он либо предпринимает меры по устранению этого недостатка, либо отказывается от использования модели, либо отдает себе отчет об ущербности используемой модели.

Перспективные системы геомоделирования должны содержать такие обязательные компоненты как банк знаний о земной поверхности и банк картографических знаний – знаний о способах картографического отображения земной поверхности. Структура интеллектуальной системы геомоделирования в целом представлена на рис. 9.10.



АрхКИ - архив картографических изображений
 БКЗ - база картографических знаний
 БКИ - база картографических изображений
 БРЗ - блок решения задач
 БТД - база топографических данных
 БТЗ - база топографических знаний
 ИЦД - импорт цифровых данных
 КМ - картометрический метод
 ЛСС - лазерные сканирующие системы
 СУБКЗ - система управления картографическими знаниями
 СУБКИ - система управления картографическими изображениями
 СУБТД - система управления топографическими данными
 СУБТЗ - система управления топографическими знаниями
 СКО - система картографического отображения
 ТМ - топометрический метод
 ФМ - фотограмметрический метод

Рис. 9.10. Структура интеллектуальной системы геомоделирования

Банк топографических знаний состоит из *базы топографических знаний* и *системы управления базой топографических знаний* и предназначен для создания и модификации различными категориями пользователей формализованного описания своих концептуальных представлений о геопространстве как целостной системе объектов, их свойств и межобъектных отношений. Знания названы топографическими условно. С равным успехом они могут быть названы географическими, знаниями о территории или как-то иначе. Наиболее общее название для таких знаний – это «знания о геопространстве». В любом случае – это знания об объектах, тем или иным образом связанных с земной поверхностью и представляющих интерес для пользователя. По мнению автора, реализация базы знаний об объектах геопространства может осуществляться на основе семантической сети либо фреймовой системы, но использование семантической сети представляется

более предпочтительным. Возможная структура базы топографических знаний на основе семантической сети описана далее.

Система управления базой топографических знаний должна содержать:

- средства для представления знаний о местности;
- средства для получения знаний от квалифицированного пользователя – эксперта в конкретной проблемной области;
- средства документирования знаний;
- средства для обучения неподготовленного пользователя;
- средства логического вывода, обеспечивающие извлечение знаний, хранящихся в базе знаний в неявном виде;
- средства защиты базы знаний от несанкционированного доступа;
- средства прикладного программиста.

Содержанием базы топографических знаний должно быть декларативное описание абстрактных объектов – *понятий* об объектах земной поверхности. База знаний о земной поверхности должна включать:

- перечень всех используемых системой понятий (тезаурус), играющий роль универсального множества или универсума;
- совокупность описаний отношений между понятиями.

Если топографические знания мы понимаем в узком смысле, то перечень понятий в идеале должен содержать *все понятия*, используемые для передачи содержания топографических карт и планов всего масштабного ряда, то есть от масштаба 1 : 500 до масштаба 1 : 1 000 000 включительно.

Банк картографических знаний – совокупность *базы картографических знаний* и *системы управления базой картографических знаний* – предназначен для создания и модификации формализованного описания преобразования содержания геоинформационных моделей в картографическое изображение в соответствии с требованиями различных пользователей и различных систем условных знаков.

В качестве модели знаний для реализации базы картографических знаний представляется целесообразным выбор *продукционных моделей*. Содержанием базы картографических знаний должно быть декларативное описание картографического отображения как совокупности правил отображения объектов геопространства и их свойств с помощью изобразительных средств (графических переменных).

Система управления базой картографических знаний должна иметь:

- средства для создания картографических знаний экспертом – квалифицированным картографом, в том числе средства описания картографического изображения (систем условных знаков для карт и планов различного содержания и масштаба) и средства представления правил картографического отображения;
- средства документирования картографических знаний;
- средства для обучения неквалифицированного конечного пользователя – начинающего картографа;

- средства автоматического построения карт и планов различных масштабов и разнообразного содержания;
- средства защиты базы картографических знаний от несанкционированного доступа;
- средства прикладного программиста.

Банк топографических данных в системе геомоделирования, основанной на знаниях, принципиально отличается от такого же банка данных в доинтеллектуальной ГИС тем, что некоторая часть данных в нем представлена неявным образом или отсутствует вообще, но хранится в базе знаний. Он содержит *базу топографических данных* и *систему управления базой топографических данных*. Его особенностью служит то, что при вводе данных может осуществляться их программный контроль на соответствие топографическим знаниям. Это позволит обнаруживать хотя бы грубые ошибки в автоматическом режиме и, с одной стороны, повысить достоверность данных, а с другой стороны, снизить затраты на их проверку.

Банк топографических данных и банки топографических и картографических знаний могут быть реализованы на основе одной коммерческой СУБД, что повысит унифицированность проектных решений в геоинформационной системе.

В системе геомоделирования с развитыми функциональными возможностями *система сбора данных* (ССД) должна в обязательном порядке содержать традиционные подсистемы сбора данных *топометрическим, фотограмметрическим* и *картометрическим* методами. Кроме того, даже современные ГИС содержат подсистему *импорта цифровых топографических данных* из наиболее распространенных форматов. Данная функция должна сохраняться и в следующем поколении систем геомоделирования.

Отличие топометрического метода сбора от обычной наземной съемки в том, что он должен включать съемку с применением GPS. Среди разных методов сбора данных особенно перспективным является метод получения информации о местности с применением *лазерных сканирующих систем* (ЛСС) как наземного, так и воздушного базирования. В настоящее время он является в какой-то мере еще экзотическим, и пока что лазерные сканирующие системы характеризуются высокой стоимостью.

Потенциальные возможности увеличения производительности ЛСС чрезвычайно высоки. Уже сегодня их производительность выше производительности цифровых фотограмметрических станций. Кроме того, они дают возможность полностью избавиться от химических процессов и значительно повысить культуру производства. Увеличение разрешающей способности ЛСС и более совершенное программное обеспечение будут способствовать расширению сферы их применения.

Наконец, применение лазерных сканирующих систем создает благоприятные предпосылки для решения проблемы распознавания образов при сборе геометрической и семантической информации о геопространстве. Решение названной проблемы поставит ЛСС вне конкуренции.

В процессе своей работы система сбора взаимодействует с системой управления базой топографических знаний и базой топографических данных. Топографические знания являются для системы сбора требованиями к содержанию цифровых данных. Результатом работы любой подсистемы сбора данных являются геоинформационные модели, составляющие содержание базы топографических данных. Процесс обмена данными между системой сбора и системой управления топографическими данными двунаправленный. Из БТД в систему сбора поступают данные, подлежащие обновлению. В СУБТД из системы сбора поступают созданные и обновленные цифровые данные.

Блок решения задач (БРЗ) выполняет те функции, ради которых создаются геоинформационные системы. Это может быть набор как относительно самостоятельных программ, так и интегрированный программный комплекс. Если из ГИС удалить блок решения задач, то она превратится в автоматизированную систему картографирования. Состав решаемых задач определяется назначением системы геомоделирования. В некоторых системах геомоделирования блок решения задач может изменять содержимое базы топографических данных, например, дополнять ее сведениями о проектируемых объектах.

Наличие *системы картографического отображения* (СКО) превращает автоматизированную информационную систему в ГИС или автоматизированную систему картографирования. СКО получает данные из банка топографических данных (то, что она должна отображать) и знания из банка картографических знаний (как отображать). Выходом системы служат картографические изображения в цифровом виде: планы, карты, атласы. Система картографического отображения может быть встроена как в подсистемы сбора данных (поскольку эта функция выполняется преимущественно в интерактивном режиме), так и в блок решения задач (по той же причине). Система картографического отображения должна содержать:

- средства для отображения содержания геоинформационных моделей; с этой целью может использоваться упрощенная (технологическая) система условных знаков;
- средства для создания корректных картографических изображений, как в автоматическом, так и в интерактивном режиме.

Система управления базой картографических изображений (СУБКИ), по существу, должна представлять собой систему управления архивом картографических документов, состоящим из планов, карт и атласов различного назначения. Ее особенностью является то, что она работает с картографическими изображениями (в растровом и векторном представлении) как целостными, нерасчленяемыми объектами.

Проблемы представления данных и знаний в интеллектуальных системах геомоделирования и некоторые пути их решения рассматриваются далее.

9.9. Геопространство как объект информационного моделирования

Адекватность концептуальных представлений о предметной области информационным потребностям служит обязательным условием адекватности

ее геоинформационных моделей. Следовательно, до формализации предметной области необходимо на содержательном уровне четко определить понятия предметной области. Общение со специалистами по геоинформатике убедило автора в необходимости уточнения наших представлений о предметной области, несмотря на кажущуюся простоту вопроса.

Кроме того, потребность в содержательном анализе предметной области вызвана необходимостью унификации представления цифровых данных. Но стандартизация в цифровом картографировании осуществляется в обратном логическом порядке: стандарты на качество «цифровых карт» создаются до разработки стандартов на содержание и форму представления данных.

Стандартизация в сфере геоинформационного моделирования должна осуществляться в естественной последовательности. Вначале необходимо решить, *что* моделировать, затем – *как* моделировать, и уже в последнюю очередь – как оценивать качество моделей. Ниже рассматривается решение первой задачи: что есть что в предметной области. Частично этот вопрос обсуждался в [20].

9.9.1. Основные категории понятий

Объекты. В общем случае при геоинформационном моделировании имеет смысл говорить не об объектах геопространства, а о моделируемых объектах или *объектах предметной области*, поскольку таковыми могут быть как эмпирические – реально существующие материальные образования, явления и события в предметной области, так и воображаемые или виртуальные. Состав объектов определяется назначением системы геомоделирования, но не является раз и навсегда заданным и может изменяться в процессе ее функционирования.

Некоторые объекты могут в реальности не существовать, но быть отображаемыми. К ним относятся объекты, существовавшие в прошлом, объекты, существование которых предполагается в будущем, и объекты, воображаемые в текущий момент времени. Так, воображаемыми объектами являются границы, красные линии, горизонталы и т. п. Если граница закреплена на местности некоторыми знаками, то границей считают воображаемую прямую, соединяющую центры этих знаков. Если граница проходит по фарватеру реки, то ситуация более неопределенная: положение самого фарватера трудно поддается точному определению и изменяется во времени. В ГИС с исторической ориентацией могут быть такие объекты, как «Куликовская битва» или «гибель Ермака», а в ГИС с экологическим уклоном могут существовать такие объекты, как «выброс вредного вещества в атмосферу» или «нефтяное пятно».

Можно сказать, что в системах геомоделирования *объект* – это все то, что *мыслится* как объект геопространства. *Явления* и *события* имеют некоторую область распространения на земной поверхности и поэтому могут трактоваться как объекты. Явления суть протяженные во времени процессы, события – процессы с «нулевой» длительностью, связанные с такими изменениями в моделируемой области, как появление или исчезновение объектов, либо «моментальное» изменение их свойств. К событиям относятся также моменты

начала и окончания процессов. Формально событие является точкой на временной оси, а явление – некоторым отрезком.

В отличие от явлений, представляющих собой накопление количественных изменений, событие – качественный скачок. Мы можем рассматривать событие как появление новой данности в предметной области, «результат» некоторого процесса, причем сам процесс может не быть объектом моделирования. Например, горелый лес является результатом лесного пожара. Пожар в зависимости от назначения ГИС может рассматриваться как событие, как процесс или вообще не являться моделируемым объектом. Отнесение одних и тех же сущностей к явлениям или событиям может зависеть от ситуации. Так, выпадение кислотного дождя может трактоваться как событие, а многократные кислотные дожди в одной и той же местности – как явление.

В любой предметной области постоянно происходят внутренние изменения объектов, и объекты в своем развитии проходят несколько стадий, образующих в совокупности *жизненный цикл* объекта. Аналогичным образом происходит и развитие процессов. Временные промежутки, на которых свойства одного и того же процесса имеют качественные отличия, называют *фазами процесса*.

Свойство – категория, выражающая такую сторону объекта (сущности), которая обуславливает его различие или общность с другими объектами и обнаруживает себя при сопоставлении различных объектов. Объекты являются не столько носителями свойств, сколько совокупностью свойств, что позволяет считать свойства *объектообразующей* категорией.

Значимость свойств следует из того, что дескриптивное определение любого объекта как понятия дается через указание его свойств. По своей общности свойства объектов будем подразделять на универсальные, имманентные и индивидуальные. *Универсальными свойствами* будем называть свойства, присущие любому объекту. Иначе говоря, универсальные свойства – это те свойства, наличие которых у некоторого образования дает нам основания рассматривать его как объект. Универсальными свойствами любых объектов являются: дискретность или непрерывность, целостность, структура, связность, ограниченность, устойчивость.

Объекты геоинформационного моделирования характеризуются дополнительными универсальными свойствами: *положением на и относительно земной поверхности*. Отображение данных свойств превращает объект информационного моделирования в объект геоинформационного моделирования.

Имманентными свойствами будем называть свойства, присущие любому объекту фиксированного типа. Имманентные свойства выделяют из множества всех типов объектов подмножество объектов конкретного типа и являются *постоянными* для всех объектов этого типа. В естественных языках в названиях (именах) некоторых объектов присутствует прямое указание на их имманентные свойства (пастбище, брод, водопад, дорожный указатель, обрыв и т. д.). Таким образом, имманентные свойства в ряде случаев являются и именуемыми. Если сравнивать универсальные и имманентные свойства, то можно сказать, что

универсальные свойства являются атрибутами (обязательными свойствами) любого объекта, а имманентные – атрибутами определенного типа объектов.

Важность имманентных свойств проявляется в том, что при их изменении под влиянием внутренних и/или внешних факторов происходит трансформация, переход типа объекта в качественно другой тип либо в другую разновидность объекта. Так, при изменении уровня грунтовых вод заболоченный луг может превратиться в луг или болото; промоины с течением времени превращаются в овраги, овраги трансформируются в балки и т. п.

Постоянство значений имманентных свойств для всех индивидуальных объектов некоторого типа дает возможность при геоинформационном моделировании не хранить эти значения для каждого объекта в базе данных, а указывать один раз для всего множества объектов этого типа в базе знаний. Следует отметить, что в существующих классификаторах топографической информации имманентные свойства объектов не указываются. Например, ни в одном классификаторе нельзя обнаружить имманентное свойство зданий – служить защитой людей, оборудования и материалов от воздействия внешней среды. При этом молчаливо и не всегда осознанно предполагается, что системам для решения прикладных задач известны знания об имманентных свойствах объектов.

В отличие от имманентных свойств, *индивидуальные свойства* разных объектов конкретного типа различаются своими значениями: так, здания могут иметь различное число этажей, материал постройки, назначение и т. п.

Иногда индивидуальные свойства объектов разделяют на основные и второстепенные. Условность такого деления очевидна, так как значимость тех или иных свойств объектов зависит от решаемых задач. Тем не менее, с делением индивидуальных свойств на основные и второстепенные можно частично согласиться, поскольку у любого типа объектов иногда можно указать свойства, которые большинством пользователей будут признаны более важными по сравнению с другими. Так, большинство людей признает материал здания более важным свойством, чем цвет его стен. Но архитектор при размещении нового здания среди существующих зданий считает цвет важным свойством и не может его игнорировать. Вообще же извлечь какую-либо пользу из деления свойств объектов на главные и второстепенные едва ли возможно. Далее можно считать, что второстепенными являются свойства, не представляющие интереса для системы геомоделирования.

С формальных позиций свойство может рассматриваться как унарное отношение или одноместный предикат.

В настоящее время существуют области знания, занимающиеся изучением свойств как абстрактных категорий. К таким дисциплинам относятся классификация, систематика, таксономия и типология.

Отнесение конкретного объекта к определенному классу или типу объектов происходит в результате *идентификации* (от позднелат. *identifico* – отождествляю), распознавания, признания тождественности объектов в том или ином отношении (смысле). При идентификации устанавливается соответствие распознаваемого предмета его образу, выражаемому тем или иным понятием,

которое обозначается соответствующим символом – термином. Иногда используемый символ называют также именем или идентификатором (в языках программирования). Идентичные объекты считаются равнозначными, то есть имеющими одинаковый смысл и значение в границах используемой классификации.

Классификацией, или *систематизацией*, называют систему соподчиненных понятий (классов объектов) какой-либо предметной области. Классификация обычно представляется в виде схем или таблиц и используется как средство для установления связей между этими понятиями или классами объектов. Другое назначение классификации – точная ориентировка в многообразии понятий или соответствующих объектов. Классификация, основанная на закономерных связях между классами объектов, позволяет определить место любого объекта в системе, которое указывает на его свойства. Поэтому классификация является средством хранения и поиска информации, содержащейся в ней самой.

Теоретической основой классификации служит *систематика* (от греч. *systematikos* – упорядоченный, относящийся к системе) – область знания, в рамках которой решаются задачи упорядоченного обозначения и описания всей совокупности объектов, образующих некоторую предметную область. Необходимость систематизации возникает всегда, когда имеют дело со сложными, внутренне разветвленными и дифференцированными системами объектов. Примерами областей, где систематизация имеет существенное значение, являются география, геология, биология и т. д.

Принципы систематизации разнообразны – от упорядочения объектов по чисто формальным, внешним признакам (например, присваиванием элементам системы порядковых номеров) до создания естественных систем объектов, то есть систематизации, основанной на объективных законах. Классическим примером и эталоном такой естественной системы служит периодическая система элементов в химии. Систематизация опирается на общие принципы типологии, выделение в объектах, образующих систему, таких устойчивых характеристик, как признаки, свойства, функции и отношения.

Единицы (группы, классы, типы и т. п.), с помощью которых строится систематизация, в общем случае называют *таксонами*. Таксоны должны отвечать определенным формальным требованиям. Так, каждый таксон должен занимать единственное место в системе, его характеристики должны быть необходимы и достаточны для отграничения от соседних таксонов. Этим требованиям в наибольшей мере удовлетворяют систематизации, построенные на основе развитых теоретических соображений о строении и законах изучаемой системы. Если создание теории системы является трудной проблемой, то систематизация может осуществляться с привлечением соображений как теоретического, так и практического порядка.

Теория классификации и систематизации сложноорганизованных областей реального мира, имеющих обычно иерархическое строение (биология, география, геология...), получила название *таксономии* (от греч. *taxis* – расположение, строй, порядок и *nomos* – закон). Возникшая впервые в биологии

как синоним систематики таксономия с течением времени стала пониматься как более узкая дисциплина (или раздел систематики), занимающаяся принципами, методами и правилами классификации. Со второй половины XX в. таксономия начинает играть заметную роль в ряде наук, изучающих множества иерархически организованных дискретных объектов. Наряду с естественными различиями, в конкретных наборах категорий таксономии в разных областях знания по-разному трактуются исходные понятия и задачи таксономии. Общие принципы таксономии как теоретической дисциплины находятся в стадии становления. Если систематика имеет дело с реальными группами объектов (таксонами), то содержанием таксономии является теория таксономических категорий и их систем, позволяющая строить наиболее информативные, непротиворечивые и удобные классификации, максимально отвечающие естественным системам объектов.

Центральным понятием в этой теории является *таксон* – группа дискретных объектов с общими свойствами и признаками, являющимися основанием для присвоения им определённой таксономической категории. Выделение таксонов может основываться на разных свойствах и признаках объектов: общности происхождения, строения, составе, форме, функциях и т. д. Такой набор признаков и свойств всегда должен быть необходимым и достаточным для однозначного определения каждого таксона в системе; пересечения таксонов не допустимы.

Трудности построения теорий сложных систем (отсутствие четких границ между таксонами, необходимость оперировать большими множествами признаков и свойств) стимулировали многочисленные попытки теоретического, в том числе формального, обоснования таксономии и её основных категорий (численная, или нумерическая, таксономия), привлечения математических методов, пока не давших общепризнанных фундаментальных результатов.

В таксономии считается важным четкое различие понятий таксона и таксономической категории. *Таксон* понимается как конкретная совокупность объектов предметной области (например, элементов некоторой геосистемы). *Таксономические категории* (или ранги, систематические категории) – понятия, применяемые в таксономии для обозначения соподчиненных групп объектов – таксонов. Примером таксономической категории в географии может служить понятие ландшафта или понятие геосистемы, а конкретные типы ландшафта или конкретные типы геосистем могут рассматриваться как таксоны. Таксономическая категория выражает обозначение и логические условия выделения некоторого уровня иерархии или ранга организации системы. В связи с задачами рациональной классификации объектов предметной области создаваемая система таксонов должна давать ее полное описание с точки зрения иерархической структуры. Поэтому таксономические категории непосредственно характеризуют не конкретные объекты классификации, а способы её построения, логические принципы решения задач типологии.

Типология (от греч. *typos* – отпечаток, форма, образец и *logos* – учение, теория) понимается неоднозначно. Во-первых, типология трактуется как метод

научного познания, основанного на расчленении систем объектов и их группировке с помощью обобщённых, идеализированных моделей или *типов*. Назначение типологии – сравнительное изучение существенных признаков, связей, функций, отношений и уровней организации объектов. Во-вторых, типологией называют результат типологического описания и сопоставления.

Содержание подобных теорий отражает общую для современной науки тенденцию к повышению роли типологии в научном мышлении. Помимо естественных различий, в понятийном аппарате в разных областях знания неодинаково толкуются задачи типологии. Таким образом, типология как теоретическая дисциплина находится в стадии становления.

Проблемы типологии возникают в тех областях знания, где имеются крайне разнородные по своему составу множества объектов (как правило, дискретных) и решается задача упорядоченного описания и объяснения этих множеств. В разряд таких областей знания попадает и география. Являясь одним из наиболее универсальных методов теоретического познания, типология опирается на выявление сходства и различия изучаемых объектов, на разработку способов их идентификации. В теоретически развитой форме типология стремится отобразить строение исследуемых систем, выявить их закономерности, позволяющие предсказывать существование неизвестных пока объектов.

Типология строится либо непосредственно на *понятии типа* как основной логической единицы расчленения изучаемой предметной области, либо на использовании других логических форм. Во-первых, арсенал типологии включает классификацию, цель которой сводится к построению иерархических систем классов и их подклассов на основе некоторых признаков. Эти признаки могут быть как не свойственными изучаемым объектам (название, число), так и присущими им. Во-вторых, типология включает в себя систематику, задачей которой является максимально полная и расчлененная классификация множества исследуемых объектов с фиксированной иерархией единиц расчленения. В-третьих, типология основывается на таксономии, содержание которой составляют исследования и обоснование принципов рациональной классификации и систематики. Хотя подобное разбиение типологии весьма условно, типологию иногда характеризуют как теорию и язык таксономии, а последнюю – как обоснование систематики.

По содержанию исследований типологию разделяют на эмпирическую и теоретическую. *Эмпирическая типология* занимается количественной обработкой и обобщением опытных данных, фиксацией устойчивых признаков сходства и различия, выявленных индуктивным путем, систематизацией и интерпретацией полученных данных. Содержание *теоретической типологии* составляют проблемы построения абстрактных моделей объектов, обобщенного выражения свойств объектов, разработка принципов таксономического описания множества изучаемых объектов. Теоретическая типология основывается на понимании объектов как систем, что подразумевает выявление системообразующих связей и построение

представлений о структурных уровнях объектов. Следовательно, типология создает инструментарий объяснения объектов и создания их теории.

Общие принципы типологии существенно зависят от трактовки понятия типа. В ее истории принято выделять три трактовки этого понятия и, соответственно, три основных способа построения типологии. В античности представление о типе связывалось с неизменной и вечной идеальной сущностью, существующей до вещей (Платон) или в вещах (Аристотель) и проявляющейся в видовых или индивидуальных различиях.

С утверждением в научном познании идеи развития (диалектики) возникает вторая трактовка типологии как отображения систем в их историческом развитии. Отличительной чертой подобных теорий является существенная роль времени в их построении и обосновании.

Наконец, третья трактовка типологии связана с пониманием типа как особого методологического средства, с помощью которого строится теоретическая картина мира. Но понятие типа выступает не как существующее в реальности, а как продукт мышления, теоретически исследующего наиболее существенные свойства объектов и объединяющего их в понятие типа. На этой основе из множества объектов выделяют некоторый определенный объект, который по ряду критериев рассматривается в качестве представителя или заместителя всего множества объектов. Таким образом, задача типологии заключается в создании некоторых абстрактных типов – конструкций, представляющих собой заведомое упрощение, логическую фикцию, не имеющую прямого аналога в исследуемой реальности.

Понимание типа как *методологического средства* повлекло за собой два важных следствия. Во-первых, произошел отказ от трактовки типологии как полного и однозначного представления систем, поскольку из разнообразия конкретных типологических процедур следует множество различных типологий конкретной системы. Поэтому построение теории типологии предусматривает анализ совокупности вводимых понятий и их обоснование. Такой подход дает возможность построения теории абстрактной типологии, в которой тип – всего лишь сложная конструкция, размещенная в многомерном таксономическом пространстве. Следовательно, *тип* – это абстрактный объект, а не представитель множества эмпирических объектов. Однако, именно подобная трактовка типа является основой для широкого использования логико-математических методов. Считается, что перенос проблем типологии в область методологии позволяет использовать аппарат современной логики.

Во-вторых, перенос основных проблем типологии в область методологии поставил проблему эмпирической интерпретации типологических понятий, то есть проблему соотнесения их с реальными множествами объектов, определения правил сопоставления типа и эмпирических объектов.

Отношения. Принято считать, что отношения выражают некоторую абстрактную взаимосвязь между объектами. С их помощью осуществляется структуризация любой предметной области. Отличительная особенность отношений заключается в том, что в отличие от свойств, присущих конкретным

(эмпирическим или абстрактным) объектам, отношения могут существовать между парой эмпирических объектов, между парой абстрактных объектов, а также между эмпирическим и абстрактным объектами. Отсюда следует, что отношения могут существовать, не только между объектами, но и между свойствами, а также и между отношениями.

При этом в каждой предметной области наиболее важное значение имеют отношение принадлежности элемента множеству, отношение таксономии, отношение агрегации и отношение предикации. *Отношение принадлежности* является отношением между эмпирическим объектом (элементом) и абстрактным понятием (множеством). Когда мы говорим о том, что данный объект является зданием, мы устанавливаем отношение между конкретным индивидуальным объектом и абстрактным объектом – понятием здания.

Отношение таксономии (или родовидовое отношение, отношение обобщения) выражает связь между общим и более узким понятиями. Отношение агрегации служит для выражения связи между структурно сложным объектом – агрегатом – и его компонентами. Наконец, отношение предикации – это отношение между объектом и присущими ему свойствами. Если некоторый объект характеризуется свойством *P*, то принято говорить, что свойство *P* предиктируется данному объекту.

То, что отношения могут существовать между свойствами, можно показать на примере классификации свойств. Так, на самом верхнем уровне классификации свойства могут быть разделены на качественные и количественные. В дальнейшем количественные свойства могут разделяться на геометрические и физические и т. д.

Существование отношений между отношениями можно продемонстрировать на следующем примере: отношение агрегации и отношение таксономии являются частными случаями транзитивного отношения. Иначе, между отношением агрегации и отношением таксономии, с одной стороны, и транзитивным отношением, с другой стороны, существует отношение таксономии.

Кроме того, отношения могут подразделяться по числу участвующих в них понятий на унарные, бинарные, тернарные, четырехместные и т. д. Наиболее простыми и наиболее изученными являются двухместные отношения. Как абстрактные объекты (понятия), отношения характеризуются своими свойствами. Наиболее важными свойствами бинарных отношений являются упорядоченность, транзитивность, симметричность, рефлексивность.

При разработке систем искусственного интеллекта особое место занимают логические отношения: отрицания, дизъюнкции, конъюнкции, импликации, логического следования и некоторые другие.

Определение категории понятий. Отнесение тех или иных понятий предметной области к какой-либо основной категории может быть весьма условным. Одно и то же понятие может рассматриваться и как объект, и как отношение, и даже как свойство. В качестве примера приведем понятие междугородного автобусного маршрута. Наиболее естественно мыслить маршрут как (воображаемый) линейный объект, имеющий такие свойства, как

начальный и конечный пункты, время в пути, интенсивность движения и т. п. Как линейный объект, маршрут должен обладать положением на земной поверхности. Протяженность каждого маршрута может быть определена (в том числе – программным путем) как длина соответствующего линейного объекта.

Мы также можем рассматривать маршрут как свойство объектов типа «город», для чего городу должно быть предиктировано составное свойство «междугородный маршрут», элементами которого будут являться соседний населенный пункт и другие характеристики маршрута.

Наконец, междугородный маршрут может рассматриваться как связь, специфическое отношение между двумя городами. Если мы понимаем маршрут как свойство или как отношение, то в некоторых ГИС у него уже не может быть положения на земной поверхности, и для определения его длины могут потребоваться неординарные действия со стороны пользователя.

Еще одним примером неоднозначности определения категории понятий может служить какая-либо порода дерева или горная порода, допустим, уголь. В одной и той же системе геомоделирования «уголь» может являться как значением свойства «добываемая порода», так и объектом, обладающим такими своими свойствами, как удельный вес, плотность, калорийность, стоимость и т. д.

В большинстве случаев каких-либо проблем с определением категории понятий не возникает. Здесь обращено внимание на потенциальную неоднозначность принимаемых решений и зависимость трактовки понятий от ориентации системы геомоделирования и вытекающую из нее зависимость способов представления данных и знаний, а также на необходимость понимания *роли*, которую играют понятия в том или ином контексте.

9.9.2. Типология объектов геоинформационного моделирования

Термины «типология» и «классификация» близки по своему смыслу и иногда трактуются почти как синонимы, а уточненное их значение было показано выше. Понятие классификации в геоинформационном моделировании уже используется для обозначения родовидовых межобъектных отношений; при этом типы объектов подразделяются по своим имманентным свойствам. Примерами могут служить классификаторы топографической информации. Поэтому с целью обозначения деления объектов геоинформационного моделирования по их универсальным свойствам будем использовать термин «типология». Таким образом, под типологией далее понимается результат типологического описания объектов.

Целостные объекты геомоделирования могут рассматриваться в двух аспектах: геометрическом и семантическом. Хотя любой моделируемый объект является единством своих свойств, мы можем мысленно расчленить все его свойства на две группы: совокупность геометрических и совокупность семантических свойств – и рассматривать первую как *геометрический объект*, а вторую – как *семантический*. Объект, не являющийся целостным в геометрическом смысле, может быть целостным с семантической точки зрения. Например, предприятие может быть расположено на нескольких

территориально удаленных промышленных площадках, каждая из которых представляет отдельный геометрический объект. Но оно функционирует как единое целое и в семантическом аспекте является целостным образованием.

Можно привести и противоположные примеры: участок леса на краю деревни может использоваться как кладбище; один из ярусов моста может быть автомобильной дорогой, а второй – железнодорожным путем; одни и те же столбы могут использоваться для линии электропередачи и линии связи и т. д.

Следовательно, в общем случае между геометрическими и семантическими объектами существует отношение с коэффициентом $m : n$, когда одному семантическому объекту может соответствовать несколько геометрических и, наоборот, одному геометрическому объекту может быть поставлено в соответствие несколько семантических. Корректные способы представления отношений с коэффициентом $m : n$ были рассмотрены в главе, посвященной системам обработки данных.

Мы будем рассматривать свойства целостных объектов в пространственном и понятийном аспектах соответственно как свойства геометрических и семантических объектов.

9.9.3. Геометрические объекты

Геометрические объекты представляют собой точечные множества. Чтобы ссылаться на конкретные типы геометрических объектов, предварительно рассмотрим их имманентные свойства: размерность и тип пространственной локализации.

Размерность служит важнейшей характеристикой геометрических объектов и определяется как число координат, необходимых для указания положения точки, принадлежащей геометрической фигуре. По своей размерности объекты разделяются на 0-мерные (точки), 1-мерные (линии), 2-мерные (ограниченные участки поверхности) и 3-мерные (пространственные тела).

Нульмерный объект может быть определен через геометрическое разрешение s геоинформационной модели, понимаемое как наименьшее расстояние между двумя точками, воспринимаемыми системой гео моделирования как различные точки. Тогда 0-мерный объект – это объект, наибольший диаметр которого меньше s . Соответственно, 1-мерный объект – это объект с шириной меньше s .

Разбиение объектов геоинформационного моделирования на группы по признаку *пространственной локализации* – условность, унаследованная от картографии. Фактически объекты гео моделирования являются физическими телами (дискретными объектами) либо полями (непрерывными объектами).

Понятие пространственной локализации объектов нередко подменяется понятием размерности, поскольку все моделируемые объекты при этом делят на точечные, линейные и площадные. Однако разбиение объектов по типу локализации является более тонким, чем их деление по размерности. Такое деление геометрических объектов учитывает их некоторые семантические свойства.

В зависимости от типа пространственной локализации, в первую очередь будем подразделять объекты на дискретные и непрерывные (поля).

Непрерывные объекты имеют только *глобальный* тип локализации, существуют в каждой точке геопространства или его моделируемого участка. Дискретные объекты могут иметь любой тип локализации (из перечисленных ниже), кроме глобального.

Дискретные объекты по типу пространственной локализации будем разделять на нелокализуемые, точечные, линейные, полосные, площадные, пространственные и комплексные. *Нелокализуемые* объекты в каждый определенный момент времени имеют некоторое пространственное положение, но оно не представляет интереса с точки зрения решаемых задач. Следует различать нелокализуемые объекты и объекты нелокализованные, то есть такие, положение которых знать необходимо, но оно неизвестно в текущий момент времени.

Точечные объекты – это 0-мерные, не имеющие протяженности в пространстве (размеров и формы) объекты, положение которых определяется координатами одной точки.

Линейные объекты – 1-мерные объекты, их размеры характеризуются одним параметром – *длиной*, а форма и положение определяется множеством координат некоторой кривой.

Площадные объекты – это 2-мерные объекты; их размеры характеризуются *площадью*, а форма и положение – множеством координат граничных кривых. Площадные объекты не имеют длины, но могут характеризоваться *максимальным диаметром* – наибольшим из расстояний между всеми возможными парами своих граничных точек.

Основанием для выделения *полосных объектов* в самостоятельный класс служит свойство их неоднородности. В отличие от площадных объектов, являющихся изотропными по любому направлению (озеро, луг и т. п.), свойства полосного объекта меняются с изменением направления (река, дорога, мост, откос и др.). У полосных объектов можно выделить два направления, резко различающихся своими свойствами. Одно из них понимается как *длина* объекта, или *продольное направление*, другое – его *ширина*, или *поперечное направление*. Ширина объекта может быть постоянной либо переменной. Полосные объекты с постоянной шириной можно называть *ленточными* и использовать для их внутреннего представления специальные структуры данных. В частности, положение ленточных объектов может быть представлено положением их осевой линии и шириной.

Таким образом, полосные объекты обладают свойствами и линейного, и площадного объекта, характеризуются длиной и площадью. При решении одних задач нас может интересовать только длина полосных объектов (например, длина дороги при определении длины маршрута из одной точки в другую), а в других случаях необходимо учитывать и их ширину (допустим, при определении объемов ремонтных работ на дороге или при определении ее пропускной способности). Очевидно, что не следует относить к полосным объектам площадные объекты вытянутой формы.

Пространственные объекты – это трехмерные объекты, тела, размер которых характеризуется *объемом*, а форма и положение – множеством координат их границ, представляющих собой замкнутые поверхности.

В действительности, конечно, все физические дискретные объекты являются пространственными, даже тончайшая нефтяная пленка на поверхности водоема. Наше выделение точечных, линейных и других объектов отражает не их фактические свойства, а то, какими мы их мыслим. Если говорить точнее, то выделяются лишь некоторые из всего множества свойств моделируемых объектов. Поэтому под пространственными объектами понимаются объекты, представляемые в системе моделирования как пространственные, когда для описания их положения, формы и размеров необходимо использование трех координат.

Комплексные объекты – это объекты, имеющие переменный тип пространственной локализации. Так, река может представлять собой совокупность последовательно и/или параллельно расположенных участков с линейным или полосным типом локализации (рис. 9.11). Из определения комплексных объектов следует, что ими могут быть только комплексы.



Рис. 9.11. Пример комплексного объекта

Комплексные объекты, подобные изображенному на рис. 9.11, в существующих геоинформационных системах обычно представляются как набор некоторого числа элементарных объектов, а комплексные объекты отсутствуют. В таких системах, например, объект «река X» как единый объект не

может быть представлен, поэтому представляется множеством своих «кусков». При таком представлении объектов можно получить корректное картографическое изображение, но их пространственный анализ затруднен. Так, в одном и том же районе или области может быть две реки с одинаковым названием. Проблемы могут возникнуть, например, если каждая река представляется множеством своих участков.

Дискретность/непрерывность. Дискретность или непрерывность относятся к фундаментальным физическим свойствам реального мира. *Непрерывные* объекты суть физические скалярные и векторные поля, связанные с земной поверхностью. Скалярные и векторные объекты являются соответственно скалярными или векторными функциями двух переменных – координат точки земной поверхности. Область определения указанных функций совпадает с областью моделирования – всей земной поверхностью либо ее ограниченным участком. Векторные объекты могут мыслиться как совокупность двух скалярных объектов, один из которых отображает длину вектора, а другой – его направление. Каждый вектор можно также представлять в виде двух его компонент – проекций на оси координат.

Некоторые непрерывные поля характеризуются только своим направлением, например, склонение магнитной стрелки. Реально склонение

определяется векторной величиной – напряженностью магнитного поля, но величина напряженности часто интереса не представляет, для ориентировки на местности достаточно знать только направление ее градиента (на магнитный север).

Непрерывные объекты заполняют всю моделируемую поверхность, «пронизывая» друг друга, их можно трактовать как свойства пространства или самой моделируемой поверхности, но по соображениям общности будем рассматривать их как самостоятельный вид объектов.

Реальный мир устроен так, что мы можем определить значения непрерывного физического поля лишь в ограниченном числе точек. Таким образом, первичной моделью непрерывного объекта служит конечное множество точечных объектов – значений физической величины, используемое в дальнейшем для построения его непрерывной, как правило – кусочно-непрерывной, модели.

Целостность. В отличие от непрерывных объектов, *дискретные* объекты отделены от среды и друг от друга, изолированы в пространственно-временном континууме, вследствие чего мы имеем возможность выделять и указывать индивидные объекты. Целостность является столь важным атрибутом объекта, что не обладающие ею образования не могут рассматриваться как объекты (хрестоматийный пример – нельзя говорить, как об объекте, о капле воды в водоеме). Свойство целостности делает некоторое образование отдельным объектом, поэтому «целое» может рассматриваться почти как синоним понятия «объект». Целостность объекта обусловлена тем, что сила его внутренних связей (между компонентами) превышает силу связей с другими объектами.

Целостность объектов является обобщающим свойством и выражается через другие универсальные свойства объекта: структуру, связность, ограниченность и устойчивость.

Структура. При геоинформационном моделировании представление геометрической структуры объектов является одной из серьезных проблем. По своей структуре геометрические объекты могут быть:

- *элементарными*, не имеющими в своем составе других объектов;
- *составными*, или *комплексами*, состоящими из других объектов, каждый из которых может быть либо элементарным, либо составным.

Разделение объектов на элементарные и составные – рациональное огрубление действительности, поскольку любой реальный объект может рассматриваться как состоящий из более простых компонентов. Но мы останавливаемся на некотором уровне расчленения объекта, зависящем от практических потребностей.

Если мы включаем объект как целое в некоторый составной объект, то мы рассматриваем его как элемент, даже если он является сложным. Если же мы изучаем внутреннее строение объекта, то рассматриваем его как систему элементов, связанных отношениями. Таким образом, один и тот же объект в зависимости от практических потребностей может трактоваться как элемент и как система. Структура сложного объекта представляет собой совокупность

устойчивых внутренних связей между его элементами и описывается посредством отношения агрегации.

Ниже будут рассматриваться преимущественно элементарные объекты, структура и свойства комплексов могут быть сколь угодно сложными.

Ограниченность объектов. Пространственная ограниченность дискретных объектов проявляется в существовании их границ, в том, что объекты обладают определенными размерами и формой, а их координаты имеют минимальные и максимальные значения.

Граница геометрического объекта делит все множество точек поверхности или пространства на две области: внутреннюю – подмножество внутренних точек объекта и внешнюю – подмножество внешних точек. Точка является *внутренней* точкой объекта, если существует ее окрестность, все точки которой принадлежат данному объекту. Если для некоторой точки может быть указана окрестность, все точки которой не принадлежат конкретному объекту, то такая точка является *внешней* по отношению к этому объекту. Если в любой сколь угодно малой окрестности некоторой точки имеются точки, как принадлежащие, так и не принадлежащие объекту, то она является *граничной*.

Моделируемая область является *сферой* (здесь и далее под сферой можно понимать не только сферу, но и ее топологические эквиваленты, поверхности, гомеоморфные сфере, – эллипсоид, выпуклый многогранник), когда моделируется вся земная поверхность, либо *поверхностью с краем* – при моделировании ограниченного участка земной поверхности. Моделирование (бесконечной) *плоскости* представляет лишь теоретический интерес.

Граница двумерного объекта на плоскости и на сфере является простой замкнутой кривой, т. е. кривой без кратных точек (рис. 9.12).

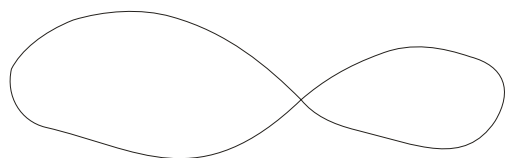


Рис. 9.12. Пример объекта с общей точкой

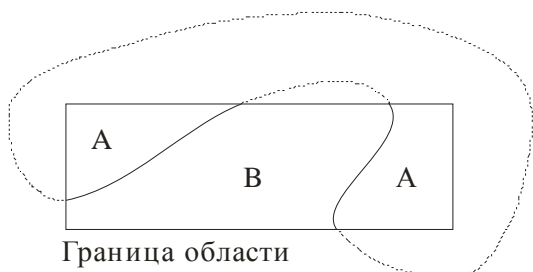


Рис. 9.13. Объекты на поверхности с краем

На поверхности с краем (ее физической моделью может служить лист бумаги) граница двумерного объекта может быть не только замкнутой, но и разомкнутой кривой или двумя и более разомкнутыми кривыми, каждая из которых начинается и заканчивается на краю поверхности. Граничную кривую (кривые) можно дополнить соответствующим участком (участками) края поверхности до замкнутой кривой. Тогда можно считать, что на любой из указанных поверхностей граница двумерного объекта является простой замкнутой кривой (рис. 9.13).

На плоскости одна из двух областей, разграниченных замкнутой кривой, характеризуется конечной площадью, а другая область имеет бесконечную площадь и не может принадлежать

объекту, так как дискретные объекты всегда имеют конечные размеры. Поэтому на плоскости проблемы с определением внутренней области объекта не возникает, так как внутренней всегда будет область, имеющая конечную площадь.

Но на поверхности с краем и на сфере (рис. 9.14), а именно эти поверхности определяют область геоинформационного моделирования, замкнутая кривая – граница двумерного объекта – разбивает поверхность на две области, каждая из которых имеет конечную площадь и может принадлежать объекту. Поэтому при моделировании объектов на поверхности с краем и на поверхности, гомеоморфной сфере, конечное значение площади не может служить критерием для выделения объекта и возникает проблема указания области, принадлежащей объекту. Ее решение может быть получено с использованием свойства ориентируемости поверхностей, так как поверхность с краем, сфера и плоскость относятся к классу ориентируемых поверхностей.

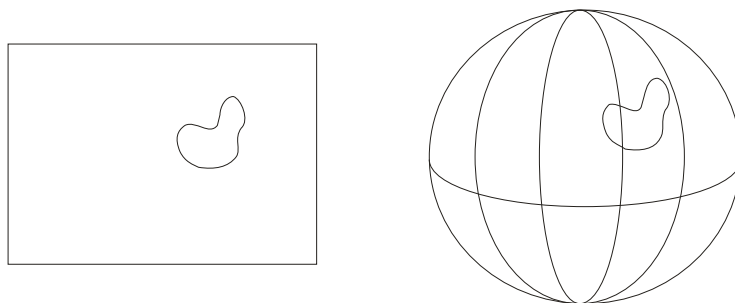


Рис. 9.14. Объект на поверхности с краем и на сфере

Нульмерный объект состоит из одной изолированной точки, любая окрестность которой содержит только точки, не принадлежащие объекту (за исключением самой точки). Поэтому изолированную точку можно считать граничной точкой. Аналогично, одномерный объект можно рассматривать как объект, не содержащий внутренних точек и состоящий только из множества граничных точек.

Теперь мы можем сказать, что непрерывный (глобальный) объект не имеет граничных точек, все точки моделируемой поверхности являются его внутренними точками. Дискретные объекты могут не иметь внутренних точек, но обязательно содержат граничные. Таким образом, наличие или отсутствие граничных точек является основанием для разделения объектов на дискретные и непрерывные.

Целостные двумерные объекты могут иметь несколько границ, взаимно не пересекающихся, но, возможно, касающихся друг друга в отдельных точках (см. рис. 9.12). На плоскости и на поверхности с краем одна из границ связного объекта является *внешней*, а остальные – *внутренними*. На плоскости критерием для отнесения границы к внутренней или внешней служит площадь. Площадь, околонтуриваемая внешней границей объекта, больше площади, ограниченной любой внутренней границей.

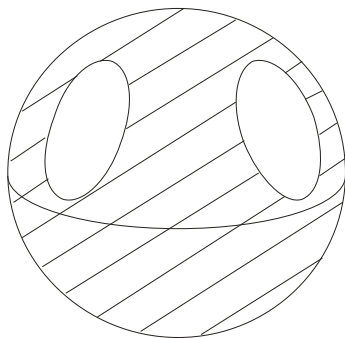


Рис. 9.15. Внутренняя
и внешняя границы

На сфере одну из нескольких граничных кривых двумерного объекта уже нельзя, строго говоря, однозначно назвать внешней границей объекта. На рис. 9.15 показан площадной объект (заштрихованная область), имеющий две одинаковые дыры. Любая из этих дыр может считаться внешней, а другая – внутренней границей объекта. В качестве примера также можно привести тропики – объект, ограниченный двумя равноудаленными от экватора параллелями. Но для общности и однозначности будем считать внешней границей объекта на сфере кривую, охватывающую наибольшую площадь. Если максимальное значение площади соответствует нескольким граничным кривым, то внешней границей можно считать любую из них. В качестве площади, ограниченной замкнутой кривой на сфере, будем считать площадь, составляющую

не более половины площади сферы.

Точки границы, разделяющей два соседних 2-мерных объекта, предлагается считать принадлежащими обоим объектам. Если с такой границей совпадает одномерный объект, то будем считать, что ее точки принадлежат трем объектам и т. д.

Граница трехмерного объекта – замкнутая поверхность, которая может иметь кратные точки.

В зависимости от выраженности границ объектов, их опознаваемости на моделируемой поверхности объекты разделяются на четкие и размытые (или нечеткие). Примером размытой границы между двумя 2-мерными объектами может служить граница между заболоченным лугом и лугом.

Связность. С целью формализации интуитивных представлений о связности физических объектов используем понятие связности геометрических объектов (точечных множеств). Понятие связности применимо только для протяженных в пространстве объектов: 1-, 2- и 3-мерных. Но по соображениям общности 0-мерные объекты также будем относить к связным. Одномерный объект мы можем рассматривать как граф. Тогда для определения связности одномерных объектов можно перефразировать определение связности графа. Будем называть одномерный объект связным, если существует цепь между любыми двумя его точками; в противном случае 1-мерный объект является несвязным. Можно дать иное определение: будем считать одномерный объект связным, если связным является соответствующий ему граф.

Двух- и трехмерные объекты подразделяются на связные, несвязные, односвязные и многосвязные. Двух- или трехмерный объект называется связным, если любые две его точки могут быть соединены кривой, не выходящей за пределы объекта, в противном случае объект называют несвязным.

Несвязный объект любой размерности может быть представлен (как комплекс) в виде объединения конечного числа своих компонент, каждая из которых является связным объектом.

Двухмерный связный объект называется односвязным, если любая не выходящая за пределы объекта замкнутая кривая может быть стянута в точку; иначе объект называют многосвязным. По аналогии, трехмерный связный объект является односвязным, если любая замкнутая поверхность, не выходящая за пределы объекта, может быть стянута в точку.

Определение одно- и многосвязного двухмерного объекта можно дать через число его границ. На плоскости, на поверхности с краем и на сфере двухмерный связный объект является односвязным, если имеет одну границу, иначе он является многосвязным.

Теперь мы можем вернуться к понятию целостности и сказать, что целостность физического (геопространственного) объекта проявляется в связности соответствующего геометрического объекта.

Комплексы. После определения понятия связности становится ясно, что несвязные геометрические объекты всегда представляют собой комплексы. Но комплексы не обязательно являются несвязными и вполне могут быть связными объектами (см. рис. 9.11).

Приведенное выше определение комплексов как произвольных образований из элементарных геометрических объектов не накладывает никаких ограничений на структуру комплексов. Однако по практическим соображениям есть смысл выделить некоторые комплексы с predetermined структурой.

В дополнение к произвольным комплексам можно ввести следующие специальные комплексы: ряд, ареал, дерево и сеть (рис. 9.16). Ряд представляет собой последовательность однородных в семантическом смысле точечных или площадных объектов, расположенных по некоторой ломаной или гладкой кривой. Ареал – это множество 0- или 2-мерных объектов, расположенных в хаотическом порядке на некоторой ограниченной площади.

Дерево – множество 1-мерных объектов, в совокупности образующих связный граф типа «дерево». Каждая вершина такого графа связана ребром только с одной вершиной – предком, а одна из вершин, называемая корнем дерева, не имеет предков.

Сеть – это связное множество 1-мерных объектов, в совокупности образующих ячеистую структуру, или граф, не содержащий изолированных вершин и не являющийся деревом. Каждая из вершин сети, называемая узлом, за исключением угловых, связана ребрами не менее чем с тремя соседними узлами; угловые узлы могут иметь связи с двумя соседними узлами. Среди

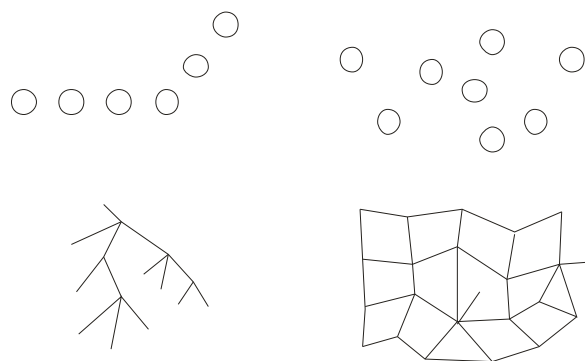


Рис. 9.16. Ряд, ареал, дерево и сеть

сетей можно выделить регулярные, полу- и нерегулярные сети. К регулярным сетям будем относить сети, образующие одинаковые по форме и размерам двухмерные объекты (ячейки). Полурегулярные сети представляют собой ряды геометрических фигур одного размера и формы, но фигуры, принадлежащие разным рядам, отличаются своими размерами и формой. Ячейки нерегулярной сети являются 2-мерными объектами произвольной формы и размеров.

Примерами ряда могут служить обсадки вдоль дорог или каналов. В качестве ареалов могут представляться группы мелких озер, небольших по площади участков леса или кустарника и т. п. Деревья можно рассматривать как специальный вид сетей. Структура типа «дерево» характерна для инженерных сетей (электрических, телефонных, канализации, отопления, в некоторых случаях – водопровода) и речной сети. Такую же структуру образуют линии водоразделов в горных системах. Нерегулярную сеть образуют дорожная сеть, сеть городских улиц, просек в лесу. Примером регулярной сети может служить сетка прямоугольных координат.

Аргументом в пользу выделения специальных комплексов служит возможность использования эффективных структур для их представления в памяти ЭВМ.

Устойчивость. Объекты могут изменять свои геометрические свойства (положение, размеры и форму) во времени с той или иной скоростью. Под устойчивостью объекта в геометрическом смысле будем понимать постоянство его геометрических параметров.

Фиксация всех параметров геометрического объекта сводится к определению положения конечного множества его граничных или некоторых характерных точек, например, центра правильной геометрической фигуры. Изменение d положения отдельной точки, определяется как $d = v \cdot t$, где v – скорость изменения положения, а t – временной интервал между двумя определениями положения точки. Изменение положения какой-либо точки может быть обнаружено моделирующей системой, если выполняется соотношение $d > s$, где s – ее геометрическое разрешение.

Точность определения перемещения отдельной точки является функцией от точности идентификации границы (и ее выраженности), точности определения координат и точности их представления в моделирующей системе. Очевидно, что пространственное разрешение системы и точность определения положения точек должны быть взаимно согласованы. Также очевидно, что выбор промежутка времени между двумя определениями положения объекта должен осуществляться в зависимости от скорости изменения положения. С другой стороны, реакция моделирующей системы должна быть достаточно высокой, в пределах система должна фиксировать объекты с высокой скоростью перемещения в режиме реального времени.

По признаку неизменности положения объекты можно разделить на стационарные, с непостоянными границами и мобильные. Стационарные объекты сохраняют свое положение, размеры и форму неизменными в течение всего жизненного цикла, либо эти изменения незначительны, и ими можно пренебречь (сооружения и т. п.).

Объекты с непостоянными границами изменяют свои размеры и форму. Примерами таких объектов могут служить объекты гидрографии, береговая линия которых может изменять свое положение в результате разрушения берегов и изменения уровня воды. При этом может изменяться связность объектов с непостоянными границами либо происходить изменение типа их пространственной локализации. Так, при изменении уровня воды два соседних озера могут слиться в одно, либо может произойти разделение одного озера на несколько малых озер.

Мобильные объекты сохраняют свои размеры и форму, но с относительно высокой скоростью изменяют положение в пространстве (транспортные средства).

Из непостоянства параметров геометрических объектов следует необходимость фиксации времени их определения.

Изменения положения объектов в зависимости от причин, их вызвавших, можно подразделять на природные (или естественные) и антропогенные. По своей направленности изменения геометрических параметров можно расчленить на случайные, поступательные и периодические, а последние делить по времени на суточные (приливы и отливы), годовые (наводнения, движение границы таяния снега или созревания зерновых) и многолетние.

Индивидуальными свойствами обладают только геометрические объекты размерности 1 и выше. Их индивидуальность проявляется в размерах и форме, для одномерных объектов – соответствующих кривых, для двумерных объектов – границ, также являющихся кривыми. Таким образом, отображение индивидуальных свойств геометрических объектов сводится к представлению некоторых свойств кривых. Индивидуальность 0-мерных объектов проявляется только в их положении.

Будем считать, что замкнутые и разомкнутые кривые являются простыми пространственными кривыми, то есть кривыми без кратных точек. Но их проекции на плоскость, на поверхность с краем или на сферу таковыми могут не быть. Пример – аттракцион «американские горки». Проекция его направляющих на горизонтальную поверхность образуют самопересекающиеся кривые. Подобные объекты встречаются редко, но, тем не менее, они существуют.

Чтобы не нарушать требование отсутствия кратных точек, такие объекты можно представлять как комплексы одномерных объектов, каждый из которых является простой кривой. Поэтому будем считать, что в общем случае все кривые являются простыми и непрерывными. По этим же соображениям как комплексы можно представлять площадные объекты, подобные изображенному на рис. 9.12.

Тогда индивидуальность геометрических объектов сводится к дифференциальным свойствам кривых. Как правило, реально о дифференциальных свойствах моделируемых криволинейных объектов мало что известно. Единственное, что можно сказать, являются ли они ломаными или гладкими. При решении задач в подавляющем большинстве случаев больше знать и не требуется.

Гладкость пространственной кривой означает непрерывность ее первых производных. Для незначительного числа объектов (шоссе и железные дороги) требуется непрерывность вторых производных (что связано с ускорением). Поэтому для адекватного представления кривых при моделировании необходимо указывать их дифференциальные свойства.

Проекции пространственных кривых на горизонтальную и вертикальную плоскости могут различаться дифференциальными свойствами. Проекция пространственной кривой на горизонтальную плоскость может быть гладкой, а на вертикальную – ломаной и наоборот.

Описание свойств гладкости кривой может осуществляться явно и неявно – указанием типа кривой (ломаная, окружность или ее дуга, сплайн и т. п.). Отображение дифференциальных свойств кривых особенно необходимо при создании высокоточных крупномасштабных моделей, как правило, получаемых топометрическим методом и используемых в САПР объектов строительства.

9.9.4. Семантические объекты

Объекты геопространства человеком мыслятся как семантические объекты. Даже рассматривая карту, человек думает не о прямоугольнике, являющемся зданием, а о здании, имеющем форму прямоугольника. Геометрическая форма объектов имеет большее значение для человека только при восприятии и изучении неизвестных ему объектов, а также при чтении карты в момент идентификации объектов.

В содержательном плане семантический объект выше был определен как совокупность семантических свойств моделируемого объекта. С логической точки зрения семантический объект является символом (термином) и как таковой обладает определенным смыслом и значением, что и делает его семантическим объектом. Дескриптивное определение конкретного типа семантических объектов дается путем указания его имманентных свойств. Как объекты, семантические объекты обладают всеми их универсальными свойствами: дискретностью или непрерывностью, целостностью, связностью, устойчивостью, ограниченностью и структурой.

Дискретность – непрерывность. Если семантические объекты рассматривать в аспекте «непрерывное – дискретное», то мы должны признать их дискретную природу. Общее число используемых человеком понятий и, тем более, понятий в конкретной предметной области ограничено. Всю совокупность семантических объектов мы можем мыслить как конечное точечное множество, которое можно называть *понятийным, или семантическим, пространством* и в котором каждому термину, обозначающему семантический объект, соответствует определенная точка.

Формально мы можем представить семантическое пространство в виде помеченного графа, каждая вершина которого обозначена термином, указывающим на определенный тип семантических объектов. Ребра, соединяющие различные вершины графа, соответствуют тем или иным отношениям между понятиями предметной области.

Ограниченность. Ограниченность семантического объекта означает, что каждое корректно сформулированное определение семантического объекта устанавливает конкретные границы используемого термина, задает область значений его имманентных свойств, в пределах которой объект является объектом именно данного типа. Одновременно определение семантического объекта устанавливает объем понятия, ограничивает число индивидуальных объектов, попадающих под определение конкретного семантического объекта.

Целостность. Целостностью семантического объекта как абстрактного объекта будем называть целостность его определения, способность указываемых имманентных свойств определять объект только в своей совокупности. Изменение состава имманентных свойств равносильно определению другого типа или разновидности семантического объекта. Таким образом, целостность семантического объекта означает целостность семантической структуры термина, обозначающего объект.

Вместе с тем, каждому семантическому объекту соответствуют определенный денотат и некоторое множество индивидуальных объектов. И целостность семантического объекта является отражением их физической целостности.

Структура. Семантические объекты по их структуре достаточно делить на *простые* и *составные*, или *агрегаты*. Для описания структуры составных семантических объектов используется отношение агрегации.

Связность. Связность семантических объектов имеет несколько граней. Прежде всего, под связностью семантического объекта будем понимать свойство его определения выделять из множества всех индивидуальных объектов предметной области подмножество индивидуальных объектов конкретного типа, связывать между собой совокупность индивидуальных объектов, объективно существующих независимо друг от друга, в определенный *тип* индивидуальных объектов, называемый *семантическим объектом*.

Определение семантических объектов осуществляется в результате изучения эмпирических объектов и выделения их общих свойств путем абстракции первого уровня, называемой в логике *абстракцией отождествления*. Связность семантических объектов возникает благодаря отношению именованного, существующему между терминами, обозначающими семантические объекты, и множеством денотатов терминов.

Кроме того, семантические объекты в нашем сознании существуют не изолированно, а связаны друг с другом множеством отношений, в результате чего семантические объекты образуют *систему понятий*. Наиболее важными отношениями между семантическими объектами являются отношения таксономии, агрегации, предикации, синонимии и омонимии.

Устойчивость. *Устойчивость семантического объекта* определим как способность индивидуальных объектов сохранять свои имманентные качества во времени. Изменение имманентных свойств индивидуального объекта приводит к трансформации объекта в другой тип. Различным типам семантических объектов присуща разная предрасположенность к подобным изменениям. Поэтому устойчивость семантического объекта будем понимать не как

неизменность имманентных свойств конкретного (индивидуального) объекта, а как устойчивость *типа* объектов.

В зависимости от скорости, с которой происходит изменение семантических объектов, их можно разделять на устойчивые, эволюционирующие и неустойчивые. *Устойчивыми* будем называть объекты, имманентные свойства которых не изменяются либо изменяются в пределах, не имеющих практического значения. *Эволюционирующими* будем называть объекты, медленно изменяющие свои имманентные свойства. Под *неустойчивыми* будем понимать объекты, способные трансформироваться в другой тип в течение короткого промежутка времени. Примером такого объекта может служить котлован под фундамент здания, который может быстро превратиться в здание либо заполниться водой и стать искусственным водоемом.

Здесь необходимо сделать два замечания. Во-первых, понятия «медленно» и «быстро» являются относительными, поэтому отнесение семантических объектов к конкретному классу устойчивости зависит от назначения моделирующей системы.

Во-вторых, степень устойчивости семантических объектов определяется семантическим разрешением моделирующей системы, под которым будем понимать ее способность отображать смысловые различия. Так, если в базе знаний присутствует объект «луг», но нет объекта «заболоченный луг», то система будет не в состоянии воспринимать и отображать соответствующие изменения, происходящие в предметной области, поскольку для нее любой луг будет лугом.

С другой стороны, устойчивость семантического объекта можно понимать как неизменность определения семантического объекта. В результате переосмысления понятий предметной области формулировка некоторых из них может измениться. Тогда *устойчивым термином*, обозначающим семантический объект, следуя сложившейся в логике практике, будем называть термин, абстрактное содержание которого может изменяться, но значение (его денотат) остается неизменным.

Таким образом, будем различать устойчивость семантического объекта (как типа) и устойчивость термина, обозначающего семантический объект.

Проблема представления индивидуальных свойств семантических объектов заслуживает особого рассмотрения. Примером индивидуальных свойств семантических объектов могут служить свойства объектов, представляемых в классификаторах топографической информации и подлежащих отображению при геоинформационном моделировании. Для перечисления индивидуальных свойств объектов служит отношение предикации.

Высказанные выше соображения могут быть использованы как отправной пункт при разработке стандарта, регламентирующего типы и свойства объектов геоинформационного моделирования. Подготовка такого стандарта необходима как для разработки программных средств геоинформационного моделирования, так и для унификации терминологии в области геоинформатики.

9.10. Практика представления семантической информации

В проблеме представления цифровых топографических данных особое место занимает представление семантической информации. Многочисленные попытки ее решения на основе так называемых «классификаторов картографической информации» в течение 20 лет не дали и не могли дать положительных результатов. Причина неудач заключается в принципах их построения и в их неполноте. Классификаторы не содержат всей информации, используемой картографом в процессе создания картографических изображений.

Практика представления семантической информации в цифровых картах следует основным положениям стандартов [2–9] и базируется на использовании классификаторов картографической (или топографической) информации. Ситуация с решением проблемы унификации и стандартизации представления цифровых топографических данных несколько различна для ЦТК/ЦТП крупных и мелких масштабов, так как ответственность за них в свое время была разделена между ГУГК (ныне – Роскартографией) и ВТУ. Для ее анализа рассмотрим три классификатора и каталог объектов.

9.10.1. Классификатор НИИПГ

Классификатор [17] (далее будем называть классификатором НИИПГ) являлся первой попыткой унификации представления цифровых топографических данных и первым (1986 г.) официально утвержденным документом ГУГК, обязательным для всех организаций, выполняющих топографо-геодезические и картографические работы. По своему содержанию он представлял собой систематизированный перечень топографических объектов (объектов местности), их элементов и свойств и предназначался для отображения содержания топографических планов и карт крупных масштабов.

По содержанию информация, включенная в классификатор, разделялась на три части:

- виды топографических объектов и основные свойства;
- геометрические и физико-технические свойства;
- прочие сведения об объектах на момент наблюдения.

В структурном отношении классификатор НИИПГ представлял собой совокупность следующих 10 таблиц:

- 1) перечень объектов классификации, основных свойств объектов и их кодовых обозначений;
- 2) перечень значений состояний объектов и их кодовых обозначений;
- 3) перечень значений материалов объектов и их кодовых обозначений;
- 4) перечень геометрических свойств объектов, элементов объектов, для которых определяются значения свойств, и их кодовых обозначений;
- 5) перечень физико-технических свойств объектов, элементов объектов, для которых определяются значения свойств, и их кодовых обозначений;
- 6) перечень информации об объектах, связанных с объектами явлений, для которых определяются значения информации, и их кодовых обозначений;

- 7) перечень точек объектов, для которых определяются значения информации, и их кодовых обозначений;
- 8) перечень объектов-синонимов, не включенных в классификатор;
- 9) перечень объектов и их цифровых кодов;
- 10) перечень объектов и их буквенных кодов.

В этом списке названия таблиц приведены в том виде, в каком они даны в классификаторе НИИПГ. Особенностью данного классификатора является наличие в нем буквенных кодов объектов. В более поздних классификаторах такой способ кодирования почти не применялся, и использовались только цифровые коды. Однако, этот факт не является свидетельством непригодности такого способа кодирования. Он предназначался для использования при подготовке исходных данных на ЕС ЭВМ, на которых отсутствовала возможность интерактивного ввода данных. Поэтому применение обладающего определенной мнемоникой буквенного кода в то время являлось вполне оправданным. С появлением интерактивного способа подготовки данных необходимость в нем отпала.

Принципиальным недостатком классификатора НИИПГ является *нарушение принципа однозначности* представления данных. Покажем это на примере перечня объектов классификации, основных свойств объектов и их кодовых обозначений, фрагмент которого приведен в табл. 9.2.

Таблица 9.2. Перечень объектов классификации, основных свойств объектов и их кодовых обозначений

Код объекта		Объект	Функциональные или природные качества (1/Ф)	Особенность конструкции или природного строения (2/К)	Назначение (3/Н)
цифр	букв.				
1	2	3	4	5	6
03	БАК	Бак	01 – напорный	01 – вертикальный цилиндрический 02 – шарообразный 03 – на столбах 04 – на фермах 05 – открытый 06 – присыпанный грунтом 07 – засыпанный грунтом	01 – для воды 02 – для горючего 03 – для кислот 04 – для химич. удобрений 05 – для нефти 06 – для керосина 07 – для бензина 08 – для мазута 09 – для дизельного топлива
34	БАЛ	Балкон		01 – на столбах	
93	ЛИН	Линия	01 – высокого напр. 02 – низкого напр. 03 – электропередачи 04 – связи 05 – техн. средств управления 06 – пути парома	01 – магистральная 02 – на фермах 03 – на столбах 04 – воздушная 05 – подземная 06 – проводная 07 – кабельная 08 – в траншее 09 – в блоке	01 – сигнализации 02 – телефонная 03 – телеграфная 04 – радиотрансляции 05 – телевизионный 06 – блокировки 07 – централизации 08 – телемеханики 09 – часификации

				10 – в канале 11 – на поверхности дна	
97	ЛОТ	Лоток	01 – длительного использования	01 – наземный 02 – на опорах 03 – на столбах 04 – в земляной плотине 05 – открытый	01 – для пропуска воды 02 – для пропуска сплавн. леса 03 – для пропуска рыбы
67	ПЕР	Перехо д	01 – пешеходный 02 – воздушной линии к кабельной подземной	01 – надземный 02 – подземный 03 – с опорами 04 – закрытый 05 – арочный	01 – через улицу 02 – через дорогу 03 – между зданиями 04 – под улицей 05 – под дорогой
68	ПЕЕ	Пере- крытие		01 – с опорами	01 – между зданиями
242	СБР	Сброс		01 – консольный 02 – с опорами	

Нетрудно заметить, что присваивание кодов (целых чисел) значениям свойств начинается в каждой графе с цифры «1». Так, например, если бак является напорным, то свойству «функциональные или природные качества» присваивается значение 01. Если тот же бак является вертикальным цилиндрическим, то свойству «особенность конструкции или природного строения» присваивается то же значение 01. А если он предназначен для хранения воды, то свойству «назначение» также должно быть присвоено значение 01. Подобным же образом присваиваются коды значениям всех других свойств.

В итоге, вероятно, около четверти всех понятий в [17] имеют код 01. Он используется для обозначения понятий «здание», «постоянная», «на автомобильной дороге», «гидро», «напорный», «вертикальный цилиндрический», «для воды», «на столбах» и многих других. В данном случае мы имеем дело с омонимией. Таким образом, в классификаторе [17] его разработчики к неоднозначности естественного языка добавили неоднозначность кодирования, когда одному коду может соответствовать множество понятий.

Примером обратной неоднозначности – синонимии, когда одному и тому же понятию может ставиться в соответствие несколько кодов – может служить хотя бы значение «на опорах» свойства «особенность конструкции или природного строения». Одному и тому же понятию «на опорах» присваиваются следующие коды: для ледолома и мачты – 01, для желоба, лотка и лестницы – 02, для решетки – 04, для мола и пирса – 05, для трубопровода – 06, для вышки – 07.

В сущности, здесь разработчики классификатора почти достигли уровня нивхов – народности, проживающей в низовьях Амура. При этнографических исследованиях в 1930-х гг. было обнаружено, что в языке нивхов отсутствовали числительные для счисления абстрактных количеств, но зато имелось около 30 разрядов числительных для обозначения конкретных числительных. Нивхи имели отдельные числительные для подсчета мелких круглых предметов, длинных предметов, плоских тонких предметов, парных предметов, живых

существ, орудий охоты, средств передвижения и т. д., вплоть до числительных, использовавшихся для обозначения толщины сала медведей и тюленей. Числительные в языке нивхов отражают созданную людьми каменного века древнейшую классификацию предметов по внешнему признаку – форме предметов.

В указанной таблице можно встретить понятие «с опорами». Так, если значение «с опорами» свойства «особенность конструкции или природного строения» относится к объекту «переход», то для его представления должен использоваться код 03. Но для перекрытия с опорами значению свойства «особенность конструкции или природного строения» должен присваиваться код 01. Для сброса с опорами значению свойства «особенность конструкции или природного строения» необходимо присваивать код 02. Одному и тому же смыслу и значению (словосочетания «с опорами») присваиваются разные коды: 01, 02 и 03.

Таким образом, в классификаторе существуют термины «на опорах» и «с опорами». Очевидно, что это синонимы. В данном случае для указания на один и тот же смысл и на одно и то же значение свойства используются разные грамматические формы. Авторы классификатора не обратили внимания на данное обстоятельство.

Классификатор содержит, по существу, классификацию знаков (слов), а не концептуальных понятий. Примерами могут служить такие объекты, как «река», «выход» и др. На с. 20 классификатора для объекта «выход» указаны следующие допустимые значения свойства «функциональные или природные качества»: монолитных пород, подземных газов, нефти, запасной (из здания), линии метрополитена (на поверхность), из подвала. Как видим, по мнению авторов классификатора, существует такой тип объектов как «выход», а его свойство «функциональные или природные качества» может принимать вышеперечисленные значения, что является грубой ошибкой.

В действительности нет ни искусственных, ни естественных объектов «выход», а есть такие типы объектов, как «выход монолитных пород», «выход из подвала», «выход нефти» и т. д., ничего общего между собой не имеющие. Так, выход монолитных пород – это сами монолитные (обнаженные) породы; название подчеркивает всего лишь их расположение над окружающей поверхностью. Выход запасной из здания – это дверной проем в стене. Если бы в условных знаках [27] запасной выход из здания был поименован как дверной проем, то авторы классификатора, вероятно, присвоили бы ему другой код.

Эти и другие перечисленные типы объектов объединяет только то, что в их названии присутствует слово «выход». Ошибка разработчиков в данном случае в том, что объекты были объединены по своим названиям, а не по своей сущности, имманентным свойствам. Разработчики не смогли решить или рассмотреть проблему омонимии.

Классификатор НИИПГ содержал другие ошибки, но рассматривать их не имеет смысла, поскольку они не носили столь принципиального характера и в настоящее время данный классификатор не используется.

9.10.2. Классификатор ФГУП центр «Сибгеоинформ»

В 1999 г. (то есть через 13 лет, когда НИИПГ был уже преобразован в центр «Сибгеоинформ») центром «Сибгеоинформ» был разработан «Классификатор топографической информации для использования в автоматизированных системах цифрового картографирования масштабов 1 : 500 – 1 : 10 000». Этот классификатор распространялся в электронном виде и по замыслу его авторов предназначался для замены классификатора НИИПГ и использования в автоматизированной информационной системе городского геодезического кадастра (АИС ГГК). По сравнению с классификатором НИИПГ, в нем для каждого типа объектов дополнительно указаны возможные виды пространственной локализации при отображении в разных масштабах. Но его качество в некоторых отношениях даже ниже качества старого классификатора.

Данный документ, если говорить строго, классификатором не является. По определению, классификатор должен представлять родовидовые отношения между объектами. Рассмотрим в качестве примера инженерные коммуникации. На верхнем уровне классификации они могут подразделяться на трубопроводы и кабельные коммуникации. На втором уровне классификации в качестве основания деления, допустим, трубопроводов может быть выбран вид транспортируемого материала. Тогда трубопроводы делились бы на газопроводы, нефтепроводы, теплотрассы и т. д. Далее газопроводы могут расчленяться по виду транспортируемого газа (пропан, ацетилен, кислород и т. п.); теплотрассы – по типу теплоносителя (перегретый пар или горячая вода); водопроводы могут делиться на водопровод горячего водоснабжения и холодного водоснабжения (или на производственный, питьевой и противопожарный водопровод) и т. д. Именно такой подход к классификации объектов был бы естественным для городского кадастра.

Представленная в документе классификация имеет только два уровня. Все множество объектов разбито на 16 классов, названных слоями (табл. 9 документа), и для каждого объекта в табл. 1 классификатора указана его принадлежность к одному из слоев. Если это классификация, то самая примитивная. Поэтому правильнее было бы назвать документ перечнем кодов, что и было подчеркнуто в классификаторе НИИПГ.

Документ назван классификатором топографической информации, что также не соответствует его содержанию. В документе топографический объект определяется как «элемент местности природного или искусственного происхождения, имеющий кроме геометрических характеристик, т. е. пространственного расположения на местности, еще и смысловые характеристики...». Тем не менее, документ содержит значительное количество объектов, не содержащих ни одной характеристики, кроме пространственного положения: акведуки, баки, брандмауэры, бремсберги и т. д. Кроме того, существуют воображаемые объекты (границы, красные линии...), отсутствующие на местности, но отображаемые на топографических планах. Перечисленные объекты не отвечают приведенному определению, но все же являются

топографическими. Следовательно, определение топографического объекта некорректно.

Далее в документе приводится определение картографического объекта. Но зачем давать в классификаторе топографической информации определение картографического объекта, к тому же весьма спорное? По мнению авторов, «картографический объект – есть формализованное отображение на карте (плане) соответствующего ему топографического объекта на местности». Формализованное описание некоторого объекта предполагает использование определенного логико-математического (формального) языка, характеризующегося точными правилами построения выражений и их интерпретации. В данном определении вместо термина «формализованное» более уместным было бы употребление понятия «картографическое».

В документе можно встретить такие (по мнению авторов – топографические, а в действительности – картографические) объекты, как горизонтالي, изобаты, надпись, стрелка течения водотока, стрелка направления приливных и отливных течений, 20 объектов с названием «характеристика».

В табл. 5 «Перечень пород и материалов для природных и искусственных объектов» этого классификатора присутствует такой фрагмент:

Код	Порода или материал
128	Топографический полужирный (Т-132)
...	...
133	Древний курсив (Д-431),

что никак не может быть отнесено к топографическим объектам. Авторы классификатора не заметили несоответствия между названием правой колонки и ее содержанием.

Наличие определения картографического объекта и перечисленных странностей можно объяснить тем, что вопреки своему названию документ является *перечнем кодов картографических объектов*, так как все топографические объекты являются картографическими, но не все картографические объекты суть топографические.

Приведенные замечания здесь даны для того, чтобы точно обозначить место данного классификатора в системе нормативных документов по представлению цифровой топографической и картографической продукции.

Авторы классификатора утверждают, что разработанный ими документ является технологическим. Возможно, они хотели сказать, что он не предназначен для обмена цифровыми данными, а только для использования в технологических процессах их создания и обработки. Но «технологический» классификатор не нуждается в чем-либо утверждении. Внутреннее представление данных в информационной системе находится в компетенции ее разработчиков и может быть даже их ноу-хау. Если данный документ не призван регламентировать внешнее представление данных, то описание формата данных излишне. Но поскольку оно дано, рассмотрим и его.

Предложенный формат может быть отнесен к классу последовательных. Известно три типа форматов данного класса: фиксированный, переменный с разделителями и переменный с ключевыми словами. Наиболее простым

является *фиксированный формат* – формат, в котором порядок следования реквизитов (атрибутов) и длина каждого реквизита являются постоянными. *Переменный формат* представляет собой формат, в котором порядок следования реквизитов является постоянным, а длина реквизитов – переменной; для указания конца реквизитов и их разделения служат разделители. В *переменном формате с ключевыми словами* порядок следования реквизитов и их длина могут быть произвольными. Для обозначения имен реквизитов, а также для отделения имени реквизита от его значения и указания концов реквизитов используются ключевые слова и служебные символы.

Предлагаемый в классификаторе формат не может быть отнесен ни к одному из перечисленных типов и является плохо продуманным конгломератом. Его применение для представления данных крайне проблематично.

В документе говорится, что у *каждого объекта может быть только по одной главной и дополнительной характеристике*. Такое решение приводит к тому, что для некоторых объектов могут быть представлены не все значения свойств, названных разработчиками главными. Так, если имеется индивидуальный капитальный гараж, то в соответствии с указанным ограничением можно задать только одно свойство: либо то, что он капитальный, либо то, что он индивидуальный. Аналогичные коллизии могут возникнуть при попытке описания свойств таких объектов, как группа гаражей, будка (железнодорожная | круглая или прямоугольная), будка (регулирующих движение | круглая или прямоугольная), дорога (строящаяся | пешеходная или шоссе), здание (нежилое | подземное), здание (производственное | строящееся) и т. д. Невозможность представления нескольких значений «главных» свойств объектов является серьезным изъяном формата, хотя и устранимым, но не единственным. На других недостатках формата останавливаться не будем.

Основное содержание документа представлено в его таблице «Перечень объектов классификации, основных свойств объектов и их кодовых обозначений», и основные претензии вызывает именно эта таблица. Условные знаки топографических планов самых крупных масштабов содержат около 400 типов объектов. Каждый из этих объектов характеризуется, как правило, несколькими свойствами. Хотя часть этих свойств у разных объектов повторяется (состояние, материал, назначение...), многие свойства являются уникальными, присущими только объектам определенного типа. Поэтому можно считать, что общее количество наименований свойств достигает, по меньшей мере, нескольких десятков.

Однако, в таблице «Перечень объектов классификации...» для представления всего этого многообразия свойств отводится только шесть граф и, соответственно, шесть наименований свойств:

- главное свойство,
- дополнительное свойство,
- материал,
- метрические характеристики,

- назначение
- и такое загадочное свойство, как «информация явлений объектов»(?).

В результате, из всего множества наименований свойств объектов только два из них имеют коды, а именно: материал (буквенный код М) и назначение (с кодом N). Все остальные свойства будут поступать в принимающую информационную систему *обезличенными*, не имеющими кодов. Примерами таких свойств являются особенности расположения объекта, форма, проходимость болот, состояние объекта, особенности конструкции и многие другие. Отмеченный недостаток является очень серьезным, поскольку перед разработчиками принимающей системы возникают проблемы, сложность которых на порядок выше сложности задачи, стоявшей перед разработчиками классификатора и не получившей удовлетворительного решения.

Обезличивание наименований свойств произошло вследствие примененного авторами принципа, названного ими «жестким описанием объектов». Использование «жесткого» принципа – это не плохое, а очень плохое решение. Объективно нет никакой необходимости в определении «главных» и «дополнительных» свойств объектов. Для разных категорий пользователей главными и второстепенными будут разные свойства объектов. Авторам документа их изобретение потребовалось только для того, чтобы поместить все многообразие уникальных наименований свойств объектов (несколько десятков) в шесть граф.

Указанный недостаток таблицы «Перечень объектов классификации...» является, к глубокому сожалению, не единственным *принципиальным* недостатком. Чтобы объяснить другой серьезный порок документа, необходимо напомнить об особенностях человеческого мышления и естественных языков, поскольку таблицы условных знаков предназначались для человека, а разработчики документа механически перенесли их особенности в автоматизированную систему.

Известно, что человеческое мышление отличается нестрогостью, расплывчатостью многих понятий и даже метафоричностью. Также известно, что любой естественный язык характеризуется многозначностью смысла. Специалисты по лингвистике считают, что полисемия – объективно необходимое свойство человеческого языка. В развитых языках насчитывается порядка 400–500 тысяч слов. Без полисемии человеку пришлось бы запоминать слов в несколько раз больше, а язык утратил бы такие свойства, как выразительность и гибкость.

На эту сторону языка обращал внимание еще Дж. фон Нейман, приводя пример с треугольником. Люди называют треугольником не только определенную геометрическую фигуру, но и фигуры с искривленными сторонами или только с обозначенными вершинами. От себя добавим, что существуют и такие «треугольники», как Бермудский, семантический и другие. Таким образом, человек называет треугольником самые разные объекты, обладающие только *некоторыми* свойствами треугольника.

Аналогичным образом человек часто поступает и при именовании других объектов. Покажем это на примере объектов из таблицы «Перечень объектов

классификации...». Как и в [17], имеется тип объекта «выход», и его обязательное свойство может принимать значения «запасной», «на поверхность», «нефти», «подземных газов». Таким образом, объекты «выход из здания», «выход на поверхность из метро», «выход нефти» и «выход подземных газов», по мнению авторов документа, являются объектами одного типа, в связи с чем им присвоен один код – 89.

Высказанные выше критические замечания в адрес классификатора НИИПГ остаются справедливыми и для данного решения. Отличия от [17] в том, что выход из здания отнесен к слою 2 (строения, сооружения и их части), выход на поверхность из метро – к слою 4 (железные дороги и сооружения при них), выход подземных газов – к слою 3 (промышленные сооружения). Выходы подземных газов не имеют никакого отношения не только к промышленным объектам, но и к искусственным объектам вообще. Но это не принципиально. Важно нарушение сущности таксономии: в результате такой «классификации» один и тот же объект (объект – в понимании разработчиков) занимает в ней несколько разных мест!

Принципиально также то, что подобным образом присваиваются коды всем объектам, в названии которых присутствуют *совпадающие начальные слова*: ворота и ворота габаритные; вход в грот или в пещеру и вход в метро; въезд во двор и въезд на второй этаж (пандус); колодец (для воды) и колодец смотровой и т. п. Наиболее показателен пример с каменной рекой. Авторы документа не учли, что «река каменная» – это образное выражение, метафора, помогающая человеку, не видевшему ни одной каменной реки, представить ее внешний вид. «Река каменная» – это нерасчленимое словосочетание; стоит только разделить эти два слова, как смысл слова «река» меняется. Как всем рекам, реке каменной присвоен код 144, но в отличие от обычных рек, отнесенных к слою 6 (гидрография), она отнесена к слою 10 (грунты и микроформы земной поверхности), что правильно.

В семиотике с каждым понятием связаны знак, концепт и денотат, образующие так называемый «треугольник Фреге» или «семантический треугольник» (см. главу 2). *Знак* – это эмпирический объект, используемый для указания на другие эмпирические или абстрактные объекты. Каждому знаку соответствует определенный *концепт* – абстрактное содержание, понимание которого необходимо для адекватного употребления данного знака. Примерами концептов могут служить такие абстрактные объекты (то есть типы объектов) или понятия как здание, река, луг и т. д. Вместе с тем, каждому знаку может быть поставлен в соответствие *денотат* – абстрактный или эмпирический (индивидуальный) объект. Таким образом, слово (знак) «здание» может обозначать как абстрактный объект (концепт), так и некоторое конкретное здание. В некоторых этнических языках при указании на абстрактный объект используется неопределенный артикль, а при указании на конкретный – определенный, но в русском языке такого различия нет.

Очевидно, что авторы данного документа не делают различия между словами и понятиями, между знаком и его концептом, между обозначающим и обозначаемым. И присваивают одинаковые коды объектам, представляющим

разные *сущности*, либо наоборот, обозначают разными кодами одни и те же понятия, если для их передачи используются разные грамматические формы. Аналогичная ошибка была допущена в классификаторе НИИПГ, авторы классификатора ФГУП центр «Сибгеоинформ» ее повторили.

В [17] имелся тип объекта «градирня», свойство «особенность конструкции или природного строения» которого могло принимать значение «башенная». В классификаторе ФГУП центр «Сибгеоинформ» такого объекта нет, но есть объект «башня», обязательное (в терминологии авторов классификатора) свойство которого может принимать значения «историческая», «пожарная каланча», «радио», «силосная», «телевизионная» и «градирня».

В частном примере с градирней и в других случаях просматривается вполне определенная концепция – картографическое видение реального мира. В [17] точка зрения на градирни была правильной, поскольку градирня является самостоятельным типом объекта – элементом системы оборотного водоснабжения. Выделение высоких предметов, являющихся хорошими ориентирами на местности, и даже их объединение в некоторое родовое понятие «сооружение башенного типа» вполне разумно при создании традиционных карт, поскольку они прежде всего могут быть использованы для ориентирования на местности. Однако логика использования цифровых моделей местности для решения прикладных задач требует выделения объекта «градирня» как компонента более сложного объекта «система водоснабжения».

«Картографическая» классификация топографических объектов, когда объекты рассматриваются с позиций человека, абсолютно некомпетентного в структуре и функциях инженерных сооружений и воспринимающего только их внешнюю форму, представляется наивной вообще, но при создании *системы городского кадастра* – глубоко ошибочной. В данном случае классификация искусственных объектов должна осуществляться с инженерно-технических позиций и, в первую очередь, – по их функциональному назначению.

Наряду с упомянутыми ошибками концептуального характера, документ содержит множество менее значимых ошибок, что свидетельствует о неряшливости его разработки.

Сомнительным образом присваиваются коды значениям дополнительных свойств в табл. 4: 88 – высокоствольное, 89 – высокоствольный; 129 – естественная, 131 – естественный; 137 – закрытые, 138 – закрытый; 188 – лиственная, 189 – лиственное, 190 – лиственный и т. д.

Некоторые объекты являются составными, но они трактуются как элементарные (дамба, откос...), а необходимые элементарные объекты в документе отсутствуют.

Странным образом представлен объект «дерево». Если дерево является елью, пихтой, кипарисом, лиственницей, пальмой, сосной или кедром, то это рассматривается как главное свойство, хотя есть графа «материал или порода». В этой графе порода указывается только для мелко- и широколиственных пород. На этом странности не кончаются. Отдельно стоящие деревья, ряды деревьев и полосы деревьев имеют код 11. Кроме того, значение «отдельно стоящее»

помещено в графу дополнительных свойств, а «ряд деревьев» – в графу главных свойств.

Наряду с объектом «трубопровод», есть объекты «водопровод» и «канализация», но нет объектов «газопровод», «нефтепровод» или «теплопровод». Объекты «башня» имеют только одно значение дополнительного свойства – «капитальная», противоположных ему значений нет. А если все башни капитальные, то трудно понять, зачем указывать это свойство. Объект «башня» имеет значения главного свойства «градирня», «водонапорная» и т. д. Эти значения следовало присвоить свойству «назначение». Правильнее было ввести объект «градирня» и указать его свойство «башенного типа», как это было сделано в классификаторе НИИПГ.

Объект «борозда» имеет только одно значение свойства – эрозионная. Следовало ввести объект «борозда эрозионная», поскольку других борозд в документе нет. Для бремсберга указано только одно значение свойства – строящийся. Отсутствие других значений приводит к тому, что принимающая система не сможет отличить, например, действующие бремсберги от недействующих или разрушенных.

В классификаторе введены такие объекты, как граница скотомогильника, граница фирнового поля, граница растительности и грунтов, хотя их границы не могут существовать независимо от самих объектов. Сделано это потому, что вычерчивание границ указанных объектов на топографических планах имеет некоторые особенности. Следовательно, в данном случае авторы опять классифицируют не топографические объекты, а их условные знаки.

Дорога с главным свойством «зимняя» имеет значение дополнительного свойства «зимник». Но зимняя дорога и есть зимник, это синонимы. Для знака береговой сигнализации не представляется возможным присвоить два не исключających друг друга значения дополнительного свойства «постоянный» и «имеющий значение ориентира». Кроме того, прямое назначение знаков береговой сигнализации состоит в том, чтобы служить ориентиром для судоводителей.

В дополнение к объекту «река» с дополнительным свойством «река каменная» авторами придуман еще и объект «камень» с дополнительным свойством «река каменная»! В конце концов, что же такое река каменная: камень или река? В документе есть канализация ливневая открытая и самотечная, то нет канализации бытовой, производственной и напорной.

В классификаторе есть объект «пункт» со значениями свойства «в стене здания», «на естественном бугре», «на кургане», «на скале-останце». Было бы логично дополнить его значениями «на кирхе», «на костеле» и «на церкви», а не изобретать у объектов «кирха», «костел» и «церковь» главное свойство «пункт геодезический сетей сгущения». Тем более, что *главное свойство* церкви, костела или кирхи – служить местом отправления религиозных обрядов.

Едва ли можно понять логику, в соответствии с которой «залитый» является главным свойством колодца, а «залитый водой» – дополнительным. Лестница с главным свойством «спуск» имеет дополнительное свойство «на набережную». На другие объекты спусков нет. Следовало бы оставить

словосочетание «спуск на набережную» неделимым и поместить его в графу «назначение». Для лестницы и для всех других искусственных объектов назначение и является главным свойством.

У откоса есть значение главного свойства «нижняя бровка», но нет верхней бровки. Кроме того, нижняя и верхняя бровки являются не свойствами, а элементарными объектами, входящими в составной объект – откос.

Следовало бы объединить название объекта «печь» со значением его главного свойства «для обжига» в одно понятие «печь для обжига», так как других печей в документе нет. Аналогичным образом можно поступить с объектом «порог» и значением его свойства «на реке». Просека имеет только одно значение главного свойства «в лесу», другие значения свойства не приведены. А если они не возможны, то следовало бы создать объект «просека лесная» или даже просто «просека».

Приведем еще один фрагмент таблицы «Перечень объектов классификации...» документа (табл. 9.3).

Таблица 9.3. Фрагмент перечня объектов классификации

Объект	Код	Главное свойство		Дополнительное свойство	
		Наименование	Код	Наименование	Код
Разработка	209	открытая карьер	300	Рудн. ископаем.	403
Разработка	209	открытая карьер	300	Угля	514
Разработка	209	открытая солян.	299		
Разработка	209	открытая торф.	301		

Здесь «соляная» и «торфяная» находятся в графе «главное свойство», а «рудных ископаемых» и «угля» – в графе «дополнительное свойство», что нелогично. Следует также отметить, что в заголовке данной таблицы графы «наименование» для главного и дополнительного свойств названы *неправильно*, так как в них представлены *не наименования*, а *значения* свойств.

В табл. 6 «Перечень метрических и функциональных характеристик и их цифровых кодов» необходимо заменить: 30 «дно» (м) – на «отметка дна» (м); 31 «лоток» (м) – на «отметка лотка» (м) и т. д.

Из приложения 3 «Перечень объектов, имеющих синонимы и не включенных в классификатор» следует, что авторы классификатора путают отношение синонимии с отношением таксономии. Трельяж трактуется как синоним изгороди, хотя это разновидность легкого ограждения. Водопровод является не синонимом трубопровода, а его разновидностью. Таким же образом марка и репер не синонимы нивелирного знака, а его разновидности.

В настоящей работе не ставилась задача исчерпывающего анализа документа. Приведены лишь концептуальные и некоторые менее существенные ошибки, бросающиеся в глаза даже при не очень тщательном изучении документа и достаточные для того, чтобы сделать вывод о нецелесообразности его производственного использования.

Между классификатором НИИПГ и последним классификатором НИИПГ, а затем в ФГУП центр «Сибгеоинформ» было разработано несколько

вариантов. Все они принципиально от классификатора 1986 г. не отличались, различия были в частностях. Авторы последующих версий упорно повторяют ошибки своих предшественников. Но то, что было простительно для не имевших абсолютно никакого опыта разработчиков первого классификатора, не может быть принято сегодня. Необходимо признать, что итогом почти 20-летних разработок является отрицательный результат, поскольку данный классификатор практически не отчуждаем от программы, параллельно с которой он создавался.

9.10.3. Классификатор НИИПМК

Классификатор НИИ прикладной математики и кибернетики (НИИПМК) при Горьковском государственном университете для цифровых топографических карт средних и мелких масштабов имеет особое значение, поскольку он использовался в течение нескольких лет при создании ЦТК по технологии РАСТР-2/2П. Общее число ЦТК, созданных центрами геоинформатики и предприятиями Роскартографии с применением данного классификатора, составляет десятки тысяч.

Но он в большей степени является классификатором условных знаков, элементов картографического изображения, чем классификатором объектов местности и их свойств. В нем причудливым образом перемешаны содержание карты и картографическое изображение; *обозначаемое и обозначающее рассматриваются как элементы одного множества*. Примеров тому большое количество, ниже рассматриваются только некоторые из них.

Едва ли не все объекты имеют две разновидности: выражающиеся и невыражающиеся в масштабе карты. Существуют такие объекты, как «река и ручей постоянный в 2 линии», «река и ручей постоянный в 1 линию», «река постоянная в 1 линию (утолщенная)». Таким объектам присваиваются *разные коды*. В классификаторе, наряду с площадными объектами, существуют такие объекты, как *«штриховые условные знаки»*, например, объект «пашня» (код – 7.4.1) и объект *«штриховой УЗ пашни»* (код – 7.10.3.1.1).

Кроме объектов «зимняя дорога» (код – 5.1.5.5) и «участки грунтовых дорог» (код – 5.1.5.6), классификатор содержит такие объекты, как «участок зимника по узкой реке» (код – 5.1.5.6.5) и «участок зимника по льду реки, озера, залива и т. д.» (код – 5.1.5.6.7).

Вот два фрагмента классификатора из раздела «Картографические характеристики» (табл. 9.4).

Таблица 9.4. Фрагменты таблицы «Картографические характеристики»

Код	Значение
10.1.2.1.4.4	Средняя ширина объекта на местности
10.1.2.1.4.4.1	Средняя ширина менее 3 м
10.1.2.1.4.4.2	<i>Средняя ширина от 3 до 5 м</i>
10.1.2.1.4.4.3	<i>Средняя ширина от 3 до 10 м</i>
10.1.2.1.4.4.4	<i>Средняя ширина менее 5 м</i>
10.1.2.1.4.4.5	Средняя ширина 5 м и более
10.1.2.1.4.4.6	Средняя ширина от 5 до 10 м
...	...
10.1.2.1.4.4.35	Средняя ширина от 300 до 500 м
...	...
3.1.	Градация населенных пунктов по численности населения
3.1.1	Численность населения 1 000 000 и более
3.1.2	Численность населения от 500 000 до 1 000 000
...	...
3.1.15	Численность населения менее 100

Теперь попробуйте решить, например, какой код из выделенных в таблице курсивом присваивать реке, если ее средняя ширина 4 м: 10.1.2.1.4.4.2, 10.1.2.1.4.4.3 или 10.1.2.1.4.4.4. Подобная градация необходима только для системы распознавания картографических изображений. По поводу этих фрагментов и ряда других следует сказать, что потребителям цифровых топографических данных нет никакого дела до того, как вычерчиваются карты. В последних двух случаях было бы вполне естественно и достаточно ввести соответствующие значения самих числовых характеристик «средняя ширина» и «численность населения», а не коды.

Объяснением такого подхода служит необходимость распознавания образов. При решении этой задачи требуется знание всех условностей картографического отображения. Таким образом, наличие данного классификатора в РАСТР-2/2П вполне оправдано. Без его существования высокий уровень коэффициента автоматизации в РАСТР-2/2П был бы невозможен. Следовательно, данный классификатор является технологическим. Концептуальная ошибка состоит в том, что технологический классификатор предлагалось использовать для обмена информацией между системами различного назначения.

Для кодирования семантической информации в программном комплексе РАСТР-2/2П использован 8-значный иерархический код. Впервые данный принцип представления семантических данных был применен в системе АРКА, в настоящее время используется в комплексах НЕВА и ПАНОРАМА. В упомянутых программных комплексах кодирование информации имеет незначительные отличия, но основной принцип сохраняется. Таким образом, нетрудно заметить, что он использовался разработчиками, имевшими то или иное отношение к ВТУ.

Кроме того, стандарт [3, с. 6] требует: «5.2.2.1 Кодирование в иерархической системе классификации выполняется с использованием последовательного метода. В качестве алфавита кода используется смешанный

символьный код (вначале цифры от 1 до 9, потом буквы латинского алфавита от А до F). Длина кода постоянная. Кодовое обозначение представляет собой последовательность восьми однозначных разрядов. Значимость разрядов понижается слева направо. Каждый символ старшего разряда указывает на принадлежность объекта (или классификационной группировки) к определенному элементу содержания, второй символ обозначает номер классификационной группировки второй ступени классификации и т. д. до последней ступени. В тех случаях, когда деление на элементарные объекты происходит на более высоких уровнях классификации, в оставшиеся младшие разряды кодового обозначения заносят нули».

Таким образом, классификация в системах АРКА, РАСТР, НЕВА, ПАНОРАМА во всем отвечает требованиям данного пункта стандарта [3]. Примеры кодирования объектов в системе РАСТР-2 представлены в табл. 9.5.

Таблица 9.5. Примеры кодов объектов в РАСТР-2/2П

Код	Значение
4.0.0.0.0.0.0	Промышленные, сельскохозяйственные, социально-культур-ные объекты
4.1.0.0.0.0.0	Промышленные объекты
4.1.1.0.0.0.0	Промышленные предприятия
4.2.0.0.0.0.0	Социально-культурные объекты
4.2.1.0.0.0.0	Строения культового назначения
4.1.4.1.1.2.1.1	Устье действующей шахты или эксплуатационного шурфа
4.1.4.1.1.2.1.2	Устье действующей штольни
4.1.4.1.2.1.1.0	Карьер, выражающийся в масштабе карты, незначительной глубины
4.1.4.1.2.1.2.0	Карьер, выражающийся в масштабе карты, значительной глубины

Прежде всего, отметим, что на одной карте некоторые объекты могут выражаться в ее масштабе, а на другой – не выражаться. По логике авторов классификатора, им необходимо присваивать разные коды. Почему? Потому что это разные *картографические* объекты.

Кроме того, следует отметить *неэффективность представления данных* в РАСТР-2/2П:

- даже если объект находится на верхнем уровне классификации, его код при хранении в базе данных будет дополняться справа нулями до восьми символов (например, 4.0.0.0.0.0.0.0);

- указание иерархии объектов производится для *каждого* объекта в базе данных, хотя сведения об отношении таксономии между объектами можно представлять только один раз в базе знаний, а затем их считывать по мере необходимости. В базах данных могут храниться миллионы и более объектов, и такое представление семантических данных ведет к неэффективному использованию памяти ЭВМ.

Существуют системы автоматизированного проектирования, в которых число уровней отношения агрегации составляет около 200. Принятый в системе РАСТР-2/2П принцип кодирования *неэффективен и с точки зрения развития системы*. Если потребуется расширить классификацию объектов, то может

случиться так, что зарезервированного числа символов для представления всех возможных вариантов на некотором уровне классификации или восьми уровней будет недостаточно для представления родовидовых отношений, тогда как для многих объектов будет требоваться меньше восьми уровней. Любое серьезное изменение данной системы кодирования и, прежде всего, ее расширение потребует существенных затрат на модификацию программного обеспечения.

Система кодирования данных в РАСТР-2/2П ставит очень серьезные проблемы перед разработчиками геоинформационной системы, принимающей эти данные в качестве исходных. В каждой из восьми позиций кода нумерация возможных значений начинается с единицы. Поэтому, чтобы правильно интерпретировать значение любого символа, за исключением первого, принимающая система должна понимать смысл каждого предшествующего символа кода.

Явление, с которым мы сталкиваемся в данном случае, называется *контекстной зависимостью*, когда об однозначности и адекватности содержания можно говорить только в границах определенного контекста, вне его те или иные знаки могут вообще не иметь какого-либо смысла. Даже человек может не понять или понять неправильно фрагмент, вырванный из контекста; при обработке информации автоматом неоднозначность противопоказана категорически. По указанным причинам высокая надежность функционирования автоматизированной информационной системы, созданной на основе подобных классификаторов, не может быть обеспечена.

Чтобы правильно понимать *любые* семантические данные, принимающая автоматизированная система должна хранить *весь классификатор* программного комплекса РАСТР-2/2П, иметь тот же уровень компетентности в вопросе представления данных, что и передающая система. Этот недостаток – контекстная зависимость – был присущ также классификаторам НИИПГ и ФГУП центр «Сибгеоинформ».

В то же время любая геоинформационная система ориентирована на решение задач определенного круга пользователей, имеющих свои собственные концептуальные представления об объектах земной поверхности и свою оригинальную классификацию объектов. Так, ПО «Инжгеодезия» выполняло работы для заказчика, делившего на самом верхнем уровне классификации все множество объектов на четыре класса: теплопроизводящие объекты, теплопреобразующие объекты, теплопотребляющие объекты и прочие объекты. Уже из самой классификации объектов легко понять, к какой категории пользователей он относился. И классификация объектов пользователем не является неправильной, а соответствует решаемым им задачам.

В общем случае классификация объектов пользователем может быть не столь простой, как в приведенном выше примере, и уровень ее сложности может быть сопоставим или даже превышать уровень сложности топографической классификации. Примером может служить таксономия объектов градостроительного кадастра. Разработчики такой геоинформационной системы должны будут реализовать две системы

классификации объектов и установить между их элементами однозначное соответствие, что само по себе может представлять сложную задачу.

Использованный в РАСТР-2/2П подход к представлению семантических данных зародился в эпоху первых ЭВМ. Единицей памяти вычислительных машин первого и второго поколений была ячейка длиной от 30 до 50 (или около того) двоичных разрядов. Кроме того, оперативная память машин была очень дорогой и небольшой по объему (несколько тысяч ячеек). Программисты были вынуждены «упаковывать» в одну ячейку памяти несколько значений. Под каждый реквизит в ячейке отводилось то или иное число двоичных разрядов и, естественно, *кодирование каждого реквизита начиналось с 1* и ограничивалось самыми малыми целыми числами. В дополнение к программе прилагался «классификатор» информации, содержащий указания на положение реквизитов и правила интерпретации их кодов. Квалификация программиста оценивалась и по его умению упаковывать данные.

Пример такой упаковки приведен на рис. 9.17. В примере предполагается, что ячейка ЭВМ содержит 36 двоичных разрядов (такую длину ячейки имела, например, ЭВМ «Минск-22»). Число работающих в организации может составлять до 1 023 человек. Разряды с 0 по 9 отведены программистом под табельный номер сотрудника. Разряд 10 используется для представления пола (0 – женский, 1 – мужской). Разряды 11–16 использованы для обозначения подразделения, в котором работает соответствующий сотрудник, например, 00 – бухгалтерия, 01 – отдел кадров... В данных разрядах можно представить $2^6 = 64$ подразделений. Если число подразделений превысит указанный предел, то программисту придется переписывать программу, начиная с упаковки данных. Разряды 17–21 отведены для представления должностей, число которых не может превышать 2^5 . Для представления должностей также вводились коды, например, 00 – техник, 01 – старший техник и т. д. Аналогичным образом программист осуществлял упаковку всех других необходимых реквизитов.

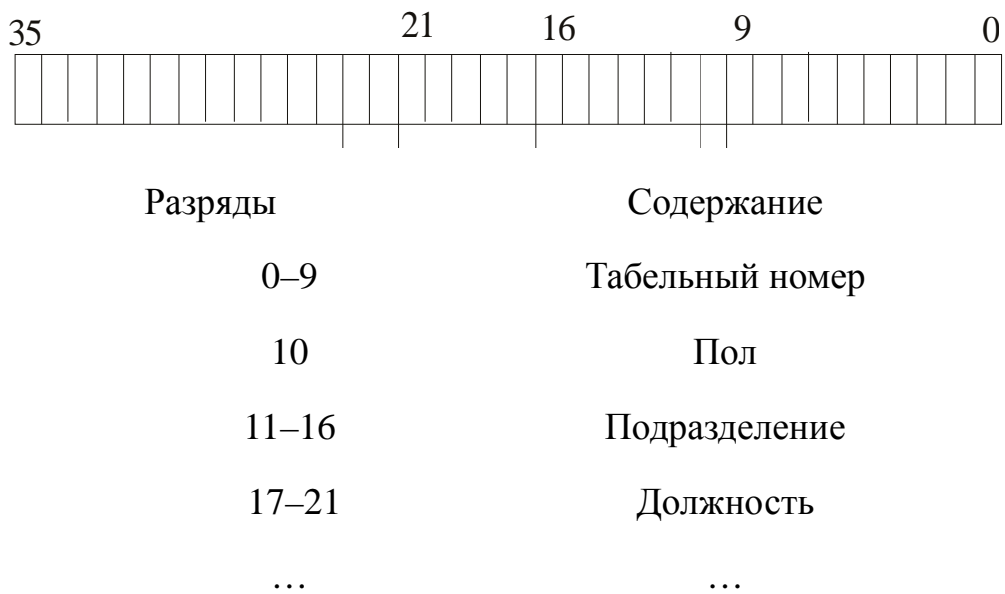


Рис. 9.17. Пример упаковки данных

С течением времени сменились поколения ЭВМ и программистов, изменились критерии эффективности программного обеспечения, но стиль представления данных, как мы видим, продолжает существовать. На смену ячейкам пришла байтовая организация памяти ЭВМ, ее объем достигает фантастических размеров (сегодня до $2 \cdot 10^9$ байт), но каждая новая волна программистов начинает, как и их предшественники, кодирование *каждого* реквизита с единицы, следствием чего является сложность интерпретации данных принимающей системой.

Иерархические коды объектов в системе РАСТР-2/2П можно рассматривать как целые числа. Например, значение кода 4.1.4.1.1.2.1.1 можно трактовать как целое число 41411211. Тогда оказывается, что совокупность кодов объектов представляется целыми числами в диапазоне от 10 000 000 (минимальное значение, обозначающее термин «опорные пункты и геофизические данные») до 83 200 000 (максимальное значение, соответствующее объекту «пограничная комендатура»). При таком кодировании семантических данных можно представить коды 73 200 000 типов объектов, но в действительности в системе используется примерно 2 300 кодов, т. е. порядка 0.003 % от их теоретически возможного числа. На долю пустот приходится около 99.997 %, что никак нельзя признать эффективным представлением информации.

9.10.4. Каталог объектов местности

В [26] сообщалось о разработке ГосГИСЦентром каталога объектов местности, позднее он был опубликован в качестве отраслевого стандарта [10]. Стимулом для его создания послужила инициатива, осуществляемая Международной картографической ассоциацией (МКА). Данная разработка – только первый шаг в правильном направлении, то есть к системам, основанным на знаниях.

Стандарт «устанавливает перечень объектов местности и их свойств, подлежащих отображению в содержании цифровых моделей местности, в том числе цифровых топографических карт масштабов 1 : 10 000 – 1 : 1 000 000 и цифровых топографических планов масштабов 1 : 500 – 1 : 25 000» [10, с. 2]. Данное утверждение является слишком сильным. В действительности, чтобы представить содержание топографических карт и планов от масштаба 1 : 1 000 000 до масштаба 1 : 500 объем классификатора должен быть в несколько раз больше.

В структурном отношении данный ОСТ представляет собой совокупность трех таблиц:

- объекты;
- характеристики объектов;
- характеристики объектов и их значения.

Прежде всего, следует отметить, что едва ли не впервые после 1986 г. продекларированы *цифровые модели местности*, что является безусловным достоинством данного документа. Но его содержание свидетельствует о непоследовательности в реализации идеи цифровых моделей местности и о рецидивах все той же концепции цифровых карт, что будет показано ниже.

Другим основополагающим принципом создания каталога является *принцип обобщения понятий*, хотя авторами каталога этот факт никак не отмечается. Но использование указанного принципа является серьезной ошибкой. Вычислительные машины не обладают такими знаниями о геопространстве, какими обладает человек. Точнее, они будут обладать только теми знаниями, которые включены в данный каталог. Поэтому *в содержание каталога должны быть включены все понятия, используемые для выражения содержания топографических карт и планов всего масштабного ряда!*

Необходимо также отметить, что в таблицах каталога (табл. 9.6–9.8) есть только порядковые номера терминов и отсутствуют *коды* объектов, *коды* наименований свойств и *коды* значений качественных свойств перечисляемого типа. Это дает возможность поставщикам цифровых топографических данных присваивать всем кодам понятий произвольные значения. Если получателю цифровые данные будут поступать от разных поставщиков, то каждый раз перед ним будет возникать проблема установления соответствия между множеством его собственных кодов и множеством кодов конкретного поставщика. Но если бы в каталоге объектов местности коды присутствовали, то эту задачу ему достаточно было бы решить *один раз*.

Таблица каталога, названная его авторами «Объекты» (табл. 9.6), в сущности, представляет собой *отношение предикации*, то есть отношение между объектами и присущими им свойствами, поскольку в ней объекты не только перечисляются, но для каждого из них указываются все его свойства. Объекты даны в алфавитном порядке, но иногда этот порядок нарушается. В словосочетаниях существительные следовало бы ставить на первое место, как это дано, например, для объекта «баки водонапорные». В тексте каталога данное правило часто не соблюдается, и мы встречаем такие объекты, как «водная растительность», «водопропускные сооружения» и т. д. Из-за несоблюдения этого правила пользователям каталога придется тратить больше времени на поиск объектов. (Сомнительные решения в табл. 9.6–9.8 нами выделены курсивом.)

Таблица 9.6. Объекты

№ п/п	Наименование объекта	Определение	Название характеристики
10	Болота	Участки суши с обильным застойным или слабопроточным увлажнением грунта в течение большей части года	Тип Собственное название Глубина болота Состояние
15	Водоемы	Постоянные или временные скопления бессточных или с замедленным стоком вод в естественных или искусственных углублениях земной поверхности	Тип Собственное название ... Период
19	Водотоки	Водные потоки с движением воды в направлении уклона в углублении земной поверхности	Тип Состояние ... Вид водоемов (водотоков)
32	Границы	Линии, закрепленные на местности или условные, разделяющие какие-либо территории	Тип Сопредельная сторона справа Сопредельная сторона слева
13 1	Подписи	Объекты, плановое положение которых определяется с помощью соответствующим образом размещенного собственного названия, так как границы их невозможно однозначно определить на местности	Собственное название

Среди объектов присутствует такой как «границы». В таблице «Характеристики объектов и их значения» (табл. 9.8) свойство «тип» этого объекта может принимать значения: границы государственные; границы республик, краев, областей; границы районов; границы государственных заповедников; границы государственных заказников...

Однако в каталоге странным образом отсутствуют такие объекты, как государства, республики, края, области, районы и т. д. Границы этих площадных объектов есть, а самих объектов нет. Объяснение данному факту в том, что мы имеем дело с наследием цифрового картографирования, картографическим видением действительности: границы вычерчиваются тем или иным образом, являются *картографическим* объектом... и поэтому включаются в каталог.

Таблица «Характеристики объектов» (см. табл. 9.7) содержит описание объектов местности и описание свойств объектов как *объектов данных*. В памяти ЭВМ для каждого данного отводится определенное количество байт и устанавливаются допустимые операции над этим данным. В языках программирования для обозначения вида данных используется термин «тип», об этом уже говорилось в главе 4.

Значения свойств также являются объектом машинной обработки. Для некоторых свойств в обсуждаемой таблице тип данных указан неправильно. В частности, *глубина болота* относится к вещественным числам, над которыми могут выполняться арифметические операции. Но в каталоге она отнесена к

символьным переменным, над которыми могут выполняться операции *конкатенации* (слияния) строк или *выделения подстроки*. Как известно, единицы измерения могут иметь только количественные характеристики. Символьные значения относятся к качественным свойствам и не могут иметь единиц измерения. Таким же образом неправильно указан тип (символьный) для свойств «значение магнитного склонения», «максимальное значение склонения», «градация по числу жителей» (измеряемая в тысячах жителей) и ряда других.

Таблица 9.7. Характеристики объектов

№ п/п	Название характеристики	Определение	Тип значения характеристики	Наличие перечисляемых значений	Единица измерения
1	Абсолютная высота	Расстояние по вертикали от среднего уровня поверхности океана до точки земной поверхности	Вещественная	нет	м
16	Значение магнитного склонения	Значение угла между магнитным и географическим меридианами в данной точке земной поверхности	<i>Символьная</i>	нет	<i>градус</i>
17	<i>Вид водоема</i>	<i>Характеристика, детализирующая вид водоемов или водотоков</i>	Символьная	<i>да</i>	
29	Глубина болота	Суммарная мощность поверхностного слоя болота и толщи торфа до минерального дна	<i>Символьная</i>	нет	<i>м</i>
32	<i>Градация НП по числу жителей</i>	Градация НП по числу жителей	<i>Символьная</i>	<i>да</i>	<i>тысяча жителей</i>
36	Дата (число, месяц, год)	Календарная дата каких-либо измерений, производства работ	<i>Символьная</i>	нет	
37	Дебит	Наполняемость естественного или искусственного источника в единицу времени	<i>Целая</i>	нет	л/ч
43	Карстовые породы	Горные породы и условия, в которых развивается такое явление, как карст	Символьная	да	

Кроме того, характеристика «дата» является количественной величиной, над которой можно выполнять определенные арифметические действия по особым правилам. Некоторые свойства являются агрегатами (или группами) как, например, дата, но в каталоге все свойства рассматриваются как элементарные.

В таблице «Объекты» присутствуют не все типы объектов. Так, есть объекты «водоемы», но нет объектов «озеро», «море»..., есть объект «водотоки», и нет объектов «ручьи» или «реки». Тем не менее, понятия «реки», «ручьи» и многие другие объекты в каталоге все-таки есть. Они приводятся в таблице «Характеристики объектов и их значения» (табл. 9.8). Осуществляется это путем введения у многих типов объектов, в том числе у водоемов и водотоков, такого свойства как «тип». И в данной таблице «реки» и «ручьи» рассматриваются как *значения свойства* «тип», предиктируемого объекту «водоток». Таким образом, родовидовое отношение между объектами заменено отношением между названием свойства и его допустимыми значениями, то есть отношением между атрибутом и его доменом (см. главу 5).

С другой стороны, с помощью этого же отношения выражается отношение агрегации. В качестве примера можно рассмотреть свойство «тип» для объекта «части шлюза». Данный объект введен искусственно как родовой по отношению к воротам, камере шлюза и т. п. В реальности ворота и камеры не разновидности шлюза, а являются компонентами агрегата «шлюз» и образуют такой объект только в совокупности.

Замена отношения агрегации и отношения таксономии отношением между свойством и его допустимыми значениями в принципе не позволяет отобразить больше двух уровней иерархии. Так, в каталоге нельзя показать, что водотоки и водоемы являются объектами гидрографии. Равным образом, нельзя отобразить многоуровневую классификацию инженерных коммуникаций и всех прочих объектов.

Наконец, для других свойств в указанной таблице действительно перечисляются допустимые значения свойств. Примерами служат такие свойства, как материал покрытия или материал сооружения.

Таким образом, таблица «Характеристики объектов и их значения» являет собой конгломерат из трех типов отношений. По нашему мнению, такое объединение совершенно нецелесообразно и требуется их разделение и *явное представление отношений таксономии и отношений агрегации*. Возможно, что разработать каталог в таком виде было несколько проще. Но его применение при представлении цифровых данных существенно усложняется, поскольку усложняется логика использующих его программ.

Рассмотрим характеристику «Градация НП по числу жителей» (№ 4 в табл. 9.8). Населенные пункты существуют объективно и не имеют такого свойства. Объективно они вполне характеризуются численностью жителей. Градация была введена картографами как способ отображения численности жителей с целью уменьшения многообразия. Число жителей населенных пунктов относится к топографическим знаниям, а градация по числу жителей – к картографическим. Если документ заявлен как *каталог объектов местности*, то в нем не должно быть места для представления *картографических знаний*.

Таблица 9.8. Характеристики объектов и их значения

№ п/п	Название характеристики	Значение характеристики
4	<i>Градация НП по числу жителей</i>	1 000 000 и более 500 000 – 1 000 000 ... <i>менее 2 000</i> 1 000 и более <i>менее 1 000</i> от 500 до 1 000 <i>менее 500</i> <i>от 100 до 1 000</i> <i>от 100 до 500</i> менее 100
9	Карстовые породы	гипс глина ... термокарсты
12	Материал покрытия	асфальт бетон ... щебень
13	Материал сооружения	асбестоцемент ... чугун
15	Назначение	Для объекта «Бензоколонки»: бензоколонки колонки дизельного топлива Для объекта «Вентиляторы»: <i>вентиляторы метро</i> Для объекта «Вышки буровые» нефтяные газовые
23	<i>Принадлежность</i>	гидрографические объекты гидротехнические объекты приливы отливы открытые сети трубопроводы
29	Сомкнутость древостоя	<i>редкий</i>

№ п/п	Название характеристики	Значение характеристики
34	Тип	<p>Для объекта «Аэродромы»: аэродромы на суше гидроаэродромы ...</p> <p>Для объекта «Водоемы»: океаны моря озера хранилища воды</p> <p>Для объекта «Водотоки»: реки ручьи</p> <p>Для объекта «Границы»: <i>границы государственные</i> <i>границы республик, краев, областей</i> ... <i>границы районов</i> ... <i>границы государственных заповедников</i> <i>границы государственных заказников</i></p> <p>Для объекта «Скульптуры, мемориальные и культовые сооружения»: скульптуры <i>туры</i> <i>каменные столбы</i> <i>туры, каменные столбы</i> памятники, монументы, скульптурные фигуры памятники, монументы, туры, братские могилы, отдельные могилы, имеющие значения ориентиров ... <i>мазары, субурганы, обо</i> <i>мазары</i> субурганы обо</p> <p>Для объекта «Части шлюза» камеры палы ворота</p> <p>Для объекта «Части зданий» часть разноэтажного здания часть здания с колоннами вместо первого этажа часть здания нависающая, не имеющая опор</p>

Эта ошибка повторяется при описании свойства «тип» для объекта «Скульптуры, мемориальные и культовые сооружения» и в ряде других случаев. Все они являются примерами непоследовательности в реализации идеи цифровых моделей местности, о которой говорилось выше. Кроме того, каталог содержит множество не столь принципиальных ошибок

Если подводить итог его анализа, то следует признать, что он не может быть использован в качестве *стандарта*, хотя бы и отраслевого, и должен быть изъят из обращения. Даже если каталог объектов в точности соответствует структуре документов, разработанных МКА, то едва ли есть смысл повторять чужие ошибки.

9.10.5. Общие замечания по представлению семантических данных

Проанализированные выше три классификатора картографической информации характеризуются общими серьезными недостатками:

- необходимостью хранения классификационных отношений в базе данных;

- неоднозначностью (контекстной зависимостью) представления данных.

Анализировать другие классификаторы, которым нет числа, не имеет смысла, так как все они придерживаются принципов, первоначально использованных либо в классификаторе НИИПГ, либо в классификаторе системы АРКА.

Использование системы классификации объектов для обмена данными между различными информационными системами не является столь необходимым, как это представляется на первый взгляд. Косвенным доказательством этого утверждения является широкое распространение в России ГИС MapInfo, вообще не поддерживающей какой-либо классификации объектов. Данная система является довольно ограниченной по своим возможностям обработки семантических данных. Все объекты в MapInfo представляются на одном уровне, какие-либо межобъектные отношения в ней не воспроизводятся. По нашему мнению, широкий спрос на MapInfo является временным явлением, объясняющимся сегодняшними скромными требованиями массового пользователя, не имеющего ни теоретической подготовки в области геоинформационного моделирования, ни достаточного опыта использования ГИС и плохо представляющего потенциальные возможности программного обеспечения.

С накоплением опыта эксплуатации ГИС будет происходить возрастание информационных потребностей массового пользователя. Если говорить точнее, то эти потребности существуют и сегодня, но не осознаются большинством пользователей. Несомненно, что с течением времени повышение компетентности конечных пользователей в области геоинформационных технологий будет сопровождаться возрастанием их требований к программным продуктам и представлению данных.

С другой стороны, необязательность представления родовидовых отношений подтверждается практикой общения между различными категориями специалистов. Разные специалисты имеют различные концептуальные представления об одних и тех же объектах. Например, объект «здание» с точки зрения пожарника и «здание» с точки зрения санитарного врача или специалиста по отоплению представляют собой разные объекты. Каждый из них имеет собственную классификацию объектов, в которой объект «здание» занимает разные места. Но в разговоре между собой врач, специалист

по отоплению и пожарник поймут друг друга, разумеется, в границах своей компетенции. Понимание между ними происходит потому, что используемый символ «здание» имеет для них различный (в определенной степени) смысл, но одно и то же значение, указывает на один и тот же денотат – понятие здания.

В процессе компьютерной коммуникации также не требуется, чтобы принимающая система имела представления о классификации объектов в передающей системе. Для обеспечения понимания между двумя автоматизированными системами достаточно выполнения простого условия – одному и тому же символу (термину) в обеих системах должен соответствовать один и тот же денотат.

В общем случае обмен данными между двумя системами может быть проиллюстрирован следующим образом. Пусть X – множество терминов, входящих в компетенцию передающей системы A ; Y – множество терминов, входящих в компетенцию принимающей системы B , а $Z = X \cap Y$ – множество терминов, входящих в компетенцию обеих систем A и B . Разность множеств $X \setminus Y$ представляет собой множество объектов, моделируемых системой A , но не представляющих интереса для системы B . Разность $Y \setminus X$ – это множество объектов, интересующих систему B , но не отображаемых системой A .

Очевидно, что в общем случае даже не требуется, чтобы каждое понятие подмножества Z в обеих системах обозначалось одним и тем же символом, а вполне достаточно *однозначности именования понятий в каждой из систем*, что дает возможность установить взаимно однозначное соответствие между символами двух систем.

Таким образом, можно сделать важный вывод о том, что *для обмена цифровыми данными вообще не требуется хранить в базе данных и передавать вместе с этими данными отношение таксономии*. Более того. *Отношения таксономии могут существенно различаться в передающей и принимающей системах*.

Поясним этот вывод на следующем примере. Человек является объектом моделирования во многих автоматизированных информационных системах: в отделах кадров, медицинских учреждениях, военкоматах, налоговых службах, органах внутренних дел, общественных организациях и т. п. В каждой такой системе о конкретной личности хранятся различные данные, но некоторые данные являются общими для многих систем, например, ФИО, дата и место рождения, паспортные данные.

Кроме того, в каждой системе используется своя собственная, уникальная таксономия человеческих личностей. На самом верхнем уровне в отделе кадров сотрудники могут быть «рассортированы» по отделам, затем – по должности и т. д. В медицинском учреждении нас могут упорядочивать по участкам или по заболеваниям. В УВД граждан могут классифицировать по месту регистрации (прописки) или по числу приводов в милицию и т. д.

Но такие системы могут обмениваться между собой общими данными о конкретных личностях, например, в формате триады «объект – свойство – значение». Причем, эти триады могут даже следовать в произвольном порядке. Необходимым условием подобного обмена является однозначное представление

данных в каждой системе. Тогда не составляет труда установить однозначное соответствие между наименованиями и значениями свойств в двух информационных системах. Задача информационного обмена еще более упростится, если будут использованы одни и те же коды для наименований и значений качественных свойств.

Необходимость представления отношения таксономии в базе данных и при обмене данными (в системах АРКА, РАСТР...) является следствием второго недостатка проанализированных классификаторов – нарушения принципа однозначности представления данных. Это может вызывать удивление, поскольку однозначность представления данных является общеизвестным фундаментальным принципом. Следовательно, для повышения эффективности обмена семантической информацией в первую очередь необходимо избавиться от неоднозначности ее представления.

Намерения решить задачу представления семантической информации на основе «классификаторов» не могли закончиться успехом. Причина здесь не в слабости коллективов разработчиков, а в используемых принципах и отсутствии достаточной теоретической проработки. Для успешного решения указанной проблемы требуется другая методология – использование систем, основанных на знаниях.

9.11. Представление знаний о земной поверхности

9.11.1. Определение геоинформационных потребностей

Проблема унификации представления семантических данных в цифровом картографировании и геоинформатике имеет исключительное значение, поскольку от ее решения зависят корректность и эффективность обмена данными между различными автоматизированными системами. Сегодня эту задачу принято решать на основе классификаторов топографической (или картографической) информации. Анализ некоторых классификаторов был дан выше. Указанные там недостатки могут быть отнесены и к другим попыткам представления семантической информации об объектах местности на основе классификаторов. Поэтому необходимо ставить вопрос не о достоинствах или недостатках отдельных классификаторов, а об основных принципах и концепциях, о подходе к решению задачи представления семантических данных в ГИС и системах автоматизированного картографирования.

Принципиальные недостатки всех известных нам классификаторов обусловлены тем, что их авторы с первых шагов озабочены задачей создания карт и планов, получения картографического изображения на бумаге или экране монитора программным путем. И задача классификации *картографируемых* объектов, осознанно или нет, подменяется задачей классификации *картографических* объектов, что не одно и то же.

Такой подход не корректен, поскольку представление информации в базах топографических данных и вычерчивание топографических карт или планов – это разные, хотя и взаимосвязанные задачи. Внутримашинное представление геопространства – это геоинформационная модель, которая *должна быть ориентирована на решение всего множества задач конечных*

пользователей. На основе геоинформационной модели одни пользователи могут вычислять площади земельных участков для взимания налогов, другие – находить кратчайшие маршруты между различными пунктами, третьи – вести учет определенных объектов, например, недвижимости и т. д. Наконец, геоинформационная модель может использоваться для построения картографического изображения предметной области.

Описание предметной области должно осуществляться в терминах моделируемых объектов, их свойств и отношений и должно адекватно представлять выделенный фрагмент геопространства вне зависимости от потребности в получении его картографического отображения.

Описание картографического изображения необходимо выполнять в картографических, точнее – графических терминах, таких как цвет, толщина и «стиль» линии, тип и размер шрифта, тип, цвет, яркость, размер и ориентация условного знака и т. п. Внутримашинное описание картографического изображения – это электронная карта, представляющая собой перевод с языка геоинформационной модели на язык изобразительных средств.

Таким образом, геоинформационная модель и электронная карта представляют собой разные сущности. Первая является удобным для компьютера представлением выделенной части объективно существующего мира, вторая – описанием его картографического изображения, ориентированного на *восприятие человеком*. По мнению автора, серьезным пороком концепции цифровых карт является то, что в их содержании эклектически перемешано содержание геоинформационной модели и содержание электронной карты, что не только не является необходимостью, но даже создает дополнительные проблемы при анализе модели предметной области.

Целесообразность разделения двух описаний можно пояснить на примере гипотетической автоматизированной системы для обработки литературных текстов. Если нас интересует содержание «Евгения Онегина», то достаточно ввести текст этого произведения в указанную систему. Но, следуя идеологии цифровых карт, можно придумать и ввести «цифровой текст», который будет выглядеть примерно так: «На странице 1 первые пять строк пропущены, на 6-й строке с красной строки (5 пропущенных символов) шрифтом таким-то кегль такой-то следует текст “Мой дядя самых честных правил”, на 7-й строке (шрифт и кегль те же) следует текст “Когда не в шутку занемог” и т. д.». Если систему интересует дядино здоровье, то сведения о полиграфических особенностях конкретного издания ей не только безразличны, но даже противопоказаны, поскольку, кроме задачи анализа текста, перед ней возникает еще задача его извлечения из «цифрового текста». С другой стороны, любую *издательскую* систему точно так же абсолютно не интересует содержание текста; с ее точки зрения текст – это последовательность неинтерпретируемых, не имеющих смысла символов и не более того.

Бесспорно, что можно написать программу, способную обрабатывать «цифровые тексты». Но также бесспорно, что этого делать не нужно. По соображениям рациональности требуется различать представление данных для системы анализа текстов и представление данных для издательской системы,

даже если это одни и те же исходные тексты. Подобным же образом необходимо действовать и в нашем случае, хотя полной аналогии нет, и различать описание геопространства (геоинформационной модели) и описание картографического изображения (электронной карты).

И вторая задача должна решаться *после* решения первой. Следовательно, первый принцип, которому мы должны следовать, – это многократно проверенный временем и настойчиво рекомендуемый в литературе принцип разбиения сложной задачи на подзадачи.

Если мы ставим перед собой задачу создания геоинформационных моделей, то перед нами сразу возникает вопрос об их адекватности. Это – второй обязательный принцип. Необходимый уровень адекватности моделей будет достигнут, если они будут обладать потенциальной способностью отображать все множество объектов, их свойств и отношений выбранной предметной области.

Наконец, последний важный принцип – принцип однозначности представления данных, соблюдение которого является необходимым условием функционирования любой автоматизированной системы обработки данных. Несмотря на общеизвестность принципа однозначности, на практике его часто игнорируют, что было показано выше при анализе классификаторов.

9.11.2. Некоторые предпосылки решения задачи

Важным свойством задач геоинформационного моделирования является их плохая формализуемость. Однако, в мире уже накоплен значительный опыт разработки систем для решения трудноформализуемых задач. Сегодня такие системы строятся на принципах искусственного интеллекта, в котором принято выделять два основных направления. Первое из них, называемое *логическим*, занимается разработкой методов формального решения задач. Второе направление – *когнитивное* – используя результаты первого, исследует принципы организации человеческой памяти, человеческое мышление и методы их моделирования. Системы, воспроизводящие логику специалистов в процессе решения задач в конкретной проблемной области, образуют широкий класс экспертных систем. Лучшие результаты решения плохо формализуемых задач сегодня получают с применением именно экспертных систем.

Принципиальных проблем с определением структуры экспертных систем и выполняемых ими функций сегодня не существует. Тем не менее, при разработке конкретной экспертной системы существует задача, от решения которой зависит успех реализации всего проекта в целом – внутреннее представление знаний в системе. Это означает, что прежде всего необходимо решить, какие знания требуется представлять в системе, что и как представлять. Иначе – нужно определить содержание и форму представления, способ организации знаний в системе. Некоторые специалисты по искусственному интеллекту считают, что если проблема представления знаний решена удачно, то остальные задачи решаются «сами собой».

Доступ к любой базе знаний должны иметь как человек, так и компьютер. Она формируется человеком-экспертом, а компьютером используется в

процессе решения задач из конкретной проблемной области. Поэтому разработка базы знаний предполагает и разработку соответствующих программных средств – системы управления базой знаний (СУБЗ).

9.11.3. Разделение сущностей и отношений

Предлагаемое ниже решение задачи представления семантических данных в геоинформационных и автоматизированных картографических системах основано на моделировании человеческого мышления. Следуя принципу разбиения сложной задачи на подзадачи, в первую очередь выделим задачу *кодирования* семантических данных и знаний – внутрисистемного представления (именования) различных сущностей предметной области.

Человек мыслит понятиями, при этом термины любой предметной области он разбивает на три самые крупные категории: объекты, свойства и отношения. Человек обладает также знаниями о *типе* каждого термина и может сказать, является ли конкретный термин объектом, свойством или отношением. Знания о типе терминов относятся к знаниям о знаниях, или метазнаниям.

Хотя абстрактные объекты и отношения взаимосвязаны, в мышлении они ведут относительно самостоятельное существование. Объекты первичны: чтобы существовали отношения, должны существовать объекты. Человек вначале выделяет различные сущности предметной области, а затем изучает их взаимосвязи. Относительная независимость объектов, свойств и отношений как понятий проявляется в том, что отдельный индивид может не иметь точного и полного представления об отношениях между объектами или их свойствах даже в конкретной проблемной области. В различных проблемных областях могут изучаться различные свойства одних и тех же объектов и типы межобъектных отношений и существовать различные классификации объектов (так, человек может рассматриваться с точки зрения биологии, медицины, социологии, юриспруденции и т. д.). Тем не менее, специалисты различных областей понимают, о каких объектах идет речь, поскольку совпадают денотаты (значения) используемых ими терминов, даже если их концепты (смысл) могут существенно различаться. Классификация объектов может изменяться по мере изучения предметной области.

При геоинформационном моделировании, как и в любой другой предметной области, необходимо разделять операции выделения сущностей и определения отношений между ними.

9.11.4. Тезаурус

Поскольку присваивание кодов понятиям является критической операцией, постольку перечень понятий и совокупность отношений должны быть разделены в операционном смысле, чтобы доступ к средствам ведения перечня понятий был разумно ограничен. Поэтому, первое, что необходимо сделать, – это решить задачу выделения и внутрисистемного именования понятий предметной области. Решение данной задачи достигается созданием *тезауруса* (от греч. *thesauros* – сокровище, сокровищница) – *перечня терминов*, выражающих содержание топографических карт и планов всего масштабного

ряда, т. е. от масштаба 1 : 500 до масштаба 1 : 1 000 000 включительно. По сути дела, перечень используемых системой терминов должен выполнять функцию *универсального множества*, или *универсума*.

С формальной точки зрения тезаурус будем рассматривать как четырехместное отношение $T(t, i, k, e)$, где t – термин, i – тип термина, k – код термина, e – экспликация термина. Тезаурус может быть представлен в виде табл. 9.9.

Таблица 9.9. Структура тезауруса

Термин	Тип термина	Код термина	Экспликация термина
Автовокзал	Объект	1	Комплекс сооружений, предназначенный для... и т. д.
Состояние	Название свойства	123	Свойство, характеризующее стадию жизненного цикла объекта
Водоотводящий	Значение свойства	1234	Предназначенный для отвода водного потока в сторону
Метр	Единица измерений	12	

Термин – символ (слово или словосочетание русского языка), используемый для обозначения некоторого эмпирического или абстрактного объекта. Примерами терминов могут служить символы «здание», «время действия перевала», «материал», «разрушенный», «на опорах» и т. д. Термины необходимы только для общения между пользователем и системой, понимания человеком сообщений, выдаваемых системой обработки данных. Таким образом, термин является интерпретацией машинного кода. С внутрисистемной точки зрения использование терминов не является необходимым.

Термины, выражаемые существительными, даются, если это возможно, в именительном падеже единственного числа, в противном случае – в именительном падеже множественного числа (ворота, копи и т. д.). Для передачи терминов, выражаемых прилагательными и причастиями, используется именительный падеж единственного числа мужского рода. Наряду с этим используются неизменяемые словосочетания, например «на опорах», «из метро» и т. д.

Тип термина. Все термины, составляющие содержание карт и планов, подразделяются на четыре категории:

1) названия сущностей (объектов, явлений) предметной области; примерами могут служить понятия «мост», «затапливаемая площадь», «линия электропередачи» и т. д.;

2) названия свойств объектов, такие как «материал», «число этажей», «глубина» и т. п.;

3) названия значений качественных свойств; здесь имеются в виду только фиксированные значения качественных свойств; их примерами могут служить термины «деревянный», «недействующий», «хвойный», «соленый» и т. д.;

4) названия единиц измерения количественных свойств.

Код термина является *внутрисистемным именем* (меткой, идентификатором) термина, при описании взаимосвязей между понятиями система оперирует только кодами понятий.

Наиболее естественным для ЭВМ типом данных являются целые числа, поэтому для кодирования терминов достаточно использовать целые числа без знака длиной 2 байта, что позволит хранить в системе 65 535 понятий. В развитых современных естественных языках содержится порядка 400 тысяч слов, поэтому можно ожидать, что для достижения этого предела потребуются продолжительный период времени. Такой принцип кодирования позволяет избавиться от контекстной зависимости и достичь однозначности.

Если указанный предел все-таки будет достигнут и возникнет необходимость расширения области возможных значений кодов терминов, то эта проблема легко решается путем использования длинных целых чисел (4 байта) без знака, что позволит представлять коды более 4 миллиардов терминов.

Хотя такое число может показаться чрезмерным, но 65 535 терминов может не хватить, если база топографических знаний в будущем будет интегрироваться со специальными базами знаний об объектах земной поверхности (геологическими, экологическими, дорожными, сельскохозяйственными, энергетическими, лесоустроительными и др.) и возникнет задача создания единого *семантического* (понятийного) *пространства* для различных предметных областей. Тезаурус можно рассматривать как реализацию такого пространства.

Кодам терминов значения присваиваются последовательно, начиная с 1. Перечень не должен содержать терминов с одинаковыми значениями кодов; значения кодов должны быть уникальными. Значение кода 0 должно служить признаком неопределенного значения, указывающим на то, что данному термину код еще не присвоен.

Экспликация термина – уточнение смысла термина – может содержать вербальное описание (текст), чертежи, рисунки, схемы и фотографии, помогающие уяснить суть термина по возможности без обращения к другим источникам информации. В состав текста могут помещаться перекрестные ссылки, то есть вербальное описание может представлять собой *гипертекст*. Пояснения должны помогать формированию концептуальных представлений об отдельных объектах и всей предметной области в целом у неподготовленного конечного пользователя, сталкивающегося с необходимостью ее изучения.

В принципе, включение экспликации терминов в тезаурус не является обязательным, поскольку человек может получить необходимую ему информацию из других источников, но весьма желательно для однозначной интерпретации понятий различными специалистами. Включение экспликации понятий в базу знаний обеспечит ей свойство целостности и завершенности. Кроме того, начинающие пользователи потратят минимум времени на изучение предметной области.

9.11.5. Сравнение с существующими решениями

Сегодня ситуация в области автоматизации картографирования и в геоинформатике вызывает аналогии с библейской историей строительства Вавилонской башни. Можно ожидать примерно такого же финала, когда многое из сделанного будет просто выброшено. Одной из основных причин критического состояния геоинформационных технологий является неудовлетворительное качество разработанных классификаторов топографической (или картографической) информации. Теперь можно говорить даже об их концептуальной ущербности.

Организация базы знаний об объектах земной поверхности как перечня понятий и совокупности отношений диктуется:

1) первичностью понятий – понятия должны быть перечислены до определения межпонятийных отношений;

2) необходимостью соблюдения строгой дисциплины при присваивании кодов понятиям, и, следовательно, ограничения доступа к средствам создания и ведения тезауруса.

Использование единого для всех предметных областей перечня понятий и предложенного выше принципа кодирования понятий значительно упрощает решение проблемы взаимопонимания между автоматизированными системами, используемыми в различных проблемных областях. Можно утверждать, что *создание и использование общего тезауруса является необходимым условием создания единого геоинформационного пространства*. Разрозненные понятия представляют мало ценности, это не более чем «куча». Человек мыслит предметную область как систему. Поэтому другим необходимым элементом при создании концептуальной модели предметной области являются отношения. Если понятия рассматривать как «кирпичи», то отношения – это «цементный раствор», объединяющий понятия в некоторую конструкцию.

Для развитой системы геомоделирования наиболее важными видами отношений, реализация которых должна осуществляться в первую очередь, являются так называемые *фундаментальные* отношения:

- отношение таксономии (обобщения, родовидовое);
- отношение агрегации;
- отношение предикации (между объектом и его свойствами).

Общей ошибкой при разработке классификаторов является явное или неявное, осознанное или нет разделение указанных трех категорий понятий (объектов, названий свойств и значений свойств) на соответствующие три множества и независимое кодирование каждого из них, что уже само по себе порождает проблему неоднозначности. Пока что человек выполняет обработку смысла лучше, чем автомат. Поэтому при разработке системы кодирования необходимо исходить из способа организации человеческой памяти, логики человеческого мышления и языковой практики. Едва ли мозг человека разделен на отдельные секции, в одной из которых хранятся названия объектов, в другой – названия свойств, а в третьей – названия значений свойств. Вероятнее всего, наша память представляет собой единое «адресное пространство», в котором

хранятся все понятия. Одновременно с каждым понятием хранится его тип, и мы можем сказать, является ли конкретное понятие объектом, названием свойства или значением свойства.

Множество кодов терминов представляет собой часть формального или машинного языка для описания состояния предметной области. Для образования внутрисистемных терминов и их обозначения мы можем использовать некоторые закономерности создания понятий в человеческом мышлении. С этой целью рассмотрим особенности словообразования, но не в процессе научного познания действительности, а в повседневной человеческой практике.

Интересующие нас особенности этнических языков были описаны в [18]. Например, жителям севера, где земля большую часть года находится под снежным покровом, очень важно знать состояние снега, от чего может зависеть их существование. Поэтому в языке ненцев для понятия «снег» используется около 40 различных слов. Аналогичная картина наблюдается в чукотском языке, где есть отдельные слова даже для первого снега, который растает, и для первого снега, который не растает, и т. д. В исландском языке насчитывается около полутора тысяч слов, связанных с погодой, поскольку погода имеет чрезвычайно важное значение для занятых овцеводством и рыболовством островитян. Даже ветер разной силы в исландском языке обозначается различными словами.

В эскимосском языке насчитывается более 20 указательных местоимений и свыше 80 слов (без синонимов), обозначающих разные направления и положения в пространстве. Объясняется это необходимостью во время коллективной охоты передавать пространственную информацию с предельной скоростью и точностью.

Там же приводятся и противоположные примеры, когда человек для обозначения объектов, с которыми ему приходится сталкиваться редко, использует обобщенные понятия. Так, слово «попугай» во многих языках южных стран, то есть именно там, где попугаи водятся, отсутствует, но зато есть отдельные слова для обозначения каждого вида попугаев. Слово «попугай», обозначающее попугая вообще, имеется в языках только тех стран, где попугаи не водятся.

Приведенные примеры демонстрируют влияние практических потребностей на понятийный и словарный состав естественного языка. Общей тенденцией во всех без исключения языках является стремление к выделению отдельных слов для обозначения часто используемых понятий с целью сокращения времени обмена информацией.

Таким же образом, но уже с целью сокращения объема необходимой памяти, мы можем поступать при создании тезауруса – обозначать объект с часто встречающимся сочетанием свойств отдельным термином и присваивать ему код. Например, часто встречающимся типом объекта является одноэтажный деревянный жилой дом. Если в базе знаний имеется тип объекта «здание, строение» со свойствами «материал постройки», «количество этажей», «назначение», то мы можем создать термин «дом деревянный одноэтажный

жилой» и присвоить ему некоторый код. Тогда в базе данных все объекты, обладающие свойствами «объект = здание» \wedge «материал постройки = дерево» \wedge «количество этажей = 1» \wedge «назначение = жилой» заменяются объектом «дом деревянный одноэтажный жилой». До введения указанного нового термина для каждого такого объекта в базе данных необходимо было бы хранить тип объекта, а также коды и значения трех указанных свойств. После замены соответствующих терминов вновь образованным термином «дом деревянный одноэтажный жилой» в базе данных достаточно хранить только код объекта – ссылку на элемент тезауруса.

Операция создания новых терминов может выполняться в автоматизированном режиме. Специальный программный модуль может осуществлять анализ содержания базы данных, выделять наиболее часто встречающиеся объекты, сравнивать значения свойств и вводить новый термин для обозначения наиболее часто встречающихся сочетаний значений свойств. Но программа может сгенерировать только значение кода нового термина, например, на 1 больше самого большого уже существующего значения кода, поэтому формулирование термина на естественном языке и создание его экспликации остается за пользователем.

Использование данного принципа также позволяет компактно кодировать уточняющие понятия; например, можно присвоить следующие коды:

98 – канал;

99 – канал оросительный (арык);

100 – канал оросительный в лотках;

101 – канал оросительный в железобетонных лотках;

102 – канал оросительный в железобетонных лотках на опорах;

103 – канал оросительный в железобетонных лотках на опорах действующий.

Однако, при использовании данного принципа необходимо соблюдать чувство меры, применять только для часто встречающихся сочетаний понятий. При неограниченном применении этого принципа может возникнуть проблема разбухания тезауруса.

Предлагаемый способ представления семантических данных дает возможность полностью отказаться от хранения в базе данных сведений о классификации, вследствие чего сокращается ее объем.

Раздельное представление перечня терминов и отношения таксономии избавляет пользователя от необходимости изучения топографической системы классификации объектов, что является его неоспоримым достоинством. Так как предлагаемое представление данных характеризуется полной однозначностью, установление пользователем соответствия между элементами тезауруса и собственной системы классификации, а также свойствами объектов не требует какого-либо знания топографической классификации объектов при обмене данными между различными автоматизированными системами.

Отношения агрегации, таксономии и предикации называют фундаментальными в силу их значимости практически для любой системы, основанной на обработке знаний. Отношение агрегации и родовидовое

отношение являются транзитивными. Именно вследствие транзитивности указанных отношений системы, основанные на знаниях, приобретают способность к рассуждению, логическому выводу и извлечению знаний, не представленных в системе в явном виде.

Свойство транзитивности родовидового отношения дает возможность так называемого наследования свойств, когда считается, что объект нижнего уровня (вид) заимствует все свойства родового объекта и приобретает ряд новых, специфических для данного вида. Это дает возможность указывать для вида только специфические свойства, в результате чего сокращается объем базы знаний.

Аналогично, использование транзитивности отношения агрегации создает возможность однократного описания структуры любого объекта, являющегося компонентом объектов разных типов. Такой объект, как откос, входит в качестве компонента в более сложные объекты: плотину, дамбу, полотно автомобильных и железных дорог, набережную и т. п. Состав объекта «откос» может быть описан в базе знаний один раз.

Использование единого перечня понятий в сочетании с предлагаемым способом кодирования и описанием совокупности отношений создает предпосылки для решения проблемы взаимопонимания между различными системами геомоделирования.

Разработка системы стандартов на содержание цифровых топографических данных как базы знаний о земной поверхности является необходимым условием перехода к качественно новому уровню – интеллектуальным геоинформационным системам.

9.11.6. Структура отношений

Как это ни удивительно, но число типов отношений в естественных языках крайне ограничено. Анализ текстов на русском, английском и итальянском языках показал, что в каждом из них присутствует всего около 200 типов отношений [34]. С одной стороны, в каждом из этих языков лексический арсенал составляет около 400 тысяч слов, а с другой стороны – всего две сотни отношений! После исследования даже небольших текстов на естественных языках и фиксации встретившихся в них отношений дальнейшее изучение текстов выявляет очень мало новых типов отношений.

Отсюда следует, что отношения слабо зависят от предметной области, то есть имеют более *универсальный характер*. Таким образом, чтобы возможности интеллектуальной системы практически достигли полноты естественных языков, в ней необходимо реализовать даже меньшее число отношений. При решении проблемы представления знаний о геопространстве на первой стадии достаточно реализовать наиболее универсальные типы отношений: синонимии, омонимии, таксономии, агрегации и предикации. Но эти виды отношений должны распространяться на три перечисленных выше категории: объекты, свойства и отношения.

После создания тезауруса следует приступить к представлению отношений, в первую очередь – отношений омонимии и синонимии. Данные

отношения являются общими для всех терминов предметной области и существуют между объектами, названиями свойств, значениями свойств и единицами измерений.

9.11.6.1. Отношение омонимии

Отношение многозначности возникает в случае, когда одному символу (термину) соответствует несколько денотатов. Примером омонима из области геоинформатики может служить термин «бассейн». В зависимости от контекста под бассейном может подразумеваться искусственный водоем малых размеров, площадь залегания некоторого полезного ископаемого (допустим, угольный бассейн) и т. п.

Представлять отношение омонимии в виде отдельной таблицы (файла) в базе знаний не требуется. При создании перечня терминов вполне достаточно руководствоваться принципом однозначности и неоднозначным терминам присваивать различные коды, а в формулировке термина давать уточняющие пояснения. Так, термин «бассейн» в тезаурусе может быть представлен следующим образом: бассейн (малый искусственный водоем) – код i , бассейн (полезного ископаемого) – код j , бассейн (реки) – код k и т. д. Отношение омонимии можно обнаружить даже среди единиц измерения количественных свойств. Например, термин «градус» используется для обозначения значений температуры, угла, крепости алкогольных напитков.

Подобным образом человек поступает при создании разного рода словарей и справочников. Если некоторый термин используется в различных смыслах, то в словарях такому термину часто соответствует несколько статей. Составители справочников не имеют права изменять термины, мы же при создании тезауруса можем присвоить каждому понятию уникальный код и, таким образом, достичь однозначности интерпретации любого термина.

9.11.6.2. Отношение синонимии

Противоположностью омонимии служит отношение синонимии, когда одному понятию соответствует несколько терминов, каждый из которых может использоваться для его обозначения. Использование отношения синонимии особенно важно в интегрированных системах гео моделирования, так как предоставляет различным категориям конечных пользователей определенный психологический комфорт, позволяя использовать привычную терминологию и избавляя от некоторых потенциальных ошибок и недоразумений. Кроме того, в наставлениях по созданию карт рекомендуется использовать местные названия, что неизбежно ведет к проблеме неоднозначности представления цифровых данных и необходимости поиска ее решения.

Развитие любого естественного языка и терминологии в каждой проблемной области имеет элементы случайности, поэтому специалисты разных областей могут использовать различные термины для обозначения одних и тех же понятий, пользуясь при этом интегрированной базой данных о геопространстве. Но обработка данных с применением технических средств

требует однозначности представления данных. Для достижения однозначности можно использовать три решения.

Первое из них, самое распространенное на практике, заключается в том, что в автоматизированной системе обработки данных запрещается использование синонимов и для каждого понятия допускается использование только одного фиксированного термина из числа всех возможных. Но такое решение является неудовлетворительным, так как, во-первых, мы не имеем права навязывать каким бы то ни было категориям пользователей свою собственную (топографическую или картографическую) терминологию, во-вторых, принуждение пользователя к отказу от привычной терминологии может вызвать у него неприятие системы обработки данных и обернуться отказом пользователя от ее эксплуатации.

Второе возможное решение состоит в избыточном представлении данных в базе данных с учетом отношения синонимии, когда одни и те же данные дублируются для каждой категории пользователей в соответствии с ее терминологией. Это решение крайне нежелательно, так как избыточность является потенциальным источником нарушения целостности данных, появления с течением времени противоречивых сведений в базе данных и ошибок при решении конкретных задач. Однако, в нашей проблемной области по указанным выше причинам это не те пути, которыми мы можем следовать.

Поэтому при решении проблемы синонимии требуется учитывать как необходимость однозначности представления данных, так и необходимость предоставления пользователям возможности сохранения привычной терминологии. Тогда приходится признать, что мы должны тем или иным образом явно представлять отношение синонимии.

При представлении отношения синонимии можно действовать двумя способами. Один из них состоит в том, что мы присваиваем коды *понятиям*, а не символам. Другое решение заключается в том, что уникальные внутрисистемные имена присваиваются *терминам* (то есть символам), а не понятиям.

Если следовать идее присваивания кодов понятиям, то есть денотатам, а не их обозначениям, то приходится признать необходимость назначения синонимам одинакового кода. В этом случае отношение синонимии может формироваться автоматически, а на пользователя возлагается только его контроль. Но, с другой стороны, при этом затрудняется работа с обозначениями понятий, так как в этом случае код уже не может использоваться в качестве индекса элемента массива терминов.

Принцип уникальности терминов (второе решение) привлекателен тем, что позволяет использовать код термина в качестве индекса элементов массива терминов. Поэтому присваивание кодов словам и словосочетаниям и формирование отношения синонимии в явном виде представляется более эффективным решением. В этом случае решение проблемы синонимии может быть получено с помощью формируемого пользователем явного представления отношения синонимии.

При этом само отношение синонимии может быть реализовано как минимум тремя способами. Первый способ заключается в перечислении только пар синонимичных терминов, один из которых является каноническим, а другой – его допустимым синонимом. *Каноническим* будем называть термин, которым должен кодироваться соответствующий ему денотат, и код которого должен присутствовать в геоинформационной модели. Второй способ состоит в указании для каждого термина ссылки на канонический термин; канонические и не имеющие синонимов термины могут иметь ссылки на самих себя либо на некоторый «пустой» или «нулевой» термин. Третий способ представляет собой комбинацию двух первых, когда во внешней памяти отношение синонимии представляется по первому способу, а во внутренней – по второму.

Отношение синонимии в формализованном виде будем рассматривать как двухместное отношение $S(k, s)$, где s – некоторый синоним, а k – соответствующий канонический термин. Представление отношения синонимии мы можем мыслить также как таблицу, в левой колонке которой расположен синоним, а в правой – канонический термин. Если имеется n терминов, указывающих на одно и то же понятие, то в таблице им будет соответствовать n строк. При этом в одной из строк в обеих колонках будет находиться один и тот же канонический термин. Пример представления отношения синонимии дан в табл. 9.10.

Из отношения синонимии (таблицы) могут быть исключены все кортежи (строки), содержащие канонический термин в обеих колонках. При этом отсутствие любого термина в таблице синонимов должно трактоваться как указание на то, что данный термин является каноническим. Разумеется, в реальной машинной таблице синонимов должны находиться не термины, а коды терминов.

Таблица 9.10. Отношение синонимии

Синоним	Канонический термин
арык	канал оросительный
сопка	гора
распадок	долина
булгуннях	гидролакколит
банка	мель
непересыхающий	постоянноводный
саманный	глинобитный
литр	дециметр кубический
сотка	ар

Использование одного из синонимов в качестве канонического термина представляется оптимальным решением проблемы синонимии в системах геомоделирования, основанных на обработке знаний.

При этом любая автоматизированная система может функционировать следующим образом. При необходимости добавления новых записей в базу данных система заменяет код каждого термина кодом соответствующего ему канонического термина из таблицы синонимов. Число всех терминов может достигать нескольких тысяч, в крайнем случае – десятков тысяч, а

представление каждого термина и соответствующего ему канонического термина в таблице синонимов при описанном выше способе кодирования потребует двух-четырех байт, поэтому размещение таблицы синонимов (несколько десятков килобайт) в оперативной памяти современных компьютеров не является заслуживающей внимания проблемой.

При необходимости чтения записей из базы данных и их визуализации ситуация несколько сложнее, так как система должна знать терминологию конкретного пользователя. Решение этой задачи осуществляется сравнительно просто путем предварительного создания вспомогательной (или локальной, личной) таблицы синонимов каждым пользователем. Для этого пользователь из общей таблицы синонимов для каждого термина оставляет только одну нужную ему строку, вычеркивая все остальные, и объявляет себя пользователем вновь созданной таблицы синонимов. В дальнейшем при необходимости визуализации данных в привычном для пользователя виде система осуществляет преобразование канонических терминов в термины пользователя подстановкой в соответствии с личной таблицей синонимов пользователя. Однородная группа пользователей может использовать таблицу синонимов коллективно.

Данное решение может показаться несколько сложным, но оно создает для пользователя определенный комфорт, а незначительное усложнение системы – это неизбежная плата за предоставленные удобства. Личная или индивидуальная таблица синонимов создается один раз, а общение пользователя с системой осуществляется на протяжении всего периода ее эксплуатации. По крайней мере, данное решение представляется нам свидетельством внимательного отношения к пользователю, а не перекладыванием на его плечи проблем, стоящих перед разработчиками автоматизированных систем обработки данных.

9.11.6.3. Межобъектные отношения

В любой системе, претендующей на адекватное моделирование геопространства, возникает необходимость представления составных объектов, т. е. объектов, в состав которых входят другие составные или элементарные объекты. Структура составных объектов описывается с помощью отношения агрегации.

Отношение между сложным объектом и составляющими его элементами в литературе по искусственному интеллекту принято называть отношением «часть – целое», но такое название, по крайней мере, при геоинформационном моделировании представляется не совсем корректным. По нашему мнению, более точным является название «*отношение агрегации*», или отношение «агрегат – компонент», так как оно описывает структуру составных объектов (агрегатов) и указывает, что один из двух объектов входит в другой в качестве компонента. Использование данного отношения особенно актуально для систем автоматизированного проектирования.

Название «часть – целое» предлагается оставить для обозначения отношения между элементарным (неразлагаемым, однородным) площадным, полосным или линейным объектом в целом и какой-либо его частью, когда весь

объект и его часть характеризуются одними и теми же значениями свойств. Например, озеро и какая-либо его часть.

Отношение агрегации с формальной точки зрения будем рассматривать как четырехместное отношение $A(a, c, m, n)$, где a – объект верхнего уровня (агрегат); c – объект нижнего уровня (компонент); m – минимальное число компонентов данного типа в составе агрегата; n – максимальное число вхождений данного компонента в агрегат. Если $m = 0$, то это является указанием на то, что объект-агрегат может не содержать ни одного компонента данного типа, т. е. компонент не является обязательным. Так, здание может не иметь ни одного приемника, а может иметь несколько приемников. В качестве другого примера приведем вход в здание, для которого должно указываться $m = 1$, так как каждое здание имеет хотя бы один вход (он же может быть выходом). Примером межобъектного отношения агрегации может служить табл. 9.11.

Таблица 9.11. Отношение агрегации между объектами

Агрегат	Компонент	Мин. число	Макс. число
здание	дверной проем	1	10
здание	приямок	0	30
откос	верхняя бровка	1	1
откос	нижняя бровка	1	1
шлюз	камера	1	10
шлюз	ворота (затвор)	2	11
мост	опора	0	10

Каждый кортеж данного отношения может трактоваться как квантифицированное высказывание «некоторые объекты a имеют компонент c » (если $m = 0$) или «все объекты a имеют компонент c » (если $m > 0$). В каждом кортеже данного отношения должно выполняться очевидное соотношение $m \leq n$.

Указание минимального и максимального числа вхождений объекта-компонента в состав объекта-агрегата является необязательным, но весьма желательным, так как позволяет осуществлять проверку состояния базы данных в автоматическом режиме и повысить достоверность хранимых данных.

Отношение агрегации обладает свойством транзитивности, но не является иерархическим, так как один и тот же компонент может входить в разные агрегаты.

При формировании межобъектного отношения агрегации не допускается явная или неявная рекурсия в определении состава объектов. *Явной рекурсией* объектов будем называть такую связь между двумя объектами – агрегатами x и y , когда объект x имеет в своем составе объект y , а объект y содержит в качестве своего компонента объект x . Под *неявной рекурсией* объектов будем понимать такую связь между объектами x, y, \dots, z , когда объект x включает объект y , объект y содержит в качестве своего компонента объект z , а объект z содержит объект x .

Отношение таксономии, или родовидовое отношение, характеризует отношение объемов двух понятий, одно из которых является более общим – *родовым* понятием и включает в себя как частный случай другое, называемое видовым, или *видом*. Например, понятие «водоем» является обобщением понятий «озеро», «пруд», «бассейн» и является для них родовым. В свою очередь, понятия «озеро», «пруд» и «бассейн» являются видами более общего понятия «водоем». Объем родового понятия всегда больше объема подчиненного видового понятия. Родовидовое отношение может рассматриваться как отношение между абстрактным множеством (родом) и его элементами, также абстрактными понятиями.

Различие между отношением агрегации и отношением таксономии заключается в том, что первое передается словами «*A* является компонентом *B*» (например, опора является компонентом ЛЭП), а второе – словами «*A* – это *B*» (кабель – это инженерная коммуникация, озеро – это водоем). Родовидовое отношение является строго иерархическим и обладает свойством транзитивности.

Использование отношения таксономии в геоинформационных моделях дает возможность компактного описания объектов, благодаря использованию наследования значений свойств. Если все объекты типа *t* обладают некоторым свойством *s*, значениями которого могут быть предметные константы *a*, *b*, ..., то можно ввести термин для обозначения подмножества объектов (вида) типа *t*, таких, что значение свойства *s* каждого объекта равно некоторому фиксированному значению *const* из числа возможных. Так, по типу покрытия дороги (родовой объект) могут расчленяться на виды: дороги с покрытием и дороги без покрытия. Образование терминов для каждого частного понятия позволяет хранить значения свойства в базе знаний, а в базе данных указывать только ссылку на термин, обозначающий вид объекта, что ведет к сокращению объема данных.

Формально отношение обобщения будем пока рассматривать как четырехместное отношение $O(r, w, s, v)$, где *r* – родовой объект; *w* – его разновидность; *s* – название свойства; *v* – значение свойства. В представлении родовидового отношения между объектами есть одна особенность, которая будет показана ниже при рассмотрении использования знаний. Пример отношения таксономии приведен в табл. 9.12. Каждую строку этой таблицы можно трактовать как некоторое имплицативное высказывание. Например, строка 4 может пониматься как «Если объект – трубопровод и транспортируемый продукт – вода, то такой объект есть водопровод». Таким образом, данное высказывание можно рассматривать как *определение* водопровода.

Таблица 9.12. Отношение таксономии

Родовой объект	Вид объекта	Название свойства	Отношение	Значение свойства
объект гидрографии	водоток	течение	=	есть
объект гидрографии	водоем	течение	=	нет или слабое
инженерная сеть	трубопровод	наличие труб	=	да
трубопровод	водопровод	транспортируемый продукт	=	вода
водопровод	производственный	назначение	=	произв. нужды
трубопровод	газопровод	транспортируемый продукт	=	газ
ЛЭП	ЛЭП высоковольт.	напряжение	>	380 вольт

В определениях некоторых объектов может требоваться использование отношений $<$, $>$ и т. п. Так, ЛЭП высокого напряжения можно определить следующим образом: «Если объект ЛЭП и напряжение больше 380 в, то объект суть ЛЭП высоковольтная».

В представлении родовидового отношения явная или неявная рекурсия также недопустима.

Тип локализации. Для каждого типа объектов может быть полезным указание возможных типов локализации. Отношение между типом объектов и возможным типом их локализации можно рассматривать как универсальное свойство объектов. Чтобы не смешивать его с индивидуальными свойствами объектов, целесообразно представить тип локализации объектов в виде отдельного отношения. Формально представление типа локализации можно рассматривать как отношение $L(o, l)$, где o – тип объекта; l – возможный тип локализации (табл. 9.13).

Тип локализации объектов является таким свойством, которое может наследоваться объектами на нижних уровнях классификации, что позволяет уменьшить объем вводимых в систему знаний.

Таблица 9.13. Тип локализации объектов

Тип объекта	Тип локализации
водоем	площадной
водоем	точечный
водоток	линейный
водоток	полосной
объект растительности	любой
мост	полосной

9.11.6.4. Характеристики свойств

С даталогической точки зрения свойства являются абстрактными объектами (понятиями) и как таковые характеризуются свойствами и отношениями. Характеристиками свойств являются тип значения свойств,

диапазон допустимых значений, число возможных значений и тип пространственной локализации.

Тип значения свойства t должен соответствовать одному из возможных значений, указанных ниже в списке типов значений свойств. Список типов значений свойств в формализованном виде будем рассматривать как четырехместное отношение $J(j, l, m, n)$, где j – тип значения; l – длина значения в байтах; m – наименьшее значение; n – наибольшее значение. Список типов значений приводится в табл. 9.14.

Таблица 9.14. Список типов значений свойств

Название типа	Длина (байт)	Минимальное значение	Максимальное значение
Короткое целое число	2	-32 768	32 767
Короткое целое число без знака	2	0	65 535
Длинное целое число	4	-2 147 483 648	2 147 483 647
Длинное целое число без знака	4	0	4 294 967 295
Вещественное число	4	1.175494...e-38F	3.402823...e+38F
Длинное вещественное число	8	2.225073...e-308	1.797693...e+308
Символ	1	0	255
Строка символов	до 255		
Термин	2	0	65 535
Группа	перемен.		

Все типы значений, кроме типов «термин» и «группа», являются *базовыми* типами. Тип «термин» является ссылкой на элемент тезауруса. Тип «группа» имеет тот же смысл, что и тип «структура» в языке С или С++. Базовые типы, кроме строки символов, и тип «термин» образуют множество *элементарных* типов. Строка символов представляет собой *массив* символов числом не более 255. Тип «группа» является агрегатом, в состав которого может входить несколько элементарных типов или других групп. Состав каждой конкретной группы определяется отношением агрегации между свойствами (см. ниже). Длина группы определяется суммой длин входящих в нее элементарных типов и групп.

Представленный список типов значений свойств в порядке развития функциональных возможностей системы может быть дополнен другими производными типами, если для их создания использовать идеи и технологии объектно-ориентированного программирования. В частности, представляется целесообразным определение таких типов значений, как дата, время, угол и т. п.

Диапазон значений d характеризует тип области допустимых значений свойства. В обработке данных область возможных значений атрибута принято называть доменом (см. гл. 5). Следовательно, диапазон значений является одной из характеристик домена. Мы будем различать три типа области возможных значений: *произвольный*, *ограниченный* и *перечислимый*. Формально диапазон значений будем рассматривать как унарное отношение (табл. 9.15).

Таблица 9.15. Диапазон значений

Произвольный
Ограниченный
Перечислимый

Тип «произвольный» является указанием на то, что область допустимых значений не имеет каких-либо ограничений и допустимым является *любое* значение определенного типа. Так, если значение свойства выражается вещественным числом, то *допустимым* значением является *любое* вещественное число. Примером произвольного типа значений может служить название реки.

Теоретически, можно перечислить названия всех рек в пределах земного шара, страны или региона в виде списка (поскольку число рек на земном шаре конечно) и при заполнении базы данных название каждой конкретной реки выбирать из созданного списка. Однако поиск и выборка нужного элемента списка потребуют больше времени, чем ввод названия реки с клавиатуры. Поэтому название реки, как и некоторые другие свойства, будем относить к свойствам, способным принимать произвольные значения.

Свойства ограниченного типа могут принимать любые значения в диапазоне от некоторого минимального до некоторого максимального значения. Очевидно, что свойствами ограниченного типа могут являться только количественные свойства. Примерами свойств ограниченного типа являются число этажей здания или глубина брода. Допустимое число этажей не может быть больше числа этажей самого высокого здания на земле, в стране или в конкретном городе, а глубина брода не может превышать примерно 1,5 м, иначе такой участок реки уже не будет бродом. При создании базы знаний мы можем указать минимальное и максимальное значения для каждого свойства ограниченного типа, что позволит в дальнейшем при создании баз данных автоматически осуществлять контроль значений свойств ограниченного типа на принадлежность области допустимых значений и исключать грубые ошибки в значениях количественных свойств.

Верхняя и нижняя граница значений свойств ограниченного типа представляются в перечне допустимых значений свойств, являющимся одним из компонентов базы знаний.

Свойства перечислимого типа могут принимать значения только из списка допустимых значений свойств. Таковыми могут служить как качественные, так и количественные свойства. Примерами свойств перечислимого типа могут служить такие, как состояние объекта, материал постройки, материал дорожного покрытия или диаметр труб. Список материалов постройки крайне ограничен, и все они могут быть легко перечислены: бетон, дерево, камень, кирпич, металл, саман. Все значения качественных свойств перечислимого типа должны рассматриваться как термины и присутствовать в перечне терминов.

Диаметр трубы является примером количественного свойства перечислимого типа, хотя, на первый взгляд, он должен быть отнесен к свойствам ограниченного типа, для которых указываются минимальное и максимальное возможные значения. Но трубы изготавливаются по определенным стандартам, значения диаметров фиксированы и их число

незначительно. В отличие от значений качественных свойств, значения количественных свойств не являются терминами предметной области и перечисляются только в списке допустимых значений.

Перечень допустимых значений свойств формально будем рассматривать как трехместное отношение $D(o, x, z)$, где o – термин, указывающий на объект; x – термин, обозначающий предиктируемое данному объекту свойство; z – допустимое значение свойства. В качестве допустимых значений качественных свойств могут использоваться только термины, присутствующие в списке терминов предметной области. Допустимыми значениями количественных свойств являются целые или вещественные числа. Для количественных свойств ограниченного типа в перечне указываются минимальное и максимальное значения (табл. 9.16).

Таблица 9.16. Допустимые значения свойств

Объект	Свойство	Значение
брод	глубина	0,1
брод	глубина	1,5
здание	число этажей	1
здание	число этажей	105
брод	характер грунта	глина
брод	характер грунта	ил
брод	характер грунта	песок
брод	характер грунта	щебень

Перечень допустимых значений свойств должен быть согласован со списком типов значений свойств.

Число возможных значений свойства z характеризует однозначность или многозначность свойства. Некоторые свойства могут принимать только одно значение, например, грузоподъемность конкретного моста может иметь только одно численное значение. Другие свойства могут иметь несколько экземпляров значений. Примерами таких свойств являются адрес (угловые дома кварталов имеют два или даже три адреса), порода деревьев в лесу и т. п. Иначе можно сказать, что данная характеристика указывает на то, представляется ли свойство одним значением или множеством значений.

Тип пространственной локализации l свойства характеризует зависимость между значением свойства и областью его определения. По данному признаку будем различать постоянные и переменные свойства. Тип пространственной локализации свойства является *постоянным*, если значение свойства относится ко всему объекту в целом. Так, название улицы характеризует всю улицу. Тип пространственной локализации свойства является *переменным*, если значение свойства является функцией координат и относится к конкретной точке объекта. Примерами переменного свойства являются отметка верха трубы, порода деревьев в лесу или отметка уреза реки. Особенностью таких свойств является то, что для них в базе данных необходимо указывать не только значение свойства, но и координаты точки (точек), в которой (которых) свойство имеет данное значение.

9.11.6.5. Отношения между свойствами

Отношение агрегации между свойствами. Подобно объектам, свойства обладают структурой и могут быть элементарными или составными. *Элементарные* свойства имеют только один компонент, например, грузоподъемность моста характеризуется одним значением. В отличие от элементарных, *составные* свойства имеют несколько компонентов. Если компоненты составного свойства имеют один смысл, то совокупность таких значений принято называть *массивом*. Примером такого свойства может служить порода деревьев в конкретном лесу, допустим, сосна, береза и осина. Если компоненты составного свойства различаются своим смыслом, то совокупность таких значений будем рассматривать как группу, даже если они имеют одинаковый тип значений. Примером группы может служить свойство «характеристика брода», состоящее из элементарных свойств «ширина», «глубина», «характер дна». Здесь ширина и глубина являются вещественными числами, но их смысл различен. Иногда элементарные свойства называют *скалярными*, или *скалярами*, а массивы – *векторами*.

Отношение агрегации между свойствами формально может быть представлено как трехместное отношение $C(a, k, n)$, где a – составное свойство; k – его компонент; n – возможное число вхождений компонента в агрегат (табл. 9.17).

Таблица 9.17. Отношение агрегации между свойствами

Агрегат	Компонент	Число вхождений
характеристика леса	высота деревьев	1
характеристика леса	диаметр	1
характеристика леса	расстояние между деревьями	1
характеристика леса	порода деревьев	3
адрес	название улицы	2
адрес	номер дома	2

При формировании отношения агрегации свойств, как и при создании межобъектного отношения агрегации, явная или неявная рекурсия свойств не допускается.

Отношения таксономии могут быть установлены не только между объектами, но и между свойствами. При этом следует различать отношение таксономии между названиями свойств и отношение таксономии между значениями свойств. Примером отношения между названиями свойств могут служить связи между понятием геометрической характеристики, с одной стороны, и расстоянием, площадью и объемом, с другой стороны. Расстояние, в свою очередь, может подразделяться на длину, высоту, ширину и т. д.

Формально *родовидовое отношение между названиями свойств* будем представлять как бинарное отношение $G(g, i)$, где g – родовое понятие свойства, а i – его разновидность (табл. 9.18).

Отношение таксономии между объектами и между свойствами, а также отношение агрегации удобно представлять графически в виде дерева (рис. 9.18).

Таблица 9.18. Отношение таксономии между названиями свойств

Родовое свойство	Вид свойства
свойство	качественное свойство
свойство	количественное свойство
количественное свойство	геометрическое свойство
геометрическое свойство	расстояние
геометрическое свойство	площадь
расстояние	длина
расстояние	высота

Свойства



Рис. 9.18. Классификация названий свойств

Отношение таксономии между значениями свойств формально может быть представлено как $V(o, x, r, v)$, где o – объект; x – название свойства, предиктируемого объекту o ; r – родовое (обобщенное) значение свойства; v – разновидность значения свойства. Пример отношения таксономии приводится в табл. 9.19.

Таблица 9.19. Отношение таксономии между значениями свойств

Объект	Название свойства	Обобщенное значение	Значение
лес	порода	лиственная	мелколиственная
лес	порода	лиственная	широколиственная
лес	порода	мелколиственная	береза
лес	порода	широколиственная	дуб
лес	порода	хвойная	ель
лес	порода	широколиственная	граб
брод	характер грунта	вязкий	ил
брод	характер грунта	вязкий	глина
здание	материал	огнестойкий	кирпич
здание	материал	огнестойкий	бетон
здание	материал	неогнестойкий	дерево

Между значениями некоторых качественных свойств может быть установлено *отношение порядка*. Примером такого свойства может служить состояние искусственного объекта или характер грунта брода. Наиболее естественным перечислением значений свойства «состояние» является перечисление по фазам жизненного цикла: проектируемый, строящийся, действующий, недействующий и разрушенный. В соответствии с таблицами условных знаков, состояние некоторых объектов характеризуется также значениями «полуразрушенный» и «заброшенный». Хотя в комментариях к условным знакам не дается никаких указаний, как отличить разрушенный объект от полуразрушенного, ясно, что это значение находится между «недействующим» и «разрушенным». Состояние некоторых типов объектов передается специфическими значениями. Например, смотровые колодцы инженерных коммуникаций могут быть затопленными.

Для передачи упорядоченности значений некоторого качественного свойства каждому такому значению может быть поставлено в соответствие некоторое уникальное целое число. Тогда отношение порядка между значениями свойства можно представить как $P(o, x, v, i)$, где o – объект; x – наименование свойства; v – значение свойства; i – целое число, соответствующее месту данного значения на шкале порядка (табл. 9.20).

Таблица 9.20. Отношение порядка между значениями свойств

Объект	Свойство	Значение	Индекс
здание	состояние	неизвестное	0
здание	состояние	проектируемое	1
...
здание	состояние	недействующее	4
здание	состояние	разрушенное	5
брод	характер грунта	неизвестный	0
брод	характер грунта	ил	1
брод	характер грунта	песок	2

Единицы измерения. В связи с тем, что в различных предметных областях одни и те же величины могут выражаться в разных единицах измерения, возникает задача правильного понимания количественных данных принимающими автоматизированными системами. Например, скорость течения реки можно выражать в м/с или км/ч. Задача правильной трактовки единиц измерения должна решаться автоматически. Для обеспечения такой возможности необходимо установить отношение между каждым количественным свойством и соответствующими единицами измерения.

Для формального представления соответствия между количественными свойствами и их *единицами измерения* можно использовать четырехместное отношение $E(x, t, k, e)$, где x – термин, указывающий на свойство; t – краткое обозначение единицы измерения; k – коэффициент, равный соотношению между данной единицей измерения и единицей измерения, значение которой принято за 1, то есть термин, обозначающий единицу измерения; e – название единицы измерения. Примеры единиц измерения даны в табл. 9.21.

Таблица 9.21. Фрагмент таблицы единиц измерений

Название свойства	Обозначение	Коэффициент	Название единицы измерения
расстояние	м	1	метр
расстояние	км	1000	километр
расстояние	см	0.01	сантиметр
расстояние	"	0.0254	дюйм
скорость	м/с	1	метр в секунду
скорость	км/ч	0.277777...	километр в час

Можно принять соглашение, что в базах данных все количественные свойства представляются в тех единицах измерения, коэффициенты которых в таблице единиц измерения равны 1, и считать эти единицы измерения каноническими или стандартными. Другое решение состоит в том, что в базе данных, наряду со значениями количественных свойств, указывается и единица измерения для каждого значения.

По аналогии с отношением синонимии система должна обеспечивать возможность создания и использования частной таблицы единиц измерений, применяемых конкретным пользователем или их группой.

Значения по умолчанию. Вероятности конкретных значений многих свойств объектов могут существенно различаться. Так, здания, мосты и другие

искусственные объекты являются, как правило, действующими; строящиеся или разрушенные среди них встречаются относительно редко. Данное обстоятельство мы можем использовать для сокращения объемов хранимых данных, введя *правило умолчания*. В соответствии с правилом умолчания, каждому свойству, значение которого не указано в базе данных, присваивается некоторое предопределенное (наиболее вероятное) значение, называемое *значением по умолчанию*.

Область действия данного правила можно расширить, распространив его на все свойства всех объектов, за исключением свойств, способных принимать произвольные значения. Чтобы это стало возможным, база знаний об объектах земной поверхности должна включать список значений по умолчанию. Перечень значений по умолчанию формально определим как тернарное отношение $U(o, x, u)$, где o – термин тезауруса, обозначающий объект; x – термин, обозначающий его свойство; u – значение свойства по умолчанию (табл. 9.22).

Таблица 9.22. Значения по умолчанию

Объект	Свойство	Значение
здание	состояние	действующее
лес	порода	береза
шоссе	покрытие	бетон
мост	конструкция	на опорах
брод	глубина	1,0 м
водоток	скорость течения	0,5 м/с

Для качественных свойств в качестве значений по умолчанию могут использоваться только соответствующие термины тезауруса, для количественных свойств – целые или вещественные числа из области допустимых значений (см. выше).

Присваивание значений по умолчанию может использоваться не только для хранения данных, но и при обмене данными между различными системами. Однако, необходимо отметить, что применение данного правила сопряжено с определенным риском. Возможно, что в принимающей системе по умолчанию могут использоваться значения, отличные от таких значений в передающей системе.

Впервые правило умолчания в явном виде было использовано в некоторых языках программирования. В современных языках программирования от него практически отказались, поскольку иногда оно приводит к трудно обнаруживаемым ошибкам. Окончательное решение о возможности присваивания свойствам значений по умолчанию может быть принято только на основе практического опыта.

Можно различать три вида значений по умолчанию: стандартные, системные и индивидуальные. *Стандартные значения по умолчанию* – это значения по умолчанию, устанавливаемые стандартом и обязательные для использования при обмене геопространственными данными между различными системами. *Системные значения по умолчанию* – это значения по умолчанию,

используемые в конкретной системе гео моделирования; они могут отличаться от стандартных. *Индивидуальные значения по умолчанию* – значения по умолчанию, определяемые и используемые конкретным пользователем; они могут изменяться от сеанса к сеансу и даже во время одного сеанса общения пользователя с системой.

Если применение значений по умолчанию для хранения данных или обмена данными в известной степени рискованно, то целесообразность их использования *при подготовке данных* не вызывает никаких сомнений.

9.11.6.6. Отношение предикации

Отношение предикации – это отношение между объектом и присущим этому объекту свойством. Объекты характеризуются множеством своих свойств. Отношение предикации позволяет указывать только свойства объекта, изучаемые в конкретной предметной области, и абстрагироваться, таким образом, от свойств объекта, не представляющих интереса. Выделение общих свойств объектов является частным случаем абстракции первого уровня. В логике его принято называть *абстракцией отождествления*.

Формально отношение *предикации*, то есть отношение между объектом и присущим ему свойством, будем представлять как семиместное отношение $X(o, x, t, d, z, n, l)$, где o – термин, указывающий на объект; x – символ, обозначающий свойство; t – тип значения свойства; d – диапазон допустимых значений; z – число возможных значений; n – признак, указывающий на то, является ли задание значения свойства обязательным или нет; l – тип пространственной локализации свойства. Фрагмент отношения предикации приводится в табл. 9.23.

Пояснение к признаку n : название города является обязательным свойством, поскольку не может быть города без названия; но ручей или остров на реке могут названия не иметь, что особенно характерно для малонаселенной местности.

Таблица 9.23. Отношение предикации

Объект	Свойство	Тип значения	Диапазон значений	Число значений	Обязат.	Тип локализац.
здание	число этажей	короткое целое	огранич.	1	обяз.	постоянн.
брод	глубина	веществ.	огранич.	1	обяз.	постоянн.
брод	характ. грунта	термин	перечисл.	1	обяз.	постоянн.
здание	адрес	группа	произвол.	n	обяз.	постоянн.
трубопровод	отметка верха	веществ.	огранич.	1	обяз.	переменн.
трубопровод	диаметр	веществ.	огранич.	1	обяз.	постоянн.
озеро	имя собствен.	строка символов	произвол.	1	необяз.	постоянн.
лес	порода дерев.	термин	перечисл.	n	обяз.	переменн.

9.11.6.7. Представление знаний о рельефе

До сих пор объекты геопространства рассматривались только как объекты ситуации, но многие из них одновременно относятся к рельефу, являются рельефообразующими. В этой связи следует отметить, что в практике геоинформационного моделирования сегодня существует неестественный (или даже противоестественный) разрыв между созданием моделей ситуации и созданием моделей рельефа. Игнорирование семантических данных при моделировании рельефа нерационально, так как они содержат существенную информацию, которая может значительно повысить адекватность моделей топографической поверхности.

Некоторые объекты ситуации не имеют к рельефу никакого отношения. Такими объектами являются, например, столб, дерево и др. Другие объекты являются непосредственно элементами рельефа и в таблицах условных знаков помещаются в разделе «Рельеф», но изображаются на картах и планах с помощью условных знаков и надписей. Однако, при этом имеются в виду элементы только естественного рельефа, а элементы искусственного, такие как насыпи, терриконы, откосы, карьеры и прочие, находятся в других разделах условных знаков.

Наконец, объекты ситуации третьей группы не являются, строго говоря, объектами рельефа, но жестко связаны с топографической поверхностью, и автоматизированная система обработки топографических данных, как и человек, могла бы по ним судить о рельефе. Это объекты гидрографии. Не выражающиеся в масштабе карты водотоки есть не что иное, как тальвеги, представляющие собой частный случай орографических линий. Береговые линии озер и других водоемов, как правило, представляют собой некоторые горизонтالي или весьма близкие к ним пространственные кривые (если водоем имеет сток).

Таблица 9.24. Список элементов рельефа

Локальный минимум
Локальный максимум
Седловая точка
Точка на склоне
Разрывная линия
Гладкая линия
Произвольная линия
Горизонтальный участок
Наклонный участок
Вертикальный участок
Обратный склон

При построении моделей дневной поверхности данные о положении рельефообразующих объектов могут выбираться из базы данных о ситуации, дополняться сведениями об их рельефообразующих свойствах из базы знаний и передаваться в систему моделирования топографических поверхностей. Такая стратегия позволит повысить точность моделей рельефа и одновременно снизить затраты на подготовку данных, поскольку ввод дополнительной информации о рельефе для его правильного отображения требует значительных трудозатрат.

Элементы рельефа. Прежде чем определять отношение между объектами

ситуации и объектами рельефа (топографической поверхности), рассмотрим последние. Рельеф будем рассматривать как функцию двух переменных $z(x, y)$, где z – высота точки; x, y – координаты точки. *Элементы рельефа* будем рассматривать только как геометрические объекты и делить на точки, линии и участки поверхности. С формальных позиций элементы рельефа будем трактовать как унарное отношение $R(r)$, где r – тип элемента топографической поверхности. Все элементы топографической поверхности перечисляются в табл. 9.24.

В точках локальных экстремумов и в седловой точке значения первых частных производных функции z равны нулю. Указанное свойство функции в этих точках можно использовать при определении аналитических выражений, описывающих топографическую поверхность в их окрестности.

Значения высот в точках локальных экстремумов либо меньше, либо больше высот всех соседних с ними точек, что может использоваться для контроля данных при построении модели рельефа на нерегулярной сетке треугольников.

Точки на склоне составляют подавляющее большинство исходных точек и особой информации не содержат.

Линейные элементы (структурные или орографические линии) характеризуют поведение первой производной функции z по нормали к орографической линии. Разрывная линия указывает на то, что при ее пересечении движущейся точкой касательная плоскость к поверхности изменяет свое положение скачком. Примером такой структурной линии является верхняя бровка обрыва или откоса.

При пересечении гладкой структурной линии движущейся точкой наклон касательной к поверхности по любому направлению изменяется непрерывным образом. В качестве примера такой структурной линии можно назвать границу между областью выпуклости и областью вогнутости рельефа.

Произвольные структурные линии могут быть как разрывными, так и гладкими. Такими линиями являются водоразделы и тальвеги. Тальвег V-образной долины – разрывная структурная линия, тальвег U-образной – гладкая.

Общим и весьма полезным свойством структурных линий является то обстоятельство, что при построении сетки произвольных треугольников по исходным точкам ни одна сторона треугольника не должна пересекать структурную линию. Горизонтالي также не должны пересекаться сторонами треугольников. По этой причине все горизонтали можно условно относить к гладким структурным линиям.

Горизонтальный участок используется для обозначения спланированных участков земной поверхности, близких к горизонтальным и, как правило, имеющих какое-либо покрытие (асфальт и т. п.). В своем большинстве это элементы благоустройства населенных пунктов.

Наклонные участки – это произвольные участки естественного и искусственного рельефа. Вертикальные участки используются для указания на

такие объекты рельефа, как подпорные стенки, обрывы и т. п. Обратный склон предназначен для обозначения обратных склонов нависающих скал.

Отношение «объект ситуации – объект рельефа». Формально отношение «объект ситуации – объект рельефа» будем рассматривать как трехместное отношение $Z(t, p, r)$, где t – термин тезауруса, указывающий на объект ситуации; p – признак, указывающий на принадлежность к объектам рельефа; r – тот же объект как элемент рельефа.

Признак p может принимать значения «игнорируемый», «исключаемый», «естественный», «искусственный» и «произвольный». Значение «игнорируемый» указывает, что данный тип объектов не имеет к рельефу никакого отношения.

Значение «исключаемый» используется для указания на объекты, под которыми рельеф не существует, например, под зданием, водоемом и т. п. Область распространения данного объекта должна исключаться из области моделирования дневной поверхности.

Значения «естественный» и «искусственный» указывают на происхождение всех объектов данного типа. Если объекты фиксированного типа могут быть как естественными, так и искусственными, то признаку p присваивается значение «произвольный». Смысл указания происхождения объектов состоит в том, что иногда данное свойство объектов отображается на картах и планах. При этом для отображения искусственных и естественных объектов используются различные изобразительные средства или разные условные знаки.

Если объект ситуации одновременно является объектом рельефа, то для r в качестве его значения должен быть указан соответствующий тип объекта рельефа (см. табл. 9.24). Пример отношения «объект ситуации – объект рельефа» дан в табл. 9.25.

Таблица 9.25. Отношение «объект ситуации – объект рельефа»

Объект ситуации	Объект рельефа	Значение
откос	искусственный	наклонный участок
здание	исключаемый	
столб	игнорируемый	
ручей	естественный	произвольн. линия
подпорная стенка	искусственный	вертикальный участок

Приведенный выше список значений признака p , указывающего на принадлежность объекта ситуации также и к объектам рельефа, может быть дополнен значением «подводный». Тезаурус должен включать термины, характеризующие объекты рельефа.

9.11.7. Лингвистические знания

Чтобы не вызывать раздражение у пользователя, автоматизированная информационная система должна выдавать сообщения на корректном русском языке. Поэтому претендующая на минимальную интеллектуальность система обработки данных должна обладать определенными лингвистическими способностями. Задача полнофункциональной обработки лингвистических

знаний является самостоятельной и очень сложной проблемой, решение которой в рамках системы геомоделирования нецелесообразно. Нам вполне достаточно ограничиться обработкой и хранением минимального объема лингвистических знаний, необходимого для поддержания диалога с пользователем.

Предлагаемая совокупность лингвистических знаний (а точнее – грамматических) должна содержать список используемых частей речи, список существительных, список прилагательных и причастий.

Формально *список частей речи* будем рассматривать как бинарное отношение $Q(t, q)$, где t – термин тезауруса; q – часть речи. Каждый термин указывается, если это возможно, в единственном числе и именительном падеже. Для существительных, не имеющих единственного числа, термин указывается в именительном падеже множественного числа (табл. 9.26).

Таблица 9.26. Отношение «термин – часть речи»

Термин	Часть речи
брандмауэр	существительное
лиственный	прилагательное (или причастие)
на опорах	словосочетание
ворота	существительное
строящийся	прилагательное (или причастие)
из подвала	словосочетание

Часть речи q может принимать одно из следующих возможных значений: существительное, прилагательное (или причастие) и неизменяемое словосочетание. Эти значения в совокупности образуют домен «части речи».

Список существительных также будем трактовать как двухместное отношение $N(s, r)$, где s – термин, являющийся существительным, а r – род существительного (табл. 9.27). Компонент r отношения N может принимать одно из следующих допустимых значений: мужской, женский, средний род и множественное число. Последнее значение указывается только для существительных, не имеющих единственного числа, например, таких как ворота.

Таблица 9.27. Имена существительные

Существительное	Род/число
акведук	муж.
копи	множ.
шоссе	сред.
эстакада	жен.

Список прилагательных и причастий формально будем представлять как четырехместное отношение $Y(p, l, b, n)$, где p – термин тезауруса, являющийся прилагательным или причастием (указывается в именительном падеже и единственном числе); l – окончание прилагательного женского рода; b – окончание прилагательного среднего рода; n – окончание прилагательного множественного числа. Все окончания указываются для именительного падежа

прилагательных или причастий; для возвратных причастий частица «ся» не указывается (табл. 9.28).

Таблица 9.28. Окончания прилагательных и причастий

Прилагательное или причастие (муж. род)	Сред. род	Жен. род	Множ. число
березовый	ое	ая	ые
вязкий	ое	ая	ие
птичий	ье	ья	ьи
речной	ое	ая	ые
строящийся	ее	ая	ие

Для формирования корректных выходных сообщений система могла бы функционировать следующим образом. Пусть требуется указать значение некоторого свойства для некоторого объекта. Если значение свойства с грамматической точки зрения является неизменяемым словосочетанием или существительным, то осуществляется его подстановка в сообщение. Если значение свойства является прилагательным (причастием), то система определяет по термину род существительного, обозначающего нужный объект, окончание прилагательного (последние два символа) заменяется окончанием в соответствии с родом существительного, после чего производится подстановка его значения в сообщение. Описание особенностей обработки возвратных причастий мы опустим в силу их очевидности.

В качестве примера рассмотрим три разрушенных объекта: мост, дамбу и здание. Если нас интересует их состояние, то в ответ на соответствующий запрос в результате описанной выше обработки система вполне способна сформировать следующие сообщения:

объект = мост, состояние = разрушенный;
 объект = дамба, состояние = разрушенная;
 объект = здание, состояние = разрушенное,
 что производит более благоприятное впечатление, чем
 объект = дамба, состояние = разрушенный;
 объект = здание, состояние = разрушенный.

9.11.8. Эллипсис

Из практики общения людей между собой может быть заимствована еще одна возможность сжатия данных в ГИС и автоматизированных картографических системах. В разговоре или в письменном сообщении ни один человек не скажет так, как это было написано выше: мост, состояние – разрушенный. Человек выскажется просто: «Мост разрушенный» или «Мост разрушен». Передающий сообщение человек в описании объекта опускает наименование свойства и указывает только его значение, так как и передающий, и принимающий сообщение знают, что термин «разрушенный» может характеризовать *только состояние объекта* и никакое другое его свойство.

Такой способ сжатия сообщений называют *эллипсисом*, и он может быть использован не только при визуализации сообщений системой, но и при

хранении информации внутри системы, а также при обмене данными между автоматизированными системами. Но для его реализации требуется однозначность представления данных. Если здание имеет три этажа и два подъезда, то мы не можем сказать: «Здание 3 и 2», поскольку этого не поймет ни один человек, ни, тем более, автоматизированная система, так как целые числа могут служить значениями многих свойств.

К упомянутым выше недостаткам кодирования информации в программном комплексе РАСТР-2/2П и в других системах, использующих классификаторы картографической информации, сейчас можно добавить невозможность использования эллипсиса для хранения данных и обмена ими, так как присваивание значений коду в каждом разряде начинается с 1, что неизбежно влечет за собой неоднозначность представления данных.

9.11.9. База знаний и стандарты

Выше дано сравнительно законченное представление о возможном решении обсуждавшейся проблемы унификации представления семантических данных при геоинформационном моделировании и показано, что проблема представления знаний о земной поверхности в интеллектуальных картографических и геоинформационных системах решается.

Список рассмотренных выше отношений не является исчерпывающим. Мы ограничились изложением этих отношений только в силу их фундаментального характера, необходимости реализации большинства их них почти в любой предметной области. При создании ГИС или автоматизированной картографической системы, основанной на обработке знаний, эти отношения должны реализовываться в первую очередь. В дальнейшем множество отношений может дополняться по мере необходимости, что позволит непрерывно повышать IQ (коэффициент интеллектуальности) и функциональные возможности систем геомоделирования. Необходимость реализации конкретных отношений будет определяться спецификой систем геомоделирования и классом решаемых ими задач. В качестве одного из таких отношений, реализация которых может потребоваться с высокой степенью вероятности, можно указать каузальное отношение, то есть отношение, характеризующее причинно-следственные связи.

Предложенный подход может быть положен в основу серии стандартов на представление семантических данных о геопространстве. Сегодня такие стандарты должны разрабатываться только как базы знаний и в соответствующей логической последовательности.

В отличие от геодезии, картография и геоинформатика связаны с обработкой значительных объемов семантической информации. Обработка *содержания* данных, их смысла составляет важную и значительную часть картографии. Без решения проблемы автоматизации обработки семантической информации дальнейший прогресс в автоматизированном картографировании под большим вопросом. Значение интеллектуализации ГИС и систем картографирования для всего топографо-геодезического, картографического и геоинформационного

производства едва ли можно переоценить. Данное направление является *стратегическим* и заслуживает адекватной оценки.

9.12. Извлечение знаний

В системах искусственного интеллекта существует проблема, называемая *извлечением знаний*. Причина ее существования в том, что квалифицированные специалисты в любой проблемной области в процессе своей профессиональной деятельности используют знания, полученные ими опытным путем. При этом, как правило, эксперты, имеющие различный практический опыт, имеют и разные (*личные, индивидуальные*) знания. Кроме того, они нередко действуют по интуиции и не могут четко изложить рассуждения, на основании которых они приняли то или иное решение. Поэтому перед инженером по знаниям возникает задача извлечения таких знаний. Основным способом их получения служат личные контакты инженера по знаниям с экспертами: беседы, опросы, анкеты и т. п.

Вместе с тем, существуют знания широко известные и общедоступные. Они обычно опубликованы в учебниках, монографиях, статьях. Поэтому их, как правило, называют *текстовыми*.

При определении содержания базы *топографических знаний* основной объем необходимых знаний об объектах земной поверхности следует искать в нормативных документах, регламентирующих содержание топографических карт и планов всех масштабов: таблицах условных знаков, инструкциях по топографической съемке, руководствах по картографическим работам, разного рода наставлениях, редакционных указаниях, а также в существующих классификаторах топографической или картографической информации. Поэтому, первое, что нужно сделать – составить достаточно полный список литературных источников.

Далее путем анализа этих источников следует создать *максимально полный перечень терминов* (в том числе, всех синонимов), имеющих какое-либо отношение к содержанию карт и планов. Весьма полезными могут быть и комментарии к таблицам условных знаков. После составления такого перечня следует уяснить *смысл* каждого термина. Для этого могут использоваться как различного рода пояснения в нормативной литературе, так и энциклопедические словари, справочники и специальная литература. Примером специальных изданий, необходимых хотя бы при извлечении знаний об инженерных коммуникациях, может служить [30] и другие аналогичные источники: об устройстве автомобильных и железных дорог, по благоустройству территорий населенных пунктов, справочники географических терминов, подобные [33], и т. д. Особое внимание следует уделять омонимам, поскольку с каждым омонимом (символом) может быть связано несколько понятий, которым должны присваиваться разные коды.

При создании перечня понятий, кроме вербального описания, желательно включать в экспликацию терминов фотографии, рисунки, схемы, чертежи, помогающие не только уяснить смысл терминов, но и получить представление о внешнем виде объектов геоинформационного моделирования. После

завершения создания тезауруса следует формировать перечисленные выше отношения: таксономии, агрегации, предикации и т. д. Лингвистические знания могут формироваться в последнюю очередь.

Основным и, пожалуй, единственным источником описываемых далее *картографических знаний*, служат условные знаки карт и планов всех масштабов. Создание картографических знаний может начинаться до завершения работы над топографическими знаниями и осуществляться с некоторым отставанием от их создания. Однако из-за сложности задачи создания перечисленных знаний следует ожидать, что этот процесс, скорее всего, будет носить итеративный характер.

9.13. Использование знаний о геопространстве

Знания о геопространстве можно разделить на общие и специальные знания. Под *общими знаниями о геопространстве* будем понимать топографические знания, то есть знания, необходимые для большинства прикладных систем и составляющие содержание топографических карт и планов разных масштабов. *Специальными знаниями о геопространстве* будем называть знания, используемые специализированными информационными системами, предназначенными для моделирования определенных типов геосистем. К таким специфическим системам можно отнести системы, используемые в земельном кадастре, экологии, лесоустройстве, энергетике, дорожном хозяйстве и т. п. Различия между общими и специальными знаниями состоят в том, что первые содержат «немного о многом», а последние – «много о немногом». Далее рассматриваются преимущественно только топографические знания по той причине, что нашей задачей является общее описание геопространства. Но используемые при этом принципы применимы для отображения любых геосистем.

Знания о предметной области могут использоваться при вводе данных, в процессе логического вывода и при создании картографических изображений программным путем.

В процессе ввода данных знания о предметной области могут и должны использоваться при организации диалога между пользователем и системой для создания разного рода подсказок пользователю и меню. Кроме того, топографические знания могут использоваться для контроля качества геоинформационных моделей, полученных от сторонних организаций. Такой контроль может осуществляться с целью определения полноты и допустимости геопространственных данных. Полнота геопространственных данных может быть установлена сравнением их содержания с отношением предикации, устанавливающим для каждого типа объектов все свойства, которые должны быть представлены в базе данных. Допустимость геопространственных данных может быть определена сравнением значений свойств любого объекта с допустимыми значениями этих свойств в базе знаний. На основе отношения агрегации может быть осуществлена верификация структуры моделей сложных объектов предметной области, проверка наличия обязательных компонентов и отсутствие компонентов, не характерных для каждого типа объектов.

Наиболее полно ценность знаний о геопространстве будет проявляться при решении задач в конкретной проблемной области. Совместное использование отношения таксономии и отношения предикации дает возможность хранить сведения о свойствах объектов только на верхних уровнях классификации. Знания о разновидностях объектов могут быть получены на основе формального правила

$$P(o_1, s) \wedge T(o_1, o_2) \rightarrow P(o_2, s),$$

где символы \wedge и \rightarrow – соответственно логические операторы конъюнкции и импликации; $P(o_1, s)$ – отношение предикации между объектом o_1 и свойством s , смысл которого в том, что объекту o_1 присуще свойство s ; $T(o_1, o_2)$ – отношение таксономии между объектами o_1 и o_2 , указывающее на то, что второй объект является разновидностью первого; $P(o_2, s)$ – отношение предикации между объектом o_2 и свойством s .

В содержательных терминах данное правило может быть выражено на естественном языке следующим образом: если объект o_1 характеризуется свойством s и объект o_1 является родовым по отношению к объекту o_2 , то объект o_2 также обладает свойством s . Записанное выше формальное правило имеет две несколько различающихся, но более точных и справедливых интерпретации.

Первая интерпретация означает, что любое имманентное свойство, присущее объекту o_1 , присуще также любому объекту o_2 , являющемуся разновидностью объекта o_1 . Так, если имманентным свойством трубопровода является транспортировка некоторого вещества, то этим свойством обладают водопроводы, газопроводы, золопроводы и все другие разновидности трубопроводов. Если, например, верно, что линейные объекты гидрографии являются структурными линиями рельефа, то такими линиями будут и реки, и ручьи.

Вторая интерпретация формального правила сводится к тому, что объекты нижнего уровня наследуют индивидуальные свойства объектов верхнего уровня, но не значения этих свойств, то есть наследуются только названия свойств. Так, например, все трубопроводы характеризуются материалом и диаметром труб, но значение материала (сталь, чугун, керамика...) и конкретные значения диаметра не наследуются, а являются индивидуальными характеристиками эмпирических объектов. Другой пример: некоторые объекты гидрографии имеют собственные названия (например, Байкал, Волга и т. д.), но они, как правило, являются уникальными; наследование значений имен собственных бессмысленно.

Из данных примеров можно сделать вывод о том, что высказывания о наследовании свойств объектов должны быть квантифицированными. Так, утверждение о том, что любая разновидность трубопровода характеризуется диаметром, формально может быть представлено как

$$\forall o(P(t, d) \wedge T(t, o) \rightarrow P(o, d)),$$

где $P(t, d)$ – отношение предикации между трубопроводом t и свойством d (диаметром); $T(t, o)$ – отношение таксономии между понятием трубопровода t и его разновидностью o (газопроводом, нефтепроводом...); $P(o, d)$ – отношение предикации между любой разновидностью трубопровода и свойством «диаметр». Ранее в главе 6 говорилось о том, что правила могут применяться к фактам, находящимся в рабочей области. Из данного примера следует, что правила могут применяться и к базам знаний.

Высказывание о том, что некоторые объекты гидрографии (вообще же, и многие другие географические объекты) имеют имена собственные, формально можно представить как

$$\exists g \exists o (P(g, n) \wedge T(g, o) \rightarrow P(o, n)),$$

где $P(g, n)$ – отношение предикации между понятием объекта гидрографии g и понятием собственного имени n ; $T(g, o)$ – отношение таксономии между понятием объекта гидрографии g и его разновидностью o ; $P(o, n)$ – отношение предикации между разновидностью объекта гидрографии o и именем собственным n .

Использование данных правил в процессе создания базы знаний о геопространстве, например, избавляет ее разработчиков от необходимости указания:

- обязательных свойств «материал», «диаметр» и т. п. для каждого *типа* трубопровода;
- необязательного свойства «имя собственное» для рек, ручьев, каналов, озер, прудов, морей, водохранилищ и т. д.

В дальнейшем база знаний может храниться в компактном виде, когда непосредственно представлены знания о свойствах объектов только верхних уровней классификации, либо в развернутом виде, когда для каждого типа объектов непосредственно указываются все свойства, в том числе – наследуемые. В последнем случае целесообразно для каждого свойства хранить сведения о том, введено ли данное свойство непосредственно пользователем, либо получено системой в результате логического вывода. Эти сведения могут оказаться полезными при анализе корректности базы знаний. Возможна также реализация некоторых промежуточных вариантов баз знаний, когда для наиболее часто встречающихся типов объектов хранятся все предикцируемые им свойства, а для редко встречающихся объектов указываются только свойства, характерные для данного уровня иерархии, а наследуемые свойства извлекаются по мере необходимости из отношения предикации для объектов, находящихся на верхних уровнях классификации.

Аналогичным образом могут создаваться и использоваться знания о структурных свойствах сложных объектов. Так, если обязательным компонентом трубопровода являются опоры, то опоры будет иметь любой вид трубопровода. Данное правило можно формально представить как импликацию

$$\forall o (A(t, c) \wedge T(t, o) \rightarrow A(o, c)),$$

где $A(t, c)$ – отношение агрегации между объектом t (трубопроводом) и его компонентом c (опорой); $T(t, o)$ – отношение таксономии между объектами t и o (некоторой конкретной разновидностью трубопровода); $A(o, c)$ – отношение агрегации между объектом o и объектом c .

Для получения свойств и структуры эмпирических объектов может использоваться правило вывода *modus ponens*:

$$\frac{x \rightarrow s, x}{s},$$

которое может трактоваться как суждение вида «объекты типа x обладают свойством s ; объект является объектом типа x ; следовательно, он обладает свойством s ».

Данное правило может быть сформулировано в виде имплицативных высказываний

$$\forall x(P(X, s) \wedge (x \in X) \rightarrow P(x, s))$$

или

$$\exists x(P(X, s) \wedge (x \in X) \rightarrow P(x, s)).$$

Первое из этих правил интерпретируется как «Если объекты множества X обладают свойством s и любой объект x принадлежит множеству X , то каждый x обладает свойством s ». Второе правило можно понимать как высказывание «Если объекты множества X обладают свойством s и некоторые объекты x принадлежат множеству X , то некоторые x обладают свойством s ». Аналогичным образом могут использоваться знания о структуре сложных объектов.

Наличие отношения таксономии в базе знаний позволяет упростить ввод и представление данных. Исполнителям не требуется знать используемую систему классификации объектов, например, не размышлять над тем, к какому классу или подклассу принадлежит объект «живая изгородь»: к границам и ограждениям или к растительности. При подготовке данных достаточно указать тип объекта «живая изгородь», а система может определить место данного объекта в используемой классификации без вмешательства исполнителя.

В принципе, в системе геомоделирования, особенно в многопользовательской, может использоваться любое число систем классификации объектов, но в каждый момент времени для конкретного пользователя активной может быть только одна из таких систем. С другой стороны, при обмене данными между различными системами отношение таксономии может вообще не использоваться. Принимающая система, основанная на знаниях, при необходимости в состоянии восстановить родовидовые отношения между множествами объектов в соответствии с любой системой классификации объектов. При этом система классификации принимающей системы геомоделирования может существенно отличаться от системы классификации в передающей системе.

Использование отношения таксономии дает возможность упростить разработку программ для решения прикладных задач. Пусть, например, требуется разработать программу для поиска пути автомобиля из одной точки

в другую. При традиционном подходе такая программа должна была бы анализировать все типы объектов и для каждого из них определять возможность его использования в качестве автомобильного пути. Причем эти объекты (их коды) были бы включены в текст программы.

При использовании базы знаний достаточно было бы ввести новый тип объекта «автомобильный путь» и создать отношение таксономии между этим объектом и объектами, которые могут использоваться в качестве такового: автомобильными дорогами, мостами, путепроводами, грузовыми паромными, бродами и прочими. После этого система геомоделирования соответствующим образом дополняет базу данных объектом «автомобильный путь». Далее с помощью прикладной программы может решаться задача поиска пути, но структура такой программы будет намного проще, чем традиционной, поскольку ей нужно работать только с объектами одного типа.

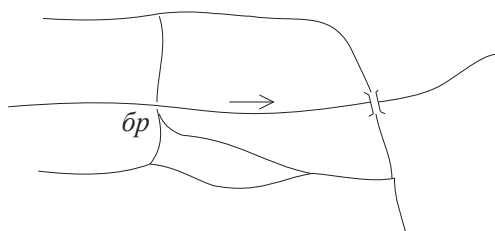


Рис. 9.19. К задаче поиска
пути

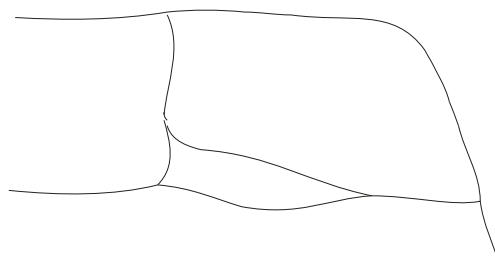


Рис. 9.20. Представление пути

Рассмотрим использование отношения таксономии при решении задачи поиска пути на примере. Пусть имеется фрагмент геоинформационной модели, изображение которого дано на рис. 9.19.

Образовав новый тип объекта «автомобильный путь» и установив родовидовое отношение между ним и подчиненными понятиями (дорога, мост, брод, ...), система геомоделирования может создать объекты «автомобильный путь» в той же базе данных. Но можно создать временную базу данных, в которой будет только один тип объектов – автомобильный путь. Поэтому семантику объектов можно полностью игнорировать. Таким образом, мы свели задачу поиска пути к чисто геометрической задаче, задаче поиска пути на графе. Изображение объектов типа «автомобильный путь», полученных на основе рис. 9.19, дано

на рис. 9.20.

Решение данной задачи можно сделать более корректным, если учитывать, например, такую характеристику как средняя скорость передвижения по каждому объекту (шоссе, полевой дороге, мосту...). Тогда решение задачи сводится к поиску пути на взвешенном графе, каждому ребру которого в качестве веса поставлено в соответствие время его преодоления со средней скоростью.

Здесь были рассмотрены только некоторые способы использования знаний в системах геомоделирования. Но и приведенных примеров достаточно, чтобы убедиться в эффективности интеллектуализации систем геомоделирования. Другие подобные способы были изложены ранее в главе, посвященной системам, основанным на знаниях. Использование топографических знаний при

построении картографических изображений будет рассматриваться далее, в главе 10.

9.14. Представление семантических данных

В существующих системах геомоделирования представление семантических данных отличается существенным разнообразием. На одном полюсе находятся системы, в которых представление каждого индивидуального объекта содержит полное описание его места в системе классификации. К ним относятся системы, унаследовавшие основные концепции системы АРКА: РАСТР-2/2П, НЕВА, ПАНОРАМА. Примером диаметрально противоположной системы является MapInfo, не поддерживающая какой-либо классификации объектов. Некоторые системы занимают промежуточное положение. Так, например, АИС ГК – автоматизированная информационная система городского кадастра – поддерживала всего два уровня классификации. Все множество объектов в ней разделялось на классы, называемые слоями, и для каждого типа объектов указывалась его принадлежность тому или иному слою.

Первоначально для представления семантических данных использовались исключительно файловые системы и оригинальные структуры данных. С течением времени для представления семантических данных стали все чаще использоваться реляционные базы данных. Представление семантических данных о геопространстве достаточно очевидно: каждому типу объектов можно поставить в соответствие одно и только одно отношение в реляционной базе данных.

Если отношение таксономии еще как-то поддерживается существующими системами, то отношение агрегации практически полностью игнорируется. Даже тогда, когда, например, в муниципальной геоинформационной системе присутствуют все здания, все колодцы инженерных коммуникаций и все трубы, в ней обычно нет таких объектов, как система теплоснабжения, система водоснабжения и т. п.

Системы геомоделирования, основанные на знаниях, позволяют создавать модели предметных областей, более адекватные потребностям пользователей. Это особенно справедливо в тех случаях, когда наряду с представлением отношений таксономии и агрегации моделируются типы отношений, специфические для конкретной проблемной области.

Еще одним способом организации семантических данных в системах геомоделирования может служить использование триады «объект – свойство – значение». Достоинством такого способа является предельно высокая степень однородности представления семантической информации. При его использовании все множество типов объектов может быть представлено в одном файле данных но его размеры могут быть чрезвычайно большими, что может отрицательно сказаться на быстродействии системы.

9.15. Представление геометрических данных

Существует два основных способа представления геометрических данных в системах геомоделирования, которые можно назвать объектным и

топологическим. При *объектном* способе представления семантические и геометрические данные группируются пообъектно. При этом иногда в начале структуры данных размещаются семантические данные об объекте, а за ними следуют геометрические, иногда они располагаются в обратном порядке. Порядок следования геометрических и семантических данных в таких структурах не имеет принципиального значения.

Преимущество объектного способа представления геометрических данных – в простоте. Рассмотрим его особенности на следующем примере. Пусть даны три площадных объекта (рис. 9.21).

Типичное представление геометрических данных выглядит следующим образом:

$$A, t_a, S_a, x_2, y_2, x_3, y_3, x_4, y_4, x_5, y_5, x_8, y_8;$$

$$B, t_b, S_b, x_2, y_2, x_8, y_8, x_7, y_7, x_1, y_1;$$

$$C, t_c, S_c, x_5, y_5, x_6, y_6, x_7, y_7, x_8, y_8,$$

где A, B, C – идентификаторы объектов (обычно целые числа); t – тип объекта; S – семантическая информация об объекте; x, y – координаты точек. Иногда в список координат включается третья координата – z . Преимущество

такого представления в том, что объект может, например, сразу анализироваться или отрисовываться. Его недостатком является дублирование координат некоторых точек. Так, в нашем примере координаты точки 8 представлены трижды, координаты точек 2, 5 и 7 – дважды. Поэтому, если координаты некоторой точки изменятся, то их нужно отыскивать в описании всех объектов и исправить. Если множество объектов никак не упорядочено, то придется просматривать все объекты.

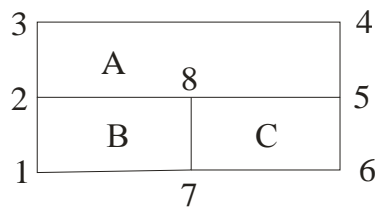


Рис. 9.21. Пример ситуации

Более удачным является решение, когда координаты точек хранятся в виде отдельного массива, а вместо координат в описании объектов используются указатели на точки:

$$A, t_a, S_a, p_2, p_3, p_4, p_5, p_8;$$

$$B, t_b, S_b, p_2, p_8, p_7, p_1;$$

$$C, t_c, S_c, p_5, p_6, p_7, p_8,$$

где p – указатели на точки.

При таком представлении геометрических данных нет необходимости отыскивать и исправлять координаты точек во многих местах, но и оно не избавляет от некоторых серьезных проблем.

На рис. 9.21 и во всех других случаях представления геометрических данных их можно рассматривать как некоторый граф. Указанные проблемы связаны с корректным представлением топологии графа, то есть отношения инцидентности или отношения смежности между элементами графа, которые в

существующих стандартах именуются смутным термином «пространственно-логические связи».

При описании геометрии объекта A на рис. 9.21 исполнитель мог совершить ошибку и пропустить точку 8. Тогда описание объекта A примет вид:

$$A, t_a, S_a, p_2, p_3, p_4, p_5.$$

Если точка 8 лежит на отрезке 2–5 или очень близко к нему, то обнаружить такую ошибку визуально невозможно даже при большом увеличении. Картографическое изображение будет вполне корректным, чего нельзя сказать о топологии графа, поскольку в данных присутствует несуществующее ребро 2–5. Если в дальнейшем координаты хотя бы одной из точек 2, 5 или 8 будут изменены, то может возникнуть либо пересечение площадных объектов, либо разрыв между ними, образование дыры. На рис. 9.22 представлены два случая, когда изменены координаты точки 8; слева изображено пересечение объектов B и C с объектом A , справа показана дыра – несуществующий геометрический объект (треугольник 2–5–8), которому не соответствует ни один семантический объект.

Присутствие ошибок такого рода, например, в представлении дорожной или речной сети, может приводить к их разрывам. В системах земельного кадастра в результате ошибок подобного рода может нарушаться баланс площадей. Геоинформационная модель в пределах одного листа топографической карты мелкого или среднего масштаба насчитывает десятки тысяч точек, и указанные ошибки не такая уж редкость, если не обеспечивается программный контроль топологической корректности данных.

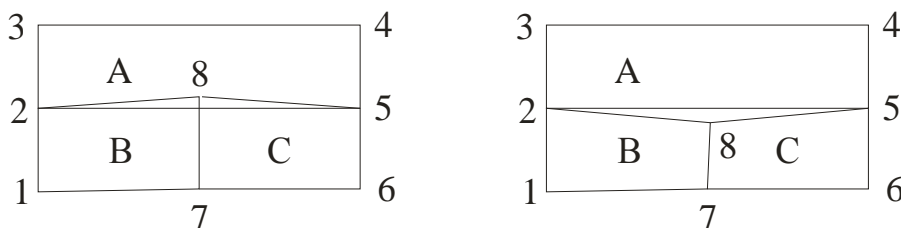


Рис. 9.22. Пересечение и разрыв объектов

Прежде чем переходить к топологическому представлению геометрии объектов, рассмотрим представление объектов с некоторыми особенностями. Семантические объекты, состоящие из нескольких площадных объектов, могут представляться следующим образом:

$$I, t_i, S_i, n_i, m_{i1}, \dots, m_{in}, P_i,$$

где I – идентификатор объекта; t – указатель на тип семантического объекта; S – семантическая информация об объекте, n – число полигонов, образующих объект; m_{ij} – число точек в полигоне j ; P – список указателей на точки.

Пример несвязного площадного объекта представлен на рис. 9.23. Его описание могло бы выглядеть как

$$I, t_i, S_i, 3, 4, 4, 4, P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6 P_7 P_8 P_9 P_{10} P_{11} P_{12},$$

где P_j – указатель на точку j .

Здесь следует обратить внимание на порядок перечисления точек в полигоне:

- перечисление может начинаться с любой точки;
- точки перечисляются в порядке их соединения ребрами;
- направление обхода совершается по часовой стрелке, объект при этом всегда остается справа.

Аналогичным образом могут представляться многосвязные площадные объекты, подобные изображенному на рис. 9.24:



Рис. 10.2. К определению типов сигнатуры

В отличие от примера на рис. 9.23, обход циклов, образующих внутреннюю границу площадного объекта, совершается в противоположном направлении, то есть против часовой стрелки; объект при этом также остается справа.

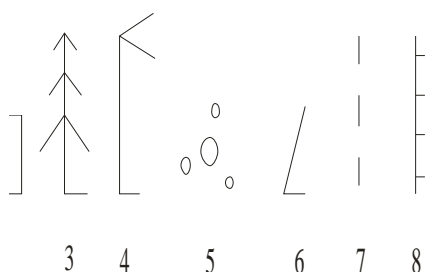


Рис. 9.23. Пример несвязного объекта

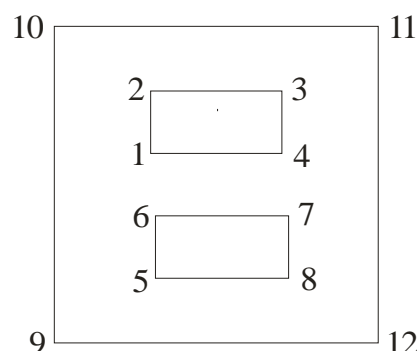


Рис. 9.24. Пример многосвязного объекта

Если требуется представить семантический объект, которому соответствует несколько площадных объектов и некоторые из них являются многосвязными (рис. 9.24), то может использоваться следующее правило: в описании объекта данные, относящиеся к одному площадному объекту, не разбиваются, а следуют друг за другом. С помощью способа записи (нотации), предложенного Бэкусом и Науром, это правило можно записать как

<площадной объект> ::= <описание связной компоненты> | <площадной объект> <описание связной компоненты>;

<описание связной компоненты 1> ::= <внешняя граница> [<внутренняя граница>];

<внешняя граница> ::= <замкнутый контур>;

<внутренняя граница> ::= <замкнутый контур> | <внутренняя граница> <замкнутый контур>.

Отсюда следует, что связный площадной объект имеет одну внешнюю границу, а число его внутренних границ может составлять 0, 1 или более. Тогда представление геометрии семантического объекта, изображенного на рис. 9.25, может выглядеть так:

$I, t_i, S_i, 3, 4, 4, 4, P_9 P_{10} P_{11} P_{12} P_4 P_3 P_2 P_1 P_5 P_6 P_7 P_8$.

Отмеченное выше требование обходить площадные объекты так, чтобы объект находился справа, не является обязательным. Можно было принять

решение обходить объекты в противоположном направлении, то есть, чтобы они оставались всегда слева. Это не принципиально. Принципиально *однообразие* в представлении всех площадных объектов: при обходе они должны оставаться либо всегда слева, либо всегда справа.

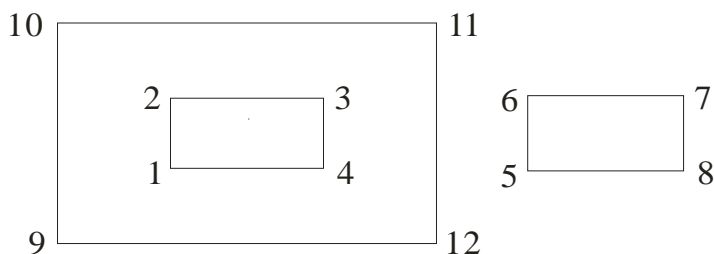


Рис. 9.25. Пример сложного объекта

Смысл указанного требования в том, что при его соблюдении обход внешней и внутренней границ площадного объекта будет осуществляться в противоположных направлениях: если обход внешней границы совершается по часовой стрелке, то внутренней – против часовой стрелки, и наоборот. Площадь многоугольников,

представляющих внешнюю и внутреннюю границы, при таком обходе будет иметь противоположные знаки. Следовательно, по площади замкнутого контура можно судить, является ли он внутренней или внешней границей связного площадного объекта.

Топологическое представление геометрических данных основывается на их трактовке как графа. И задача представления геометрических данных рассматривается как задача представления графа. И в этом смысле оно противоположно объектному представлению, которое полностью такой подход игнорирует.

Далее пространственные данные будут рассматриваться как графы, которые могут содержать изолированные вершины, но не содержат петель и кратных ребер.

Чтобы полностью представить некоторый граф, необходимо и достаточно:

- представить все его вершины;
- представить все существующие в нем отношения инцидентности (матрица инцидентности) или все отношения смежности (матрица смежности).

Вообще-то, одно из представлений графа следует непосредственно из его определения как множества вершин и множества ребер. Следовательно, если мы представим все вершины графа и все его ребра, то задача будет решена. Таким образом, будем считать, что граф представлен множеством вершин

$$V = \{v_i\} = \{(x_i, y_i, z_i)\} \quad (i = 1, \dots, n = |V|)$$

и множеством ребер

$$E = \{e_j\} = \{(v_{j1}, v_{j2})\} \quad (j = 1, \dots, m = |E|),$$

где v обозначает вершину; e – ребро; x , y и z – координаты вершины.

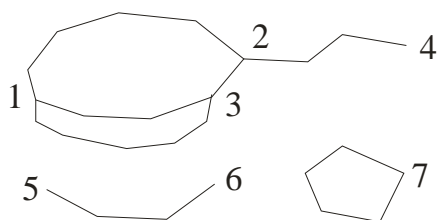


Рис. 9.26. Простые цепи

Все линейные и площадные объекты присутствуют в полученном представлении в неявном виде. Но задача представления

моделируемых объектов как совокупности геометрических и семантических объектов не может считаться решенной. Поэтому на следующем шаге программным путем необходимо «собрать» из ребер простые цепи и из них сконструировать простые циклы наименьшей длины.

Все множество простых цепей может быть представлено в виде $L = \{l_k\}$ ($k = 1, \dots, |L|$), где $l_k = (e_{k1}, \dots, e_{ks})$ – кортеж ребер, образующих простую цепь длиной s . Началом и концом такой цепи могут быть узловые, псевдоузловые и висячие вершины. Если простая цепь является замкнутой и все ее вершины имеют степень 2, то есть цепь не содержит узловых вершин, то первая вершина цепи (она же последняя) считается *псевдоузлом*. Все возможные виды простых цепей приведены на рис. 9.26.

Началом и концом цепей 1–2, 1–3 и 2–3 служат узловые вершины. Одна из крайних вершин цепи 2–4 является узловой, другая – висячей; начальная и конечная вершины цепи 5–6 являются висячими, а начало и конец цепи 7–7 представляет собой псевдоузел. Цепь 2–3 состоит из одного ребра.

Множество циклов наименьшей длины может быть представлено как $C = \{c_t\}$ ($t = 1, \dots, |C|$), где каждый цикл C образован упорядоченной последовательностью r простых цепей $c_t = (l_{t1}, \dots, l_{tr})$, в которой начальная вершина следующей цепи совпадает с конечной вершиной предыдущей цепи. Каждый цикл ограничивает некоторую грань, то есть 2-мерный объект. На рис. 9.27 показаны примеры граней. Объекты B , D и H являются многосвязными, остальные – односвязные; объект H не имеет внешней границы (точнее, она находится вне области моделирования).

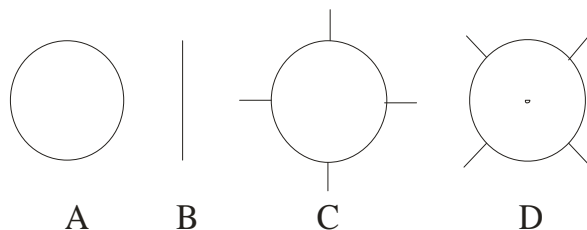


Рис. 9.27. Грани (2-мерные объекты)

На рис. 9.27 наименьшими являются, например, циклы, ограничивающие грани E , F и G . Замкнутые цепи, ограничивающие объединение граней $E \cup F$, $F \cup G$ или $E \cup F \cup G$, также являются циклами, но не наименьшими.

В нотации Бэкуса – Наура формальное описание геометрических объектов может быть представлено следующим образом:

<вершина> ::= < x, y[,z]>;

<ребро> ::= <вершина> < вершина>; ($v_1 \neq v_2$);

<простая цепь> ::= <ребро> | <простая цепь> <ребро>;

<простой цикл> ::= <замкнутая простая цепь>; ($v_1 = v_n$);

<грань> ::= <внутренняя область> | <внешняя область>;

<точечный объект> ::= <вершина>;



Рис. 10.4. Сигнатура* сектор;

$\langle \text{линейный объект} \rangle ::= \langle \text{простая цепь} \rangle \mid \langle \text{линейный объект} \rangle \langle \text{простая цепь} \rangle$;

$\langle \text{площадной объект} \rangle ::= \langle \text{грань} \rangle \mid \langle \text{площадной объект} \rangle \langle \text{грань} \rangle$;

$\langle \text{полосной объект} \rangle ::= \langle \text{левая граница} \rangle \langle \text{правая граница} \rangle \langle \text{связная область} \rangle \mid \langle \text{полосной объект} \rangle \langle \text{левая граница} \rangle \langle \text{правая граница} \rangle \langle \text{связная область} \rangle$;

$\langle \text{левая граница} \rangle ::= \langle \text{простая цепь} \rangle$;

$\langle \text{правая граница} \rangle ::= \langle \text{простая цепь} \rangle$;

$\langle \text{связная область} \rangle ::= \langle \text{грань} \rangle \mid \langle \text{связная область} \rangle \langle \text{грань} \rangle$;

$\langle \text{элементарный объект} \rangle ::= \langle \text{точечный объект} \rangle \mid \langle \text{линейный объект} \rangle \mid \langle \text{площадной объект} \rangle \mid \langle \text{полосной объект} \rangle$;

$\langle \text{комплекс} \rangle ::= \langle \text{элементарный объект} \rangle \mid \langle \text{комплекс} \rangle \langle \text{элементарный объект} \rangle$;

$\langle \text{геометрический объект} \rangle ::= \langle \text{элементарный объект} \rangle \mid \langle \text{комплекс} \rangle$.

Элементарные геометрические объекты можно также называть симплексами и выделять среди них 0-, 1-, 2- и 3-симплексы.

9.16. Представление дискретных объектов

Выше было дано описание представления семантических и геометрических объектов как несвязанных друг с другом сущностей. Но дискретные объекты представляют собой единство семантических и геометрических свойств. Поэтому задача создания моделей дискретных объектов состоит в их представлении как целостных образований.

Ранее отмечалось, что между семантическими и геометрическими объектами существуют отношения с коэффициентом $m : n$. На рис. 9.28 представлен пример, когда одному геометрическому (линейному) объекту соответствует несколько семантических. Слева на нем показана ситуация, а справа – изображение соответствующей ей геометрической модели. Линии 1–2 (линейному объекту) соответствуют забор и участок линии электропередачи (семантические объекты). В некоторых случаях линии связи совмещаются с линиями электропередачи, поэтому на тех же столбах 1 и 2 может размещаться линия связи. Кроме того, линейный объект 1–2 служит границей огорода и границей асфальтированной дорожки (тротуара). Подобные отношения между объектами иногда встречаются.

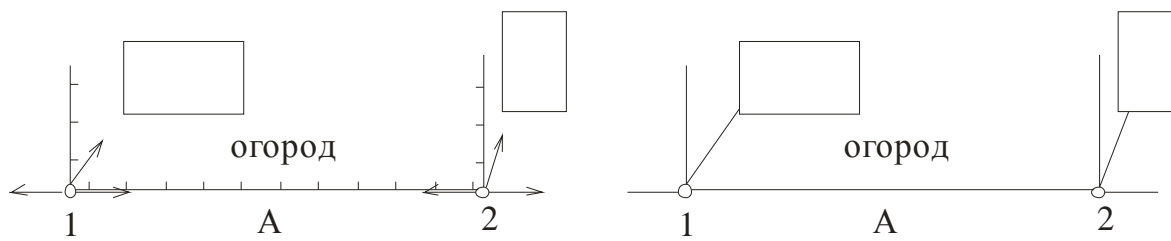


Рис. 9.28. Пример линейного объекта

На рис. 9.29 представлен противоположный пример, когда одному семантическому объекту (участку леса, пересекаемому дорогой) соответствует два геометрических (площадных) объекта. Предположим, что дорога

представляется полосным объектом. Тогда единый семантический объект должен быть представлен двумя площадными геометрическими объектами. Подобные ситуации в действительности встречаются довольно часто.

Существуют программные комплексы, не позволяющие представить один семантический объект, состоящий из двух или более геометрических объектов. При использовании таких программных продуктов лес был бы представлен как один площадной объект, а на него сверху наложен полосной объект – дорога. При таком построении можно получить безупречное картографическое изображение, но площадь леса будет больше фактической. Данное обстоятельство может вызвать резкие возражения со стороны лесоустроителей, поскольку при подсчетах запасов леса учитывается даже ширина просек. Таким образом, некорректные геоинформационные модели в некоторых случаях можно использовать, но далеко не всегда.

Рис. 9.29. Пример семантического объекта

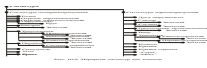
Указанный недостаток геоинформационной модели – пересечение площадного и полосного объектов – можно обнаружить визуально, если заблокировать отображение дорог на экране. После такой операции картографическое изображение на экране изменится. Но аналогичные проверки качества геоинформационных моделей требуют существенных затрат времени. Поэтому необходимо стремиться к тому, чтобы геоинформационные модели были правильными по своей конструкции, а система геомоделирования обеспечивала возможность построения моделей, адекватных любым сочетаниям объектов.

Из теории реляционных баз данных следует, что для представления связей с коэффициентом $m : n$ между двумя сущностями следует создать отношение для каждой сущности и одно отношение для связи между ними. Создав три таких отношения и инвертированный файл для отношения, представляющего связь между сущностями, можно осуществлять поиск геометрических объектов, образующих любой семантический объект, и поиск семантических объектов, соответствующих произвольно выбранному геометрическому объекту.

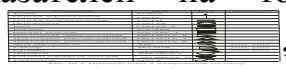






Данное решение упрощено, так как в действительности:

- представление семантических объектов организовано таким образом, что каждый тип объектов, как отдельный вид сущности, хранится в отдельном файле;
- для хранения каждого типа геометрических объектов (точечных, линейных, площадных, полосных и комплексных) также используются разные структуры данных.

Поэтому в отношении для представления связи геометрических и семантических объектов необходимо включать тип каждого семантического объекта, а для геометрических объектов требуется указывать тип локализации. Таким образом, структура отношения R для связи семантических и

геометрических объектов может иметь вид: , где t – тип семантического объекта; s – идентификатор семантического объекта; l – тип локализации; g – идентификатор геометрического объекта.

Возможен другой способ представления связи между геометрическими и семантическими объектами, наиболее применимый при подготовке данных. При его использовании геометрические данные имеют большее значение и представляют собой совокупность таких отношений, как «вершины», «ребра» и «простые цепи».

С каждой точкой связывается список указателей на точечные семантические объекты, соответствующие этой точке: , где i – идентификатор точки; x, y, z – координаты точки; P – список указателей на семантические объекты, локализованные в данной точке. Ребра представляются отношением , где v_1 и v_2 – начальная и конечная вершины ребра. Простые цепи представляются в виде отношения $S = (e_1, e_n, P_e, P_o, P_l, P_r)$, где e_1 и  – начальное и конечное ребро цепи;  – список указателей на промежуточные ребра цепи;  – список указателей на линейные семантические объекты, совпадающие с данной цепью;  – список указателей на площадные и полосные семантические объекты, лежащие слева от цепи;  – список указателей на площадные и полосные семантические объекты, лежащие справа от цепи.

Пример такого представления приведен на рис. 9.30 и в табл. 9.29. В данном представлении затруднен поиск геометрических объектов по заданным семантическим, поэтому требуется его преобразование в описанное выше.

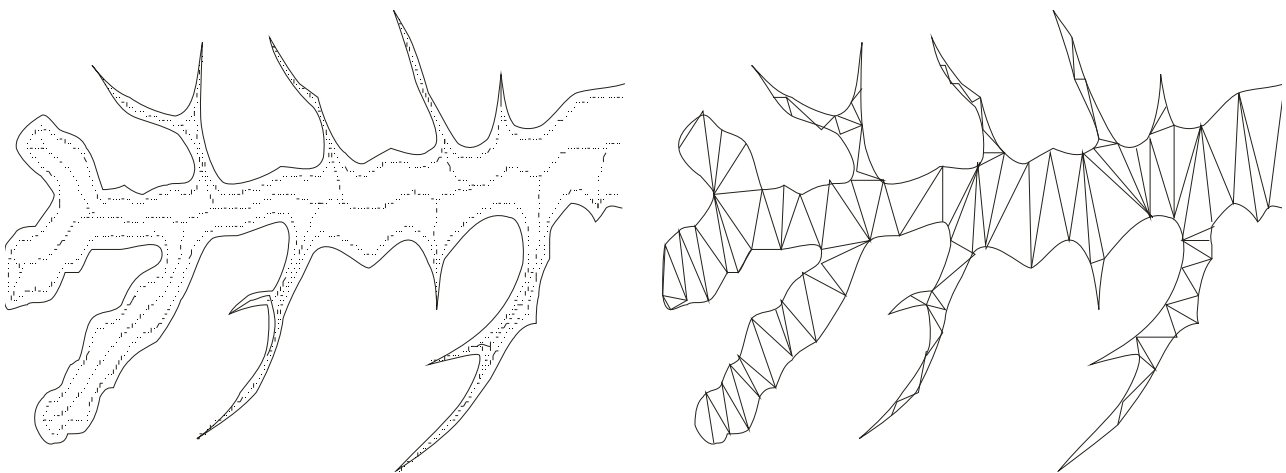


Рис. 9.30. К представлению комплексного объекта

Таблица 9.29. Представление комплексного объекта

Цепь	Линейный объект	Левый объект	Правый объект
1–2	река i	луг j	пашня k
2–3–4	река i	луг j	остров n
2–4	река i	остров n	пашня k
4–5	река i	луг j	пашня k
5–6		луг j	река i
5–7		река i	пашня k
7–8–9	река i	остров n	пашня k
7–9		река i	остров n
9–13		река i	пашня k
10–11–10		остров n	река i
6–12	плотина m дорога p	луг j	река i
12–13	плотина m дорога p	пашня k	река i
12–14	река i	луг j	пашня k

9.17. Партнерские системы геомоделирования

Некоторые авторы считают, что экспертные системы должны будут пройти три этапа своего развития [15]. Можно ожидать, что системы геомоделирования, основанные на знаниях, будут развиваться таким же образом. Поэтому, чтобы определить направления дальнейших исследований, есть смысл рассмотреть основные этапы возможного развития интеллектуальных систем геомоделирования.

На первом из трех этапов интеллектуальные системы геомоделирования являются пассивным помощником со слабым интеллектом и могут быть названы *системами-ассистентами* (СА). Такие системы обладают только теми знаниями, которые были получены инженером по знаниям от экспертов и переданы системе. Системы-ассистенты используют эти знания в процессе логического вывода, но не имеют механизмов для критической оценки новых знаний, обнаружения в них пробелов и противоречий и не могут проявлять инициативу, обращая внимание пользователя на изъяны в системе знаний. Пассивность системы-ассистента проявляется также в том, что она не может извлекать новые знания из данных, накапливаемых в процессе своего функционирования, и по своей инициативе не выдает пользователю никакой информации об обнаружении новых закономерностей или противоречий в базе знаний.

Перспективным направлением дальнейшего развития систем геомоделирования, основанных на знаниях, является преодоление

указанных ограничений и превращение их в активных интеллектуальных партнеров. Системы подобного типа называют *партнерскими системами* (ПС). Наряду со знаниями, полученными от экспертов, системы-партнеры будут способны самостоятельно извлекать знания из обрабатываемых данных. Они приобретут способность сопоставлять новые знания с имеющимися и обнаруживать в них противоречия и пробелы. Поэтому системы-партнеры смогут проявлять инициативу и обращать внимание пользователя на обнаруженные ошибки в базе знаний. Считают также, что партнерские системы будут обладать более дружественным интерфейсом пользователя.

Дальнейшее повышение IQ систем гео моделирования приведет к тому, что по отношению к пользователю они будут выступать в качестве учителя или лидера, в связи с чем их называют *системами-лидерами* (СЛ). Предполагается, что такие системы будут способны получать знания непосредственно от пользователя, а не от инженера по знаниям, извлекать знания из результатов экспериментов, в том числе осуществляемых под управлением самой системы. Такие системы будут способны понимать тексты в ограниченной проблемной области, понимать чертежи (карты, планы, схемы). Ожидают, что наиболее развитые системы будут способны строить абстрактные модели изучаемой проблемной области, то есть создавать ее теорию. Системы-лидеры будут обладать знаниями о собственной организации, то есть обладать «самосознанием», а для оптимизации общения с пользователем будут строить и использовать в процессе общения его модель.

Путь к дальнейшей интеллектуализации систем гео моделирования лежит через их интеграцию с *системами анализа данных*. *Анализом данных* называют раздел прикладной математики, занимающийся разработкой методов создания эмпирических гипотез на основе обработки результатов экспериментов. Иначе можно сказать, что анализ данных является формальной теорией таксономии. К этому определению можно дать следующие пояснения.








Традиционное или «классическое» направление прикладной математики связано с определением неизвестных значений характеристик объектов или явлений по известным значениям некоторых других их характеристик. Модель объекта при этом считается известной, а связи между значениями характеристик представляются теми или иными аналитическими выражениями.

Затем прикладная математика стала заниматься решением задач, в которых модель объекта известна лишь с точностью до параметров. В таких задачах известен общий вид аналитического выражения, представляющего зависимость между значениями различных параметров, но неизвестны все или некоторые параметры этого выражения: коэффициенты, показатели степени и т. п. Значения неизвестных параметров определяются путем обработки протоколов экспериментов. (Одним из методов определения неизвестных параметров в аналитическом выражении является широко используемый в геодезии метод наименьших квадратов.) Далее генерируются возможные значения неизвестных параметров, осуществляется их проверка на

протоколах экспериментов и выбираются значения параметров, наиболее близкие в том или ином смысле к эмпирическим данным. Задачи подобного типа называют задачами *идентификации моделей*.

Наиболее сложными являются задачи, в которых известно множество значений характеристик изучаемого объекта, но отсутствуют какие-либо знания о взаимосвязях характеристик, то есть неизвестен вид аналитических выражений. В сущности, изучаемый объект при этом рассматривается как «черный ящик» – одно из основных понятий кибернетики. Одна или несколько таких характеристик, называемых *целевыми*, рассматриваются как неизвестные функции остальных параметров, выступающих в роли аргументов этих функций. Единственным источником сведений об изучаемых объектах служат эмпирические данные, представленные в виде таблиц, называемых таблицами «объект – свойство» (табл. 9.30), которые могут быть неполными.

Таблица 9.30. Пример таблицы «объект – свойство»

Значения параметров			
		...	
x_{11}	x_{12}	...	
...
		...	

Выбор модели исследуемого объекта или явления сводится к определению вида аналитического выражения и его параметров. С этой целью осуществляется генерация различных моделей и их проверка на эмпирических данных. Возникающий при этом круг задач называют *анализом данных*. Однако, считается, что выбор характеристик, включаемых в модель исследуемого объекта, как и класса моделей, в большей степени относится к конкретной проблемной области, чем к анализу данных.

Таким образом, надежды на расширение функциональных возможностей интеллектуальных систем геомоделирования связываются преимущественно с включением в их состав систем анализа данных. Сравнительные характеристики «обычных» экспертных систем и партнерских систем приводятся ниже.

1. В экспертных системах знания обычно представляются в какой-либо одной форме: в виде систем продукций, семантических сетей или фреймовых моделей. Партнерские системы геомоделирования будут работать одновременно с разными моделями знаний.

2. Экспертные системы обычно содержат только базы знаний, партнерские системы будут содержать базы данных.

3. Экспертные системы используют только знания, полученные от экспертов, партнерские системы будут обладать способностью к извлечению их из баз данных и протоколов экспериментов (таблиц «объект – свойство»).

Эмпирические данные могут представляться как множество кортежей вида (a, x, v, t, p) , и каждый кортеж может трактоваться как «свойство x объекта a в момент времени t с вероятностью (или достоверностью) p имело значение v ».

4. В отличие от экспертных систем, использующих только дедуктивный вывод, партнерские системы будут способны к индуктивным рассуждениям.

5. Экспертные системы при общении с пользователями используют меню, таблицы или фразы естественного языка с фиксированной структурой. Партнерские системы будут содержать лингвистические процессоры, способные понимать фразы пользователя на естественном проблемно-ориентированном языке.

6. Устный диалог позволит общаться с партнерскими системами по телефону.

7. Значительным отличием партнерских систем от экспертных будет их способность осуществлять анализ содержания баз знаний, определять непротиворечивость и полноту знаний.

8. В партнерских системах базы знаний будут использоваться для обнаружения ошибок в базах данных, что позволит повысить достоверность данных.

9. Партнерские системы будут содержать средства для заполнения пробелов, то есть определения значений величин, отсутствующих в базах данных.

Все указанные свойства партнерских систем, возможно, не найдут широкого применения при создании «топографических» информационных систем (или систем общего назначения). Но они могут стать наиболее важными свойствами некоторых специализированных систем геомоделирования: в геологии, экологии и т. д.

С высокой степенью уверенности можно утверждать, что в дальнейшем системы геомоделирования будут обладать структурой и функциями партнерских систем. Возможности использования анализа данных при создании автоматизированных картографических систем будут рассмотрены далее.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 21667–76. Картография. Термины и определения.
2. ГОСТ 28441–90. Картография цифровая. Термины и определения.
3. ГОСТ Р 50828–95. Геоинформационное картографирование. Пространственные данные, цифровые и электронные карты. Общие требования.
4. ГОСТ 28441–99. Картография цифровая. Термины и определения.
5. ГОСТ Р 51353–99. Геоинформационное картографирование. Метаданные электронных карт. Состав и содержание.
6. ГОСТ Р 51605–2000. Карты цифровые топографические. Общие требования.
7. ГОСТ Р 51606–2000. Карты цифровые топографические. Система классификации и кодирования цифровой картографической информации. Общие требования.
8. ГОСТ Р 51607–2000. Карты цифровые топографические. Правила цифрового описания картографической информации. Общие требования.
9. ГОСТ Р 51608–2000. Карты цифровые топографические. Требования к качеству.
10. ОСТ 68–3.7.1–03. Цифровые модели местности. Каталог объектов местности. Состав и содержание – М., ЦНИИГАиК, 2003. – 114 с.
11. Агафонов И.Д., Бурбан П.Ю. Технология создания цифровых топографических карт масштаба 1 : 100 000 // Геодезия и картография – 2005. № 4. – С. 36–38.
12. Берлянт А.М. Геоинформационное картографирование. – М., 1997. – 64 с.
13. Бородко А.В. Первоочередные задачи отрасли // Геодезия и картография. – 2005. – № 4. – С. 5–7.
14. Гончаренко С.В., Гуральник М.Л., Фетман Н.Я. О некоторых подходах в проблеме ГИС и инженерные сети // Информационный бюллетень. – 1997. – № 5 (12). – С. 29.
15. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. – Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1999. – 270 с.
16. Калининченко Л.А. Методы и средства интеграции неоднородных баз данных. – М.: Наука. Глав. редакция физ.-мат. лит., 1983. – 424 с.
17. Классификатор топографической информации (Информация, отображаемая на картах и планах масштабов 1 : 500, 1 : 1 000, 1 : 2 000, 1 : 5 000, 1 : 10 000). – М.: ГУТК, 1986. – 90 с.
18. Кондратов А. М. Звуки и знаки. – М.: Знание, 1978. – 208 с.
19. Коппок Т., Андерсон Э. Общий обзор развития геоинформационных систем // Картография. Вып. 4. Геоинформационные системы. – М.: Картгеоцентр – Геодезиздат, 1994. С. 110–119.
20. Лисицкий Д.В. Основные принципы цифрового картографирования местности. – М.: Недра, 1989. – 261 с.
21. Мартыненко А.И. Комментарий к стандарту // Информационный бюллетень. – 1997. – № 3 (10). – С. 29.

22. Медведев С. TRACE MODE 4.20. Новые возможности в автоматизации технологических процессов // Компьютер-Пресс. – 1996. – № 1. – С. 42–44.
23. Основы современной системотехники / Под ред. М. Рабина. – М.: Мир, 1975. – 527 с.
24. Перлов С.С. Замечания к стандарту // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. – 1997. – № 4 (11). – С. 26.
25. Прусаков А.Н. Обеспеченность территории Российской Федерации цифровыми картами // Геодезия и картография. – 2005. – № 4. – С. 31–35.
26. Рогачев А.В. От цифровой карты – к цифровой модели местности // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. – 2002. – № 4 (36). – С. 61–64; № 5 (37). – С. 63–67.
27. Условные знаки для топографических карт масштабов 1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000, 1 : 500. – М.: Недра, 1989. – 285 с.
28. Условные знаки для топографических карт масштабов 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000. – М.: ВТУ ГШ, 1983. – 90 с.
29. Фигуровская В.М. Техническое знание. Особенности возникновения и функционирования. – Новосибирск: Изд-во «Наука», Сибирское отделение, 1979. – 192 с.
30. Федоров Н.Ф., Веселов С.Ф. Городские подземные сети и коллекторы: Учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1972. – 304 с.
31. Холл А. Опыт методологии для системотехники. – М.: Сов. радио, 1975. – 448 с.
32. Хрисман Н.Р. Основные принципы построения географических информационных систем // Картография. Вып. 4. Геоинформационные системы. – М.: Картгеоцентр – Геодезиздат, 1994. – С. 20–30.
33. Четырехязычный энциклопедический словарь терминов по физической географии. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 703 с.
34. Шалютин С.М. Искусственный интеллект: гносеологический аспект. – М.: Мысль, 1985. – 199 с.
35. Кравченко Ю.А. О возможности автоматизации кодирования семантической информации // Сб. научн. Тр. НИИПГ. Вып. 6. Автоматизация крупномасштабного картографирования. – М., 1982. – С. 91–103.
36. Automation of the large-scale mapping using ASM-1 / А.П. Иванов и др. // XVII Congress of the International Federation of the Surveyors. Comm. 5, Sofia, Bulgaria, June 19–28, 1983. – 510 p.
37. Кравченко Ю.А. Проблема цифрового картографирования: от обработки данных к обработке знаний // Научн.-техн. сб. по геодезии, аэрокосмическим съемкам и картографии. Исследования в области цифрового картографирования, ГИС-технологий и кадастра. – М.: ЦНИИГАиК, 1995. – С. 24–32.
38. Кравченко Ю.А. Технологии создания цифровых топографических карт // Геодезия и картография. – 1996. – № 3. – С. 43–47.
39. Кравченко Ю.А. Потребности пользователей: цифровые карты или цифровые модели? // Материалы 3-й уч.-практ. конф. «Проблемы ввода и

обновления пространственной информации». Ч. 1., Москва, 23–27 февраля 1998 г. – С. 65–69.

40. Кравченко Ю.А. Структура и функции интегрированной ГИС. Материалы междунаро. конф. INTERCARTO 4. ГИС для оптимизации природопользования в целях устойчивого развития территорий. – Барнаул, 1998. – С. 85–91.

41. Кравченко Ю.А. Цифровое картографирование: что унифицировать? // Геодезия и картография. – 1999. – № 2. – С. 3–7.

42. Кравченко Ю.А. О содержании проекта стандарта «Метаданные электронных карт» // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. – 1999. – № 1 (18). – С. 22–23.

43. Кравченко Ю.А. Смежные дисциплины и предмет геоинформатики // Геодезия и картография. – 2001. – № 3. – С. 44–50.

44. Кравченко Ю.А. Анализ классификатора топографической информации // Геодезия и картография. – 2002. – № 3. – С. 44–50.

45. Кравченко Ю.А. Организация базы знаний о земной поверхности // Геодезия и картография. – 2002. – № 4. – С. 42–54.

46. Кравченко Ю.А. О типологии объектов геоинформационного моделирования // Геодезия и картография. – 2002. – № 7. С. 48–55.

47. Каленицкий А.И., Кравченко Ю.А. О проблеме унификации в автоматизированном картографировании // Геодезия и картография. – 2003. – № 7. – С. 44–48.

48. Кравченко Ю.А. Об истории и проблемах «цифрового картографирования» в России // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. – 2003. – № 3 (40). – С. 50–52; № 4 (41). – С. 48–49; 2004. – № 1 (43). С. 50–53.

10. КОНТУРЫ ФОРМАЛЬНОЙ КАРТОГРАФИИ

10.1. Потребности и возможности систем картографического отображения

Системы картографического отображения представляют ценность как в связи с подготовкой к изданию картографической продукции, так и в связи с необходимостью визуализации пространственных данных в геоинформационных системах. Развитая система геомоделирования должна иметь в качестве своего обязательного компонента достаточно мощную систему картографического отображения.

В настоящее время надежность и функциональные возможности программного обеспечения автоматизированных картографических систем хронически отстают от потребностей и ожиданий производственных организаций. В частности, можно привести такие примеры их недостатков: отсутствие полосных объектов, отсутствие кривых, привязка исходных картографических материалов к системе координат по двум точкам, моделирование площадных объектов и их границ как самостоятельных (?) объектов и т. п.

Наличие ошибок в программном обеспечении и его неудовлетворительные функциональные возможности являются причиной больших сроков и высокой стоимости создания геоинформационных моделей и подготовки карт к изданию. В настоящее время затраты на автоматизированную подготовку карт к изданию сопоставимы с уровнем расходов при их подготовке к изданию по традиционным технологиям и даже превосходят их.

Если судить по публикациям, то проблема автоматизации картографирования успешно решена. При этом научная новизна, как правило, усматривается в самом факте разработки геоинформационной или картографической системы.

Если сравнивать автоматизированные картографические, кадастровые и геоинформационные системы между собой, то легко видеть их сходство и различие в назначении и выполняемых функциях. Все эти системы должны вводить, хранить, обновлять, обрабатывать и представлять в графическом виде положение и характеристики объектов местности. Несколько упрощая различия, можно сказать, что кадастровые системы дополнительно должны обеспечивать вывод табличных документов, чего от чисто картографических систем не требуется. Наиболее развитым программным обеспечением сегодня обладают ГИС общего назначения.

В кадастровых и геоинформационных системах нет общепринятых систем условных знаков, и тут разработчики программного обеспечения не ограничены необходимостью строгого соблюдения условных знаков топографических или специальных карт. Как правило, реализуются в известной степени примитивизированные произвольные системы условных знаков. Отсутствие интереса к полной реализации условных знаков топографических карт и планов разработчики программного обеспечения объясняют тем, что они (условные знаки) – «плохие».

На протяжении последних 20–30 лет в оформлении топографических карт наблюдается устойчивая тенденция к рационализации: сокращено число используемых шрифтов, упрощается начертание условных знаков и т. п. Эта тенденция объясняется необходимостью сокращения затрат труда при вычерчивании, что имело рациональное обоснование при традиционных способах создания карт. При автоматизированном картографировании такие ухищрения снижают стоимость создания топографических произведений на ничтожную величину, но заметно ухудшают их выразительность.

Под разговоры о карте как средстве коммуникации разработчики программного обеспечения призывают к еще большей рационализации систем условных знаков, объясняя это ограниченными возможностями технических средств. В действительности же автоматизация на основе современных программно-технических средств создает благоприятные предпосылки для достижения большей выразительности карт.

Несомненно, что разработка программного обеспечения для автоматического вычерчивания всего спектра топографических условных знаков является сложной задачей. Но также очевидно, что сильной стороной сложившейся системы условных знаков топографических карт является (к сожалению, не всегда) их понятность и мнемоничность. В принципе, не сложно разработать простую для вычерчивания систему условных знаков для любых карт, но их понимаемость ухудшится. Поэтому, как бы ни были неудобны условные знаки с точки зрения автоматизированного вычерчивания, необходимо стремиться к их полной реализации для всего масштабного ряда топографических и любых специальных карт и планов. Необходимо осознать, что критерий понимаемости и наглядности карт обладает более высоким приоритетом, чем критерий сложности их вычерчивания.

Если мы признаем сложность создания автоматизированных систем картографирования, то мы должны сделать вывод о необходимости использования при их разработке принципов, методов и инструментария, соответствующих уровню сложности решаемых задач. В ретроспективе разработку используемых в настоящее время автоматизированных систем картографирования можно оценить как попытку решить сложную задачу с помощью мало пригодных средств и методов.

Предприятия Роскартографии и другие организации выпускают широкий спектр картографической продукции: топографические, дорожные, общегеографические, туристические, административные карты и атласы и т. п. Поскольку освоение больших программных комплексов требует значительного времени, крайне важно использовать их для создания любых видов картографической продукции. Разработку адаптируемых автоматизированных картографических систем следует рассматривать как один из методов унификации технологий картографирования.

Выполнение топографических съемок и вычерчивание карт и планов являются деятельностью, требующей определенных интеллектуальных усилий, что обусловлено сложностью местности как объекта информационного моделирования. Если съемку местности и построение ее модели в виде карты

или плана рассматривать как задачу, то следует отметить, что ее решение характеризуется неоднозначностью, возможностью получения множества аналоговых моделей в виде планов и карт удовлетворительного качества. Таким образом, решение задачи построения информационной модели геопространства и ее картографического отображения носит качественный, а не количественный характер.

Причиной неоднозначности служит неформальный и, в известной мере, творческий характер процессов получения и переработки топографической или географической информации. Трудности автоматизации этих процессов связаны прежде всего с их плохой формализуемостью. В свою очередь, плохая формализуемость объясняется большим разнообразием типов моделируемых объектов, каждый из которых обладает уникальной и нередко сложной структурой, и необходимостью представления сложных пространственных отношений между объектами геопространства, а также необходимостью обработки разнообразной семантической информации. Хотя в геодезии и картографии накоплен значительный опыт автоматизации вычислений, то есть обработки чисел, этого нельзя сказать об автоматизированной обработке смысла. Поэтому можно сделать вывод: чтобы обладать высокой степенью адаптируемости, автоматизированные картографические системы (АКС) также должны базироваться на знаниях.

10.2. Определение и назначение языка картографического отображения

В силу существования так называемой *гетерогенной коммуникации* (коммуникации между человеком и компьютером) потребность в автоматизированном построении картографического изображения будет сохраняться всегда, поскольку даже в ГИС результат должен представляться в форме, удобной для восприятия человеком. Проблема автоматического создания картографических изображений не получила должного решения до сих пор и продолжает оставаться актуальной. Поэтому ниже эта проблема рассматривается как проблема формализации отображения семантической информации, составляющей содержание карт и планов.

Кроме того, в настоящее время произошел массовый переход на автоматизированные технологии подготовки к изданию карт и планов любого масштаба и назначения. В связи с этим возникает потребность в представлении картографических изображений на машинных носителях с целью их создания, хранения и распространения. Подготовка картографических произведений к изданию выполняется преимущественно с помощью настольных издательских систем (НИС), предназначенных для подготовки к изданию любой печатной продукции. Но появились и специализированные программные комплексы, в частности – НЕВА, для подготовки к изданию картографических материалов.

Преимущество специализированных систем в том, что они функционируют эффективнее универсальных. Эта закономерность наблюдается и при подготовке картографической продукции к изданию. Универсальные НИС не содержат таких функций, как выбор системы координат или картографической

проекции и соответствующих преобразований и т. п., поэтому имеют более низкий коэффициент автоматизации и более низкую производительность.

Другой недостаток настольных издательских систем – очень высокие требования к техническим средствам. Они без затруднений обрабатывают файлы размером в журнальную страницу, но при больших и насыщенных изображениях, какими являются подробные мелкомасштабные карты большого формата, их производительность резко падает. Иногда подготовка такой карты к изданию может превратиться в серьезную проблему. Поэтому в ближайшее время можно ожидать широкого распространения комплекса НЕВА и других аналогичных комплексов.

НИС могут поддерживать как собственный формат данных, так и ставший стандартом де-факто язык PostScript, предназначенный для описания *любых* изображений. На этом же языке представляются выходные данные в картографических системах (КАРТ-ДОК, НЕВА...), поскольку он является входным для устройств фотовывода. Но если любое специализированное средство функционирует эффективнее универсального, то возникает мысль о целесообразности разработки *языка описания картографических изображений* для их представления на машинных носителях. Указанные причины необходимости создания такого языка относятся к явным. Помимо них существуют причины менее очевидные.

Сегодня считается дурным тоном не отмечать системный подход к решению той или иной задачи. Если говорить о системном подходе к решению проблемы автоматизированного создания карт и планов, то такой язык должен служить универсальным средством для решения всего спектра задач автоматизации картографирования.

Язык является средством и общения, и мышления. Поэтому для картографа формализованный язык должен служить *средством определения спецификаций картографического произведения*, средством изложения информационных потребностей и способов их реализации в виде требований к содержанию карты и его представлению.

Язык описания картографических изображений должен быть также *языком публикаций*, что означает его использование при издании официальных нормативных документов, а также при разработке внутренних документов (редакционных указаний и т. п.) в топографо-геодезических и картографических организациях.

При разработке программных средств язык описания картографических изображений должен использоваться как *средство общения между картографом и программистом*. Картография и программирование значительно отличаются своими проблемными областями, что порождает известные трудности при общении программиста и картографа. От программистов можно слышать, что картографы не в состоянии выполнить постановку задачи. Поэтому сегодня программист вынужден решать задачу, которую должен решать картограф. Это задача формализации картографического отображения. Но вместо формализованного описания картографического отображения картограф предъявляет программисту таблицу условных знаков, которую тот

должен «запрограммировать». Разработка формального картографического языка и соответствующей теории позволит если не ликвидировать, то сократить разрыв между мышлением картографа и логикой программиста.

Наконец, как отмечалось выше, такой язык должен определять внутреннее представление картографических изображений в автоматизированных системах.

Таким образом, язык описания картографических изображений должен предназначаться для общения между картографами, между картографом и программистом, между картографом и компьютером и между компьютерами.

Обе проблемы – автоматизированного создания картографических изображений и обмена ими – взаимосвязаны. Под *автоматизированным созданием картографического изображения* будем понимать не только его воспроизведение в графической форме на носителе информации (бумаге, фотопленке или экране монитора) по его представлению на языке описания картографических изображений, но и получение такого представления. Иначе – под *созданием картографического произведения* будем понимать все процессы, начиная от формулировки замысла до его реализации, то есть до получения расчлененных издательских оригиналов.

Создание карты подразумевает создание элементов картографического изображения и манипулирование ими. Автоматизированное выполнение операций над картографическим изображением требует наличия аппарата формальных преобразований, соответствующей формальной теории. Эта теория должна представлять своего рода исчисление (или алгебру) картографических изображений, подобное любой формальной теории, будь то исчисление высказываний, теория множеств или векторная алгебра. Для изложения этой теории также требуется соответствующий язык.

При создании карты картограф использует определенную систему условных знаков. Он либо разрабатывает ее сам при создании нового типа карты, либо берет уже имеющуюся. *Система условных знаков* – это соглашение о способах отображения свойств картографируемых объектов с помощью изобразительных средств – графических переменных. Поэтому картографический язык должен содержать не только средства описания картографических изображений и манипулирования ими, но также *средства определения соответствия* между свойствами объектов и свойствами картографического изображения. Тогда такой язык точнее будет называть *языком картографического отображения* (ЯКО).

Таким образом, язык картографического отображения должен содержать:

- 1) средства для описания картографических изображений;
- 2) средства манипулирования картографическими изображениями;
- 3) средства определения соответствия между картографируемыми и картографическими объектами.

Заметим, что подобный подход (разделение описания объектов и управления ими) применяется в языках программирования вообще и в системах управления базами данных. В последних четко разделяется язык описания данных и язык манипулирования данными. Средства для описания изображений в языке картографического отображения – это формализм для представления

декларативных знаний о картографических объектах. Средства манипулирования картографическими изображениями – механизм для представления процедурных знаний в декларативной форме. Средства определения соответствия между картографируемыми и картографическими объектами представляют собой систему правил картографического отображения, представляемых также в декларативной форме.

10.3. Возможные решения

При разработке языка картографического отображения целесообразно не создавать его с нуля, а использовать какой-либо существующий формальный или формализованный язык. В качестве стандарта такого языка можно было бы взять подмножество языка PostScript. Разработчиками он был определен как:

- язык программирования с мощными встроенными графическими примитивами;
- язык описания страниц, включающий возможности программирования;
- интерактивная система управления растровыми выводными устройствами;
- обменный формат.

PostScript развивается, на момент написания настоящей работы известны три его версии. Сегодня не ясно, как долго будет существовать последняя версия языка, какое время он будет оставаться стандартом и не заменит ли его более совершенный язык.

Наличие стандарта языка картографического отображения позволит сделать смену универсального языка описания изображений менее болезненной. Для этого достаточно будет создать конвертор с языка картографического отображения на существующий или новый универсальный язык описания изображений. Кроме того, можно разработать программные средства, создающие растровое изображение непосредственно по описанию картографического изображения, минуя так называемые *растеризаторы*.

Можно было бы в качестве картографического языка использовать внутреннее представление картографических изображений в том или ином программном комплексе (НЕВА, КАРТ-ДОК...). Но доступные нам сведения об указанных программных продуктах не дают оснований для особого оптимизма. В частности, можно отметить их не очень последовательную реализацию картографической теории, наличие эвристик и отсутствие возможности описания операций над картографическим изображением в ясной декларативной форме.

Наиболее достойным кандидатом на роль проязыка или базового языка представляется универсальный язык программирования C++. Целесообразность такого решения объясняется особенностями использования геоинформационных систем. В ГИС необходимо не только создавать корректные картографические изображения, но и решать множество прикладных задач, тогда как от издательских систем не требуется выполнения других функций, кроме обработки изображений.

Таким образом, для повышения эффективности разработки систем гео моделирования требуется интеграция или хотя бы связь языка картографического отображения с языком программирования высокого уровня. Язык картографического отображения не является альтернативой программному языку, мы будем трактовать его как декларативный язык для описания, создания и распространения картографических изображений в цифровом виде. Программная реализация такого языка может представлять собой проблемно-ориентированное расширение языка C++ на основе имеющихся в нем средств объектно-ориентированного программирования.

Достоинствами C++, определившими его выбор в качестве базового языка, являются широкое распространение, эффективность, мощностъ, лаконичность и даже некоторая элегантность. Близость синтаксиса языка картографического отображения к C++ и наличие в последнем, разрабатывавшемся изначально как объектно-ориентированный язык, возможностей инкапсуляции, наследования, переопределения операторов, виртуальных функций и абстрактных классов позволит повысить производительность при разработке программных средств для решения картографических задач. Потребность в таких средствах является очень высокой, так как низкие темпы автоматизации картографирования обусловлены дефицитом проблемно-ориентированных программных продуктов, высокой трудоемкостью их разработки, а также их функциональной неполнотой и низкой надежностью. Все это – результат отсутствия необходимых формальных средств.

В книге [6, с. 10], изданной без указания автора, которым, скорее всего, является автор языка C++ Bjarne Stroustrup (фамилию которого в русской транскрипции иногда пишут как «Страуструп» [5], но чаще как «Строуструп» [10]) в пункте «Философские замечания» приводится следующее обоснование: «Язык программирования преследует две взаимосвязанные цели: он дает программисту средство определить действия, которые надлежит выполнить, и задает набор понятий, которым программист пользуется, обдумывая возможности выполнения. В идеале для первой цели требуется язык, «близкий к машинному», с тем, чтобы все особенности компьютера обрабатывались простыми и эффективными способами, достаточно объяснимыми с точки зрения программиста. Именно это и было начальной целью создания языка C. Для второй цели в идеале требуется язык, «близкий к решаемой проблеме», с тем, чтобы конструкции решения можно было выразить точно и прямо. Именно это и было начальной целью средств, расширяющих C до C++. ...*Существует тесная связь между языком, на котором мы мыслим/программируем, и проблемами и решениями, которые могут прийти нам на ум* (выделено Ю. К.). Исходя из этого соображения, следует считать по меньшей мере опасным ограничение возможностей языка с целью предотвратить программистские ошибки. ...Язык дает программисту набор концептуальных инструментов; если они не подходят для данной задачи, то их просто игнорируют».

Последнее соображение о связи между языком и решениями нам представляется чрезвычайно важным. И нашу проблему мы должны понимать

как обеспечение картографа системой необходимых концептуальных понятий и соответствующих языковых средств.

В книге [5, с. 224] утверждается: «Существуют специализированные языки программирования, предназначенные для моделирования, обработки строк, численных расчетов и т. п. с синтаксисом и системой типов, приспособленными к специфической проблемной области. Эти языки существуют, поскольку привычный язык упрощает проектирование, кодирование и сопровождение специализированных прикладных программ по сравнению с языком более общего назначения. ...Пользователи этих языков могут свободно разрабатывать и программировать в концепциях, с которыми работают их программы, а не с использованием представлений низкого уровня. Большинство функциональных возможностей проблемно ориентированных языков может быть реализовано в C++ при помощи библиотек классов». И далее: «Слишком сложно и дорого создавать новый язык программирования, приспособленный к проблемной области, но библиотеки классов реализовать сравнительно просто. Поэтому имеет смысл разрабатывать проблемно-ориентированную языковую библиотеку для области, в которой пишется сравнительно мало программ, или даже для одной программы» [5, с. 224].

Приведенные соображения о необходимости использования привычной системы понятий и соответствующих языковых средств можно распространить на любую проблемную область, в том числе и на картографию. Картографы по необходимости должны участвовать в разработке программного обеспечения систем картографического отображения. Их самоустранение от этого процесса приводит к тому, что картографические системы обладают довольно ограниченными функциональными возможностями, а иногда даже уродливы.

Однако и картографов, и программистов, высказывающих взаимные претензии и упреки, можно понять: слишком различны их проблемные области. Любой естественный язык, на котором они общаются, неоднозначен. Для сравнения скажем, что таких проблем взаимопонимания гораздо меньше, если пользователь предъявляет программисту перечень формул, содержащих решение прикладной задачи, которое программист должен реализовать. Аналогичным образом, картограф должен передавать программисту формальное описание системы условных знаков, а не их таблицу. Поэтому разработка языка картографического отображения, по нашему мнению, является жизненно важной необходимостью, если мы хотим, чтобы:

- автоматизация картографирования осуществлялась высокими темпами;
- системы картографического отображения содержали необходимый картографу арсенал средств и методов;
- работа с такими системами не вызывала раздражения у практикующих картографов.

10.4. Характеристики базового языка

Здесь приводятся только те сведения о языке C++, которые необходимы для понимания языка картографического отображения. Следовательно,

предполагается, что описываемые элементы языка C++ могут использоваться и в языке картографического отображения.

10.4.1. Разделители и комментарии

На самом элементарном уровне программа на языке C++ представляет собой последовательность символов. Максимальные последовательности символов, имеющие определенный смысл, называют *лексемами*. Различаются пять типов лексем: идентификаторы, ключевые слова, литералы, операции и разделители.

Разделители – это лексемы, служащие для разделения других лексем. В качестве разделителей между структурными элементами программы используются *пробелы*, *символы табуляции*, *символы перевода на новую строку* и *новую страницу*. Вместо одного разделителя может использоваться любое их количество.

В любом месте, где в соответствии с синтаксисом C++ допускается использование пробелов, может стоять *комментарий*. Комментарий представляет последовательность символов, начинающуюся парой */** и заканчивающуюся парой **/*. Такие комментарии могут начинаться на одной строке, а заканчиваться – на другой, но вложенные комментарии не допускаются. Комментарии, начинающиеся парой *//*, могут располагаться только на одной строке. Все, что находится в строке правее пары *//*, считается комментарием, а его концом считается конец строки. Комментарии предназначены только для пояснения текста программы и компилятором не обрабатываются. Примеры комментариев:

```
/* многострочный
...
комментарий */
// однострочный комментарий.
```

10.4.2. Литералы

Литералы подразделяются на целые константы, вещественные константы, литерные константы и литерные строки. Смысл литералов в том, что они обозначают самих себя. *Целые константы* могут указываться как восьмеричные, шестнадцатеричные и десятичные числа. Запись десятичных чисел не отличается от обычной записи за одним исключением: если целое число не равно нулю, то оно не должно начинаться с 0. Примеры целочисленных констант: 123 – десятичное число 123; 0123 – восьмеричное число, соответствующее десятичному числу 83; 0x123 – шестнадцатеричное число, равное десятичному числу 291.

Вещественные числа состоят из целой части, десятичной точки, дробной части, литеры *e* или *E*, за которой следует показатель степени с возможным знаком. Примеры записи 1 как вещественного числа: 1.0; 1.; 0.1e1; .1e1; 10.e-1 и т. п. Таким образом, в представлении вещественных чисел может отсутствовать целая или дробная часть, но точка присутствует всегда. Отсутствие точки является признаком целого числа.

Литерные константы – это последовательности из одной или нескольких литер, заключенные в одинарные кавычки, например, ‘а’. Некоторые неграфические литеры представляются соответствующими ESC-последовательностями. Примеры неграфических литер: \n – новая строка; \t – горизонтальная табуляция; \r – возврат каретки, \0 – конец строки и т. д.

Литерные строки – это последовательности литер, ограниченные двойными кавычками, например: «это пример литерной строки», «xyz», «еще пример»...

Логический тип в C++ отсутствует, но если все биты некоторой совокупности байтов равны нулю, то такое значение трактуется как «ложь», если хотя бы один бит равен 1, то – как «истина».

10.4.3. Идентификаторы и ключевые слова

Для указания на те или иные объекты программы (переменные, поименованные константы, функции и типы) используются *идентификаторы*, или *имена*, – последовательности символов, начинающиеся с буквы или символа подчеркивания «_». Однако, следует избегать использования идентификаторов, начинающихся с символа «_» или пары «__», так как они зарезервированы реализациями C++.

Некоторые идентификаторы зарезервированы в качестве *ключевых слов* языка (табл. 10.1), которые могут использоваться только в совершенно определенном смысле, то есть их семантика не может изменяться программистом, и он должен использовать их только в том контексте, что предполагается описанием языка.

Таблица 10.1. Ключевые слова C++

Имя	Назначение
<i>asm</i>	Объявление вставки на Ассемблере
<i>auto</i>	Спецификатор автоматического класса памяти
<i>break</i>	Оператор завершения цикла или оператора выбора
<i>case</i>	Спецификатор метки в операторе выбора (переключателе)
<i>catch</i>	Реакция на ситуацию, «ловушка»
<i>char</i>	Спецификатор символьного типа
<i>class</i>	Спецификатор класса
<i>const</i>	Спецификатор константы
<i>continue</i>	Оператор продолжения цикла
<i>default</i>	Спецификатор метки «по умолчанию» в переключателе
<i>delete</i>	Операция уничтожения объекта и освобождения памяти
<i>do</i>	Оператор цикла с постусловием
<i>double</i>	Спецификатор вещественного числа с удвоенной точностью
<i>else</i>	Ключевое слово в условном операторе
<i>enum</i>	Спецификатор перечислимого типа

extern	Спецификатор внешнего класса памяти
float	Спецификатор вещественного числа
for	Оператор итеративного цикла
friend	Спецификатор дружественной функции или типа
goto	Оператор безусловного перехода
if	Условный оператор
inline	Спецификатор встроенной функции
int	Спецификатор целого типа
long	Спецификатор длинного целого
new	Операция выделения памяти
operator	Операция
overload	Спецификатор совместного использования (анахронизм)
private	Спецификатор закрытого доступа к членам класса
protected	Спецификатор защищенного доступа к членам класса
public	Спецификатор открытого доступа к членам класса
register	Спецификатор регистрового класса памяти
return	Оператор возврата из функции
short	Спецификатор короткого целого
signed	Спецификатор знакового типа
sizeof	Операция «размер»
static	Спецификатор статического класса памяти
struct	Спецификатор структуры или открытого класса
switch	Оператор выбора (переключатель)
template	Спецификатор шаблона
this	Указатель на «текущий» объект
throw	Операция возбуждения ситуации
try	Оператор перехвата ситуации
typedef	Описание имени типа
union	Спецификатор объединения
unsigned	Спецификатор беззнакового типа
virtual	Спецификатор виртуальной функции
void	Спецификатор пустого типа
volatile	Спецификатор асинхронно изменяемого типа
while	Оператор цикла с предусловием

Имена используются для обозначения объектов, функций или их множеств, элементов перечислений, типов, членов классов, шаблонов, значений и меток.

Имена вводятся посредством описаний. Описание обычно является определением, если только оно не объявляет функцию без спецификации ее тела и в ряде других случаев. В любой программе может быть только одно определение каждого используемого в ней объекта, функции или перечислителя. Примеры описаний:

int k; – описание целой переменной k;

double float x,y; – описание x и y как вещественных переменных удвоенной точности;

float func1(int k); – объявление функции func1, имеющей один целочисленный аргумент k и возвращающей в качестве своего значения вещественное число; предполагается, что эта функция определена в другом месте программы.

Каждое имя имеет тип и область действия, внутри которой это имя может быть использовано. Областью действия имени может быть блок, функция, файл и класс. Но чтобы объяснить область действия имен, необходимо рассмотреть операции и операторы.

10.4.4. Операции

Выражения в C++ (см. в п. 10.4.5 оператор-выражение) используются для вычисления тех или иных значений (более широко – для выполнения каких-либо действий) и состоят из последовательности символов операций и операндов. Порядок выполнения операций в выражении определяется их приоритетом и ассоциативностью. *Приоритет* устанавливает порядок выполнения операций разных типов. В первую очередь выполняются операции с более высоким приоритетом. *Ассоциативность* устанавливает порядок выполнения операций одного приоритета. В соответствии с ассоциативностью операции могут выполняться слева направо или справа налево. Перечень операций приводится в табл. 10.2, где в правой колонке указываются приоритет и ассоциативность каждой операции. При необходимости изменения порядка выполнения операций в выражении используются круглые скобки либо сложное выражение разбивается на более простые подвыражения, каждое из которых представляется отдельным выражением.

Таблица 10.2. Операции C++

Символ	Назначение и <i>примеры</i>	Приоритет и ассоциативность
Первичные и постфиксные операции		
[]	Индексация $x[i]$	16 →
()	Вызов функции $\sin(u)$	16 →
.	Прямое обращение к члену класса $point.x$	16 →
->	Косвенное обращение к члену класса $ppoint->x$	16 →
++	Постфиксное увеличение на 1 $i++$	15 →
--	Постфиксное уменьшение на 1 $i--$	15 →

Унарные операции		
++	Префиксное увеличение на 1 $++i$	14 ←
--	Префиксное уменьшение на 1 $--i$	14 ←
sizeof	Размер в байтах $sizeof (rec)$	14 ←
(тип)	Преобразование типа $(float) i$	14 ←
~	Побитовое отрицание $\sim Show$	14 ←
!	Логическое отрицание $!EOF$	14 ←
-	Унарный минус $-a$	14 ←
&	Адрес $\&point$	14 ←
*	Разыменование $*ppoint$	14 ←
Мультипликативные операции		
*	Умножение $a * x$	13 →
/	Деление x / a	13 →
%	Деление по модулю (взятие остатка) $i \% k$	13 →
Аддитивные операции		
+	Сложение $a + b$	12 →
-	Вычитание $a - b$	12 →
Побитовый сдвиг		
<<	Сдвиг влево $v << l$	11 →
>>	Сдвиг вправо $v >> l$	11 →
Операции отношения		
<	Меньше, чем $x < a$	10 →
>	Больше, чем $x > a$	10 →
Операции равенства		
==	Равно $x == a$	9 →
!=	Не равно $x != a$	9 →
Битовые операции		
&	Побитовое И $p \& q$	8 →
^	Побитовое исключающее ИЛИ $p \wedge q$	7 →
	Побитовое ИЛИ $p q$	6 →
Логические операции		
&&	Логическое И $p \&\& q$	5 →
	Логическое ИЛИ $p q$	4 →
Условная операция		
?:	Условная операция $x < a ? 1 : 0$	3 ←
Операции присваивания		
=	Присваивание $x = a$	2 ←
*=	Присваивание произведения $x *= a$	2 ←
/=	Присваивание частного $x /= a$	2 ←

%=	Присваивание остатка	$x \% = a$	$2 \leftarrow$
+=	Присваивание суммы	$x += a$	$2 \leftarrow$
-=	Присваивание разности	$x -= a$	$2 \leftarrow$
<<=	Присваивание левого сдвига	$x << = a$	$2 \leftarrow$
>>=	Присваивание правого сдвига	$x >> = a$	$2 \leftarrow$
&=	Присваивание И	$x \& = a$	$2 \leftarrow$
^=	Присваивание исключающего ИЛИ	$x \wedge = a$	$2 \leftarrow$
=	Присваивание ИЛИ	$x = a$	$2 \leftarrow$
,	Запятая (последовательное выполнение)	$x = a, y = b$	$1 \rightarrow$

10.4.5. Операторы

На следующем после лексем уровне программа на C++ может рассматриваться как последовательность *операторов* – некоторых конструкций из лексем. Операторы предназначены для описания (объявления или определения) используемых в программе имен и указания выполняемых программой действий. Различаются следующие виды операторов: оператор-объявление, оператор-выражение, составной оператор, оператор выбора, оператор цикла, оператор перехода и помеченный оператор.

Оператор-объявление вводит одно или несколько имен и определяет правила их интерпретации (смысл). Правила интерпретации устанавливаются с помощью определенных ключевых слов, называемых *спецификаторами*. *Спецификаторами класса памяти* являются *auto*, *extern*, *register*, *static*. К *спецификаторам типа* относятся:

char – символ (один байт);

int – целое (обычно одно слово);

unsigned – неотрицательное целое (такого же размера, как и целое);

short – короткое целое (слово или полуслово);

long – длинное целое (слово или двойное слово);

float – вещественное число одинарной точности;

double – вещественное число двойной точности;

void – отсутствующее значение (используется для нейтрализации значений, возвращаемых функциями).

Имя целого типа (*int*) может употребляться в сочетании с именами *short* или *long*, *signed* или *unsigned*, а *float* – с *double*.

Оператор объявления имен переменных имеет вид *m t s*; где *m* – спецификатор класса памяти (часто опускается); *t* – спецификатор типа; *s* – список имен переменных, разделенных запятыми.

Перечисленные типы данных являются *основными*, изначально присутствующими в языке программирования. В C++ к таким типам относятся целые и вещественные числа и символы. С помощью основных типов конструируются *производные типы*, некоторые из которых определены в описании языка, а другие (бесконечное число) могут определяться программистом. Определенными в языке производными типами данных являются указатели, массивы, структуры и объединения.

Для объявления *массивов* – последовательности значений – используются квадратные скобки, например:

```
float x[100], y[100]; // объявлены два массива вещественных чисел  
обычной
```

```
// точности, в каждом из которых по 100 элементов;
```

```
int xy [2] [100]; /* объявлен целочисленный двумерный массив,  
который
```

```
трактруется как массив из двух массивов, содержащих  
по 100 элементов в каждом.
```

```
*/
```

Число элементов массива указывается *константным выражением* в квадратных скобках. Нумерация элементов массива начинается с 0.

Имя, значением которого является адрес другого имени (константы, переменной, функции...), называется *указателем*. Указатели на основной тип имеют вид t^*p ; где t – спецификатор типа, а p является указателем. Пример: int^*i ; здесь переменная i объявлена как указатель на целое число. Отличие указателей от переменных в том, что переменная обозначает один объект, а указатель в разные моменты времени может указывать на разные объекты (константы, переменные...), но одного и того же типа. В соответствии с семантикой языка имя массива является указателем.

Допускаются *массивы указателей*, например, $float^* r[5]$ объявляет массив из пяти указателей на вещественные числа.

Указатель на функцию объявляется как $t^*(^*f)()$; где t – тип возвращаемого функцией значения, а f – указатель на функцию.

Структуры служат для объединения логически связанных данных разных типов. Структурный тип данных определяется следующим описанием:

```
struct s
```

```
{
```

```
описание элементов структуры
```

```
};
```

Пример определения структуры:

```
struct point
```

```
{
```

```
int n;
```

```
float x, y, z;
```

```
struct point *ppoint;
```

```
};
```

В этом примере определена структура с именем *point*, элементами которой являются целочисленный номер точки n , вещественные координаты x , y и z , а также указатель *ppoint* на структуру *point*. С помощью такого указателя можно создавать линейный список точек. Структурами можно манипулировать как целостным объектом, создавать, присваивать значения и уничтожать.

Вообще же в языке допускаются такие конструкции, как массивы структур (когда структура является элементом массива) и массивы как элементы структур. Каких-либо ограничений на их вложенность не налагается.

Особым производным типом являются *объединения*, специфицируемые ключевым словом *union*. Объединения используются для экономии памяти, так как объекты в них размещаются с одного и того же начального адреса и перекрываются. Определение объединения напоминает определение структуры. Например:

```
union mix
{
    char s [5];
    int i;
    long k;
    double float a;
};
```

В данном примере все переменные будут размещены по одному и тому же адресу. Объем выделенной памяти определяется наиболее длинным типом данных. Как правило, объединения используются для перекрытия массивов и как элементы структур. Но непрограммисты могут забыть об их существовании.

Оператор-выражение имеет вид:

выражение;

где *выражение* – выражение некоторого типа, например, арифметического или логического, а точка с запятой обозначает конец оператора. Если в операторе опущено выражение, то оператор называют *пустым*. Примеры операторов: $s=a+b$; $r=\text{sqrt}(x*x+y*y)$; ;. Здесь три оператора. Первый вычисляет сумму двух чисел; второй можно рассматривать как вычисление расстояния на плоскости ($\text{sqrt}()$ – функция, вычисляющая квадратный корень); третий оператор – пустой. Чаще всего в программах операторы-выражения являются присваиваниями или вызовами функций. Так, первый оператор присваивает вычисленное значение переменной s . Второй оператор вызывает функцию $\text{sqrt}()$ и присваивает возвращаемое ею значение переменной r .

Составной оператор, называемый также *блоком*, используется тогда, когда в соответствии с синтаксисом допускается указание только одного оператора, а в соответствии с алгоритмом решения задачи требуется использовать несколько операторов. Составной оператор представляет собой последовательность операторов, заключенную в фигурные скобки $\{\}$. Внутри этой последовательности также могут быть составные операторы, то есть допускается использование вложенных блоков. Глубина такого вложения не ограничивается. Пример блока:

```
{ // вычисление расстояния
    dx = x2 - x1;
    dy = y2 - y1;
    r = sqrt ( dx*dx + dy*dy );
}
```

Операторы выбора предназначены для выбора одного из нескольких возможных путей выполнения программы. К операторам выбора относятся операторы:

- 1) if (выражение) оператор

```
2) if (выражение)
оператор1
else
оператор2
3) switch (выражение)
{
    case константа_1: операторы
    ...
    case константа_n: операторы
    default: операторы
}
```

Первый и второй операторы называют условными операторами, а третий, позволяющий выбрать из многих альтернатив, – переключателем.

Операторы цикла предназначены для многократного выполнения действий, составляющих тело цикла. К операторам цикла относятся:

```
1) while (выражение)
оператор
2) do
оператор
while (выражение)
3) for (выражение1; выражение2; выражение3)
оператор
```

Первый из этих операторов является оператором цикла с предусловием и может не выполняться ни разу, второй – оператором цикла с постусловием и выполняется хотя бы один раз. Третий оператор цикла называют оператором итерации.

Операторами перехода являются:

```
1) break;
2) continue;
3) return;
4) goto (метка).
```

Первый из этих операторов – *оператор завершения* – прекращает выполнение ближайшего вложенного внешнего оператора *switch* или оператора цикла. Второй оператор – *оператор продолжения* – передает управление в начало ближайшего внешнего оператора цикла (которые могут быть вложенными). Третий оператор – *оператор возврата* – прекращает выполнение текущей функции и передает управление на следующий оператор после точки вызова этой функции. Четвертый оператор – это неодобряемый *оператор безусловного перехода* – передает управление на оператор с меткой *метка*. Использование операторов безусловного перехода считается плохим стилем программирования («квалификация программиста обратно пропорциональна числу использованных *goto*»), но иногда они полезны.

Помеченный оператор имеет вид
т: оператор,

где идентификатор *t* – метка оператора. Метка оператора может стоять перед любым оператором. Примеры помеченных операторов: *label1: ;* или *a: ;*.

Теперь мы можем вернуться к определению области действия имен. Область действия некоторого имени определяется как *локальная*, если это имя объявлено в блоке. Считается, что такое имя *локализовано* в блоке и может быть использовано в этом блоке и в блоках, вложенных в него. Рассмотрим локальную область действия имен на следующем примере.

```
{
  int x, y;
  x = 1;
  ...
  y = x;           // y = 1
  {
    int x;
    x = 2;
    y = x;         // y = 2
    {
      y = x;       // y = 2
    }
  }
  y = x;           // y = 1
} // конец области действия имен y и x.
```

Здесь мы имеем три блока, два из которых вложенные, и два определения имени *x*. Хотя имя одно, ему соответствуют два разных объекта. Имя *y* указывает на один объект и областью его действия являются все три блока. Областью действия первого определения имени *x* является только внешний блок, а областью действия второго определения служат вложенные блоки. Об имени с *локальной областью действия* говорят, что его областью действия является блок, в котором оно определено, и все вложенные блоки, если в них это имя не переопределено.

Случай, когда областью действия имени является *функция*, относится к меткам. Это означает, что на метку можно ссылаться (использовать в операторе *goto*) только внутри той функции, в которой она определена, а передавать на нее управление из точки вне такой функции нельзя.

Если некоторое имя определено вне всех блоков и классов, то его областью действия является файл, содержащий такое определение. Имена, имеющие областью своего определения файл, называются *глобальными*. Использование глобальных имен в программе, с одной стороны, эффективно, а с другой стороны, – опасно. Эффективность обусловлена тем, что глобальные имена могут использоваться любыми функциями соответствующего файла, как если бы они были описаны в теле каждой функции. При этом экономятся время и объем оперативной памяти для передачи фактических параметров в вызываемую функцию и обратно (в жизни можно было встретить описания функций на ФОРТРАНе, число аргументов которых составляло несколько десятков).

Опасность заключается в том, что если совершена ошибка, то определить, значение какой переменной, в какое время и какой функцией вычислено неправильно, не самая простая задача при большом числе глобальных переменных и функций.

Областью действия некоторого имени является класс (см. ниже), если это имя является членом класса и в некоторых других случаях, так или иначе связанных с использованием классов. Для изучения тонкостей следует обратиться к описанию языка.

10.4.6. Функции

Операторы являются теми элементами, из которых конструируются более крупные блоки, называемые *функциями*. В общем случае функция имеет следующий формат:

$t\ f(p)\ \{\text{тело функции}\},$

где t – тип значения, возвращаемого функцией; f – имя функции; p – список формальных параметров функции. Конструкцию $t\ f(p)$ называют *заголовком функции*.

Тело функции по определению является блоком и представляет собой последовательность операторов. Любая функция выполняет те или иные полезные действия. Обычно результат выполнения функции возвращается в виде некоторого *значения функции*, тип которого указывается с помощью t , представляющего собой тот или иной спецификатор типа (*int*, *float* и т. д.). Возвращаемое значение может быть присвоено переменной соответствующего типа. Если функция не должна возвращать какое-либо значение, то используется спецификатор *void*.

10.4.7. Классы

До сих пор рассматривались преимущественно возможности C++, унаследованные им от языка программирования C. Классы являются фундаментальным механизмом, превращающим C++ в объектно-ориентированный язык, что существенно отличает его от C. *Класс* является расширением понятия структуры в C и представляет собой *тип, определяемый пользователем*. Конкретный представитель класса принято называть *объектом*. Определение класса задает представление объектов этого класса и набор операций, которые могут выполняться с объектами и которые определяют, таким образом, поведение объектов.

Определение класса напоминает определение структуры, но имеет свои особенности:

- обычно такое определение содержит спецификации доступа с помощью ключевых слов *public*, *protected* и *private*;
- наряду с ключевым словом *class* могут использоваться *struct* и *union*;
- как правило, класс содержит элементы-данные и элементы-функции;
- обычно класс содержит специальные функции, называемые конструктором и деструктором.

Определение класса имеет следующую структуру:

```

class имя_класса
{
определение элементов-данных и элементов-функций
}

```

В дальнейшем имя класса становится *именем типа* и может использоваться так же, как и основные типы, определенные в языке. Пример описания класса приводится ниже.

```

class Vector
{
    int n; // Скрытые элементы класса
    float x, y;
public: // Открытые элементы класса
    float GetVX ( void ) { return x;}; // Определение функции
    float GetVY ( void ); // Объявление функции
    void SetVX ( float );
    void SetVY ( float );
    float ModV ( Vector& );
    Vector (float a, float b) : x(a), y(b) { }; // Конструктор инициализации
    Vector (float a, float b) { x=a; y=b; }; // Конструктор присваивания
    Vector (const Vector &); // Конструктор копии
    ~Vector ( ) {delete* this;}; // Деструктор
    Vector::operator = (Vector); // Переопределение оператора =
    Vector::operator + (Vector); // Переопределение оператора +
    friend float Vector3 :: ModVec3 (void); // Дружественная функция
};

inline float Vector:: GetVY (void) { return y; } // Встроенные функции
inline void Vector:: SetVX (float a) { x=a; return; } //
inline void Vector:: SetVY (float a) { y=a; return;} //
float Vector:: ModV (Vector&) { return sqrt( x*x+y*y);} //Обычная функция
Vector:: Vector (const Vector &v) // Конструктор

```

копии

```

{
    x = v.x;
    y = v.y;
}
Vector Vector:: operator + (Vector& a, Vector& b) // Перегрузка сложения
{
    Vector v;
    v.x = a.x + b.x;
    v.y = a.y + b.y;
    return v;
}

```

Элементы класса подразделяются на две основные категории: *элементы-данные* и *элементы-функции*. Элементы-данные похожи на элементы структуры в языке C. Элементом данных любого класса не может быть представитель

этого же класса, но может быть указатель или ссылка на представителя этого класса.

Элементом-функцией класса является функция, *объявленная* внутри определения класса. Элементы-функции могут также *определяться* внутри класса, тогда они являются встроенными. Если функция класса определяется вне определения класса, то перед ее именем должен присутствовать префикс из имени класса и *операции разрешения видимости* «::».

Класс является областью действия имен. Любая элемент-функция класса имеет свободный доступ к его элементам-данным, как если бы они были описаны в теле функции. Таким образом, для использования любых элементов-данных класса в функциях этого класса достаточно простого указания их имени.

Обычные функции и элементы-функции других классов могут получить доступ к открытым данным класса с помощью операций «.» (точка) и «->», применяемых соответственно для объекта и указателя на объект класса. Так, если бы координаты в примере с вектором были открытыми, то их можно было бы использовать следующим образом:

```
Vector u, v;  
Vector* pw;  
u.x = v.x;  
u.y = pw->y;  
pw->x = v.x;
```

Элементы-функции класса могут вызывать другие элементы-функции этого же класса, используя их имена.

В примере выше функция *GetVX* () определена внутри определения класса и поэтому является *встроенной*. Это означает, что при каждом обращении к ней компилятор осуществляет ее подстановку в тело программы, а не строит обращение к ней. Функции *GetVY* (), *SetVX* () и *SetVY* () определены вне описания класса, но также являются встроенными, на что указывает спецификатор *inline*. Встраиваемые функции должны быть очень короткими, иначе теряется смысл делать их встраиваемыми. Функция *ModV* (), вычисляющая модуль вектора, является обычной.

Спецификаторы доступа *public*, *protected* и *private* разрешают или запрещают доступ к элементам класса. Спецификатор *public* указывает на то, что следующие за ним элементы класса являются открытыми и доступны для функций-элементов и любых других функций, в которых имеется представитель класса. Спецификатор доступа *private* указывает на то, что соответствующие элементы класса доступны только для его функций-элементов. Наконец, элементы класса, попадающие в область действия спецификатора *protected*, доступны для функций-элементов данного класса и классов, производных от него. По умолчанию элементы структуры *struct* предполагаются открытыми, а члены класса *class* – закрытыми.

Если наряду с представленными операторами присваивания и сложения векторов для класса *Vector* определить операции вычитания векторов, умножения вектора на скаляр, скалярного и векторного умножения векторов, то

при разработке программы можно будет использовать более привычную запись. Фрагмент такой программы мог бы выглядеть следующим образом:

```
float a;
Vector v1, v2, v3;
...
v1 = a*v1;
v3 = v1+v2;
```

Без переопределения подобных операций для класса *Vector* потребовалось бы разрабатывать такие функции, как *VecSum (v1,v2)*, *VecMult (v1,v2)* и т. п., использование которых менее наглядно.

Некоторые элементы-функции класса называют *специальными*. Назначение специальных функций классов приводится в табл. 10.3.

Конструктором называют элемент-функцию, имя которой совпадает с именем класса. Конструкторы вызываются всегда, когда создается представитель класса. Если конструктор класса не был определен программистом, то компилятор создает его по умолчанию, как не имеющий параметров. Особенности конструкторов заключаются в следующем: для них не указывается возвращаемый тип (поскольку такой тип очевиден) и конструктор не возвращает значение и не может наследоваться.

Для каждого класса может быть создано несколько конструкторов. Конструктор копии, в примере – это *Vector (Vector&)*, используется тогда, когда новый объект необходимо инициализировать значением уже существующего.

Таблица 10.3. Специальные элементы-функции классов

Функция	Назначение
Конструктор	Инициализация представителя класса
Конструктор копии	Инициализация нового объекта с использованием уже существующего объекта того же класса
Операция присваивания	Присваивание содержимого объекта другому объекту
Деструктор	Удаление объекта и освобождение занимаемой им памяти
Операция <i>new</i>	Выделение памяти для динамического объекта
Операция <i>delete</i>	Освобождение памяти, занимаемой объектом
Функции преобразования	Преобразование объекта к другому типу

Примечание: *инициализацией* называют присваивание начальных значений (в момент создания объекта).

Деструктор является особой функцией класса, которая используется тогда, когда нужно уничтожить объект. Деструктор имеет то же имя, что и класс, перед которым ставится тильда «~». Он не имеет параметров и не возвращает никакого значения. В нашем примере деструктором является *~Vector*. Если деструктор не определен, то он создается компилятором.

Как правило, функции имеют различные имена. Но в ситуациях, когда схожие операции выполняются над объектами разных типов, удобнее присваивать подобным функциям одинаковые естественные имена и не

выдумывать искусственные. В C++ несколько функций, в том числе элементов-функций, могут иметь одно и то же имя. Компилятор, встречая такую функцию, находит нужную из нескольких возможных по имени функции, списку фактических параметров и возвращаемому значению. Поэтому списки их формальных параметров должны различаться. Возможность создания и использования нескольких функций с одним именем называют *перегрузкой*, или *совместным использованием* функций, а сами функции – *перегруженными*, или *совместно используемыми*. Обычно перегружаемыми функциями являются конструкторы, в нашем примере – это *Vector (Vector)* и *Vector (float, float)*.

Определенные в описании языка операции также могут быть переопределены для объектов любого класса; такую возможность называют *перегрузкой операторов*, или *перегрузкой операций*. Не допускается перегрузка четырех операций: «.», «.*», «::» и «?:» Перегрузка операций обладает неудобным ограничением: приоритет и ассоциативность перегружаемых операций не могут изменяться, то есть они будут выполняться в том порядке, что указан в табл. 10.2. Поэтому указанное свойство перегружаемых операций в некоторых случаях может служить потенциальным источником ошибок и недоразумений при интерпретации выражений, содержащих перегруженные операции. Операции для базовых типов языка не могут перегружаться.

Определение операции для некоторого класса имеет следующую структуру:

```
тип имя_класса :: operator @ ( )  
{  
    тело определения  
},
```

где *тип* – тип результата выполнения операции; *operator* – ключевое слово; @ – символ перегружаемой операции. В нашем примере были перегружены операции присваивания и сложения.

Особой функцией является *friend float Vector3 :: ModVec3 (void)*. Ее объявление говорит о том, что имеется функция *ModVec3*, представляющая собой элемент-функцию некоторого другого класса *Vector3* и являющаяся дружественной функцией по отношению к классу *Vector*. *Дружественные функции* класса *A* – это обычные функции или элементы-функции другого класса, объявленные при определении класса *A* со спецификатором *friend*. Они используются в тех случаях, когда из области вне класса *A* требуется полный доступ к его элементам. Таким образом, дружественные функции обладают такими же правами доступа, как и элементы-функции класса, что противоречит концепции инкапсуляции данных. По этой причине их применение ограничено, и вопрос о предоставлении тем или иным функциям статуса дружественных решается только разработчиком класса.

10.4.8. Производные классы и виртуальные функции

Производные классы представляют сравнительно простой, гибкий и эффективный механизм для создания альтернативных интерфейсов класса и

новых классов на основе модификации классов, разработанных ранее, без их перепрограммирования или перекомпиляции. Производные классы позволяют также создавать общий или унифицированный интерфейс так, что с объектами разных классов можно работать одинаковым образом. В программировании (вообще) потребность в таком образе действия встречается сравнительно часто. Геомоделирование в этом смысле не является исключением: в процессе создания информационных моделей геопространства необходимо представлять десятки и сотни типов объектов при условии, что число объектов каждого типа может составлять сотни или тысячи и объекты следуют в произвольном порядке. С каждым типом объектов связывается определенный условный знак, следовательно, общее число условных знаков того же порядка, что и число отображаемых типов объектов геопространства.

Особенность обработки таких объектов в том, что в момент компиляции тип объектов неизвестен, он становится известным только в момент появления объекта в поле зрения работающей программы. Проблема разработки программного обеспечения для обработки подобных объектов заключается в многократном использовании написанного ранее текста программы, в «надежном и элегантном» управлении всем многообразием объектов без «удручающих подробностей» программирования.

Язык C++ дает возможность наследовать элементы (данные и функции) одного или нескольких классов другими классами. Новый класс называют *производным классом*, а класс, элементы которого наследуются производным классом, называют *базовым классом*. Говорят также, что производный класс *порожден* или *порождается* своим базовым классом. В свою очередь производный класс может являться базовым для других производных классов.

Наследование позволяет представлять общие черты (атрибуты, элементы, поведение) множества похожих, но, в то же время, различных объектов в одном базовом классе. Новые классы, являясь производными от базового класса, будут наследовать его черты. С другой стороны, наследование позволяет в некоторых пределах модифицировать свойства базового класса. Если члены базового класса не переопределены в производном классе, то они обозначаются и трактуются таким же образом, как и члены производного класса. Если некоторое имя базового класса в производном классе переопределено, то для доступа к такому члену базового класса используется *операция разрешения области действия* «*::*».

Определение производного класса имеет вид

```
class d : k b
{
    тело определения
}
```

где *d* – имя производного класса; *b* – имя базового класса. Ключ доступа *k* определяет видимость элементов базового класса из производного класса (табл. 10.4).

Из табл. 10.4 следует, что видимость членов базового класса в производном классе можно либо сохранить, указав ключ доступа *public*, либо ограничить, но нельзя расширить, что противоречило бы концепции инкапсуляции. Если ключ доступа опущен, то по умолчанию его значение для классов предполагается равным *private*, а для структур – *public*.

Таблица 10.4. Уровень доступа к элементам базового класса

Ключ доступа	Доступ в базовом классе	Доступ в производном классе
<i>public</i>	<i>public</i>	<i>public</i>
	<i>protected</i>	<i>protected</i>
	<i>private</i>	<i>private</i>
<i>protected</i>	<i>public</i>	<i>protected</i>
	<i>protected</i>	<i>protected</i>
	<i>private</i>	<i>private</i>
<i>private</i>	<i>public</i>	<i>private</i>
	<i>protected</i>	<i>private</i>
	<i>private</i>	<i>private</i>

В качестве примера на основе класса *Vector* может быть создан производный класс *Vector3*, в котором детали опущены по причине их непринципиального характера:

```
class Vector3 : public Vector
{
float z;
// ...
void SetZ (float );
float GetZ (void);
float ModVec3 ();
Vector3 (Vector&);
~Vector3 ();
...
}
float ModVec3 ( )
{
float a;
a = ModV ();
return sqrt( a*a + z*z );
}
```

Поскольку в данном примере указан ключ доступа *public*, постольку имеется доступ к открытым элементам класса *Vector*. Функция *ModVec3* при определении класса *Vector* была объявлена дружественной, поэтому она имеет доступ ко всем его членам без каких-либо ограничений.

Выше мы уже говорили, что дружественные функции в известной мере противоречат концепции инкапсуляции – сокрытия элементов класса за оболочкой его интерфейса. В этом плане альтернативой дружественным функциям являются функции виртуальные. *Виртуальными* называют функции, объявленные со спецификатором *virtual*. Другая побудительная

причина создания виртуальных функций заключается в том, что тип очередного объекта, который будет обрабатываться программой, заранее может быть неизвестен. Поэтому хотелось бы иметь в арсенале языка функции, которые определяются типом текущего объекта, а не типом ссылки или указателя, использованного для доступа к этому объекту. Виртуальные функции позволяют производным классам определять собственные версии функций базового класса.

В примере с классом *Vector* можно было найти другое решение: объявить функцию *ModV ()* как виртуальную, то есть удалить строку с объявлением дружественной функции *friend float Vector3 :: ModVec3 (void)*, а объявление функции *ModV ()* переписать как *virtual float ModV ()*. Разница между виртуальными и неvirtуальными функциями заключается в том, что если указатель указывает на объект базового класса, а на обработку поступает объект производного класса, то при обращении к виртуальной функции вызывается функция производного класса, а при обращении к неvirtуальной – функция базового класса.

В С++ термины «полиморфизм» и позднее «связывание» используют тогда, когда говорят о механизме наследования и виртуальных функциях. *Полиморфизмом* называют свойство базового класса, позволяющее обеспечивать ему взаимодействие с виртуальными функциями, реализация которых может быть уникальной в каждом производном классе. Термин «позднее связывание» указывает на то, что в момент компиляции невозможно определить, какая функция будет вызываться в действительности, если для обращения к виртуальной функции используется указатель или ссылка на базовый класс. Хотя переменная определяется как указатель на базовый класс, на самом деле она может указывать на объекты различных производных классов. Следовательно, адрес нужной виртуальной функции может быть определен только во время исполнения программы.

По указанной причине виртуальные функции реализуются с использованием таблицы переходов, а каждый представитель класса содержит скрытый указатель на таблицу виртуальных функций этого класса.

Производный класс может иметь любое число базовых классов. Использование нескольких базовых классов называют *множественным наследованием*. При множественном наследовании все связи между базовыми и производными классами сохраняются таким же образом, как и при простом (единичном) наследовании.

При описании классов, создаваемых множественным наследованием, базовые классы перечисляются через запятую в списке базовых классов, например, определение

```
class d : b1, b2, b3
{
    // тело определения
};
```

говорит о том, что для создания производного класса *d* используются базовые классы *b1*, *b2* и *b3*.

При создании моделей геопространства мы можем действовать различными способами. Один из них заключается в том, что вначале мы можем создать класс «геометрический объект», а затем, используя его в качестве базового и дополнив свойствами семантического объекта, создать класс «объект геопространства». Но можно поступить наоборот: образовать класс «семантический объект», а затем, добавив атрибуты геометрического объекта, породить от него класс «объект геопространства». Третий способ заключается в том, что можно создать один класс для сущности «геометрический объект», а второй класс – для сущности «семантический объект», после чего использовать их как базовые классы при определении производного класса «объект геопространства». С методологической точки зрения такой подход представляется наиболее правильным. При таком подходе множественное наследование позволяет создавать сложные объекты как комбинации двух или более классов совершенно разных типов.

В некоторых случаях при множественном наследовании объект производного класса может косвенно наследовать два экземпляра базового класса. Подобные ситуации возникают в случаях, когда базовые классы, использованные для порождения производного класса, в свою очередь являются производными от некоторого другого базового класса. Пусть, например, имелся класс *A*, от которого были порождены классы *B* и *C*. Затем от классов *B* и *C* порождается класс *D*:

```
class A { ... };  
class B: public A { ... };  
class C: public A { ... };  
class D: public B, public C { ... };
```

В конкретных случаях может требоваться, чтобы производный класс наследовал только один экземпляр базового класса. Достичь указанной цели можно спецификацией базового класса *A* как виртуального при определении производных классов:

```
class A { ... };  
class B: virtual public A { ... };  
class C: virtual public A { ... };  
class D: public B, public C { ... };
```

Наивысшим уровнем абстракции в C++ являются *абстрактные классы* – классы, которые могут использоваться только в качестве базовых при создании других классов. Понятие абстрактных объектов в действительности используется очень часто. Примерами абстрактных классов (понятий) из области геомоделирования могут служить понятия объекта и условного знака. В реальности не существуют такие объекты, как «объект геопространства» или «условный знак». Индивидуальные объекты или индивидуальные условные знаки всегда являются конкретными объектами соответствующей предметной области. В действительности существуют такие объекты, как здания, реки, дороги и т. п., и их условные знаки: условный знак здания, условный знак реки и т. д. Таким образом, C++ поддерживает присущую человеческому мышлению концепцию абстрактных понятий.

Признаком абстрактного класса является наличие в нем чистых виртуальных функций. *Чистыми виртуальными функциями* называют встроенные функции, тело которых определяется как =0, то есть как пустое. При этом предполагается, что чистая виртуальная функция будет определяться релевантным образом в каждом производном классе. В программе не может быть объектов, тип которых совпадает с абстрактным классом, но могут использоваться ссылки и указатели на объекты абстрактных классов. Абстрактные классы могут образовывать иерархию.

Если обратиться к проблеме картографического отображения геопространства, то мы могли бы определить следующую иерархию условных знаков:

```
class UZ
{
public:
void virtual Draw ( ) = 0; // Чистая виртуальная функция
};

class UZ_Gidro: public UZ
{
...
};

class UZ_river: public UZ_Gidro
{
void Draw ( )
{
...
}
};
```

Таким образом, С++ существенно отличается от языка С своими парадигмами, методологией, называемой *объектно-ориентированным программированием*. Его основу составляют три важные концепции: инкапсуляция данных, наследование и полиморфизм. *Инкапсуляцией* называют сокрытие или защиту данных от непреднамеренного разрушения и предоставление доступа к ним только через функции-элементы класса. При «традиционном» программировании данные и функции, которые работают с ними, независимы. В больших программных комплексах манипуляция структурами данных с помощью большого числа функций является сложной проблемой. Классы в С++ предоставляют в распоряжение программиста несколько способов организации программы и управления зависимостями между структурами данных и функциями. Инкапсуляция данных – один из таких способов организации программы.

Наследование представляет собой механизм построения новых типов данных путем специализации или расширения существующих классов.

Полиморфизм называют возможность обращения к нескольким функциям с одним общим интерфейсом, то есть виртуальным функциям.

Абстрактный тип данных представляет собой инкапсулированный тип данных, доступ к которым может осуществляться только через интерфейс, скрывающий детали реализации. Свойства абстрактного типа данных определяются только его интерфейсом, а не деталями реализации. Отсюда следует, что один и тот же абстрактный тип данных может быть реализован различными способами. Так, приведенный выше пример с классом *Vector* может быть изменен таким образом, что вектор будет представлен не своими компонентами, а модулем и направлением. Естественно, что при этом пришлось бы внести соответствующие изменения в функции класса. Но при этом изменения не затронули бы программы, использующие класс *Vector*. В этом заключается смысл абстракции данных: свойства созданного типа данных не зависят от реализации и полностью определяются интерфейсом.

Интерес представляет история создания языка C++. Перед его автором Б. Струstrupом была поставлена проблема моделирования сети связи. Выбор инструментальных средств разработки программного обеспечения сводился к дилемме: C - Simula67. Язык C отличался высокой эффективностью, но являлся языком относительно низкого уровня, ориентированным на задачи системного программирования. Simula67 являлся его противоположностью, он был специально разработан для решения проблем моделирования и содержал средства высокого уровня, но программы на нем характеризовались низкой эффективностью. Однако Simula67 послужил «источником вдохновения»: было принято решение расширить возможности C, закончившееся созданием нового языка, который первоначально назывался «C с классами», а позднее получил название «C++», отражающее эволюционный характер его развития. Компилятор для C++ был написан на этом же языке, и при разработке языка не создавались ни «проект C++», ни «комитет по созданию C++».

Б. Струstrup, обсуждая проблемы программирования на C++, отмечал, что создание программ осуществляется в три этапа: уяснение проблемы, определение ключевых понятий, необходимых для ее решения, и изложение решения на языке программирования (называемое также *кодированием*). Заметим, что непосредственному программированию предшествуют два подготовительных этапа, значимость которых чрезвычайно высока.

Решение большинства прикладных задач выражается с помощью понятий, которым нет аналогов в универсальных языках программирования. Именно это обстоятельство является основной причиной разработки специализированных языков программирования: обработки списков, вычислительных задач, логических задач и т. п. Однако разработка нового языка является трудной проблемой. Средства объектно-ориентированного программирования позволяют в известной мере модифицировать язык программирования, приближая его к решаемой задаче. Новизна такого подхода заключается в том, что программирование становится в большей степени реализацией объектных типов, а не реализацией алгоритмов.

Представленные здесь сведения о C++ не превышают нескольких процентов от его полного описания, объем которого составляет свыше 400 страниц. Для более основательного знакомства с этим языком, изучения деталей программирования следует обратиться к соответствующим руководствам. Но, как известно, «дьявол скрывается в деталях». Язык обладает богатыми возможностями и его изучение требует определенных усилий.

10.5. Изобразительные средства

При решении задачи формализации картографического отображения будем исходить из общих принципов информационного моделирования, и рассматривать множество всех возможных картографических изображений геопространства как специфическую предметную область. Тогда наша задача в самом общем виде сводится к определению (выделению) картографических объектов, их свойств и межобъектных отношений и построению метамодели картографического изображения.

С формальных позиций картографическое отображение K может быть определено как (математическое) отображение

$$K : M \rightarrow W, \quad (10.1)$$

где M – множество объектов геопространства, их свойств и отношений; W – их картографическое изображение.

В данной формуле M и W – метапеременные, на место которых могут подставляться конкретные формулы. В силу своей общности выражение (10.1) может быть названо *метаформулой картографического отображения*.

В определении картографического отображения в качестве отображаемых объектов нами указаны объекты геопространства по той причине, что данная книга посвящена проблеме моделирования геопространства. Очевидно, что в общем случае такими объектами являются объекты соответствующей предметной области.

В (10.1) множество M представлено не в содержательных терминах, как это имеет место при традиционном (неформальном) картографировании, а в виде геоинформационной модели. Таким образом, картографическое изображение должно быть получено по формализованному описанию геопространства. Представление пространственных и семантических данных в геоинформационных моделях было рассмотрено в предыдущей главе. Поэтому следующей задачей является разработка способов представления картографических изображений.

В общем случае элементами картографического изображения являются условные знаки и надписи. Все множество условных знаков будем делить на точечные (внемасштабные), линейные, площадные и полосные. Мы должны определить, что в условном знаке является объектом, а что – его свойством.

При определении картографических объектов и их свойств в качестве отправной точки используем трактовку условных знаков Ж. Бертеном в [1]. Не будет большим преувеличением утверждение, что названная статья дала автору этих строк больше, чем учебник картографии. После ее прочтения стало понятно, какой структурой должна обладать система картографического

отображения, хотя в статье ничего не говорится о компьютерах и программном обеспечении. Единственная фраза, в которой хоть как-то упоминается автоматизация, это «Создание комплектов карт легко автоматизировать» [1, с. 89].

По Бертену, условный знак – это пятно, имеющее форму, размеры, величину, ориентацию, цвет и штриховое оформление, то есть условный знак – это определенное сочетание доступных картографу *изобразительных средств*, которые он называет *визуальными переменными*, а другие авторы – *графическими переменными*. Но эта общая идея, определяющая суть картографического условного знака, требует некоторого уточнения.

Мы не будем различать величину и размеры, поскольку непонятно, чем они отличаются, а также откажемся от использования понятия формы условного знака как нестроного и введем понятие *сигнатуры* (от ср.-век. лат. *signatura* – знак, подпись) – геометрической структуры (начертания, геометрического остова) условного знака. Форма может изменяться, а сигнатура каждого условного знака, определяемая таблицей условных знаков для конкретного масштаба, остается постоянной, то есть является инвариантом. Примеры сигнатур приведены на рис. 10.1.

Для случая внесмасштабных (точечных) условных знаков трактовка сигнатуры никаких вопросов не вызывает, для них сигнатура – это геометрическое начертание условного знака, заменяющего точку, в которую вырождается изображение небольшого по размерам объекта геопространства. На рис. 10.1 сигнатурами точечных условных знаков являются сигнатуры 1–6.

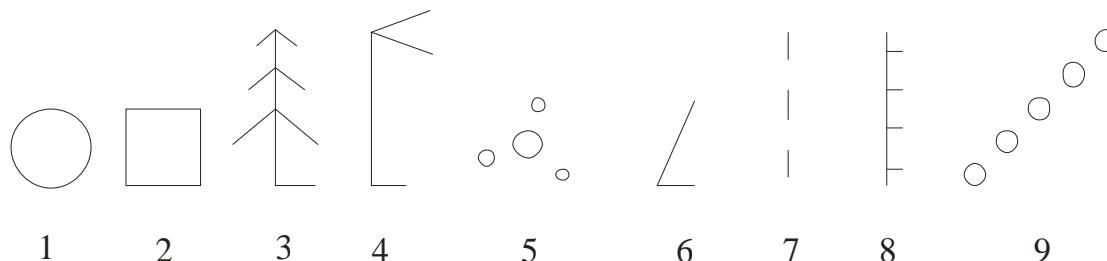


Рис. 10.1. Сигнатуры условных знаков

Примерами сигнатуры линейных знаков на рис. 10.1 являются сигнатуры 7, 8 и 9. В настоящее время в машинной графике для обозначения сигнатуры линий обычно употребляется понятие «стиль». Термин «сигнатура», использовавшийся в немецкоязычной литературе, представляется более удачным, поскольку сигнатуру следует рассматривать как объект, а стиль – как свойство.

Сигнатура линейных условных знаков представляет собой линию либо линейную последовательность (точечных) сигнатур, обычно – периодическую. Такое понимание сигнатуры линейных условных знаков обусловлено их особенностью – линейные условные знаки в плане могут иметь любую *форму*, определяемую плановым положением картографируемых объектов. Именно по этой причине выше мы отказались от использования понятия формы. Начертание линейного условного знака в целом (его форма) определяется положением линейного объекта на поверхности и сигнатурой

знака. При вычерчивании карты требуется произвести *укладку* сигнатуры по осевой линии линейного объекта. Сигнатура линейного условного знака повторяет изображение линейного объекта таким же образом, как железнодорожный состав (каждый вагон которого можно трактовать как элемент сигнатуры) повторяет форму железнодорожного пути.

Площадные условные знаки обладают максимальными возможностями для передачи семантики (выражения смысла) с помощью сигнатур. Во-первых, сигнатуру имеет граница условного знака, которую можно рассматривать как линейный условный знак. Во-вторых, для размещения сигнатуры может использоваться площадь, о контуренная границей. Заполняющая сигнатура представляет собой некоторый орнамент либо сигнатуры точечных условных знаков, тем или иным образом рассредоточенные по площади, занимаемой изображением площадного объекта.

Полосные условные знаки (реки, дороги...) обладают свойствами и линейных, и площадных. Они имеют две границы, для изображения которых могут использоваться разные линейные сигнатуры. В некоторых случаях площадь полосного условного знака используется для размещения заполняющей сигнатуры.

Для надписей применение сигнатур наиболее показательно: каждый символ (буква или цифра) является сигнатурой. Каждый конкретный шрифт устанавливает соответствие между множеством символов и множеством сигнатур.

К изобразительным средствам будем относить, наряду с сигнатурой, размер, ориентацию, цвет, яркость и толщину. Чтобы выяснить роль различных изобразительных средств, рассмотрим некоторые примеры их использования для отображения объектов местности. Эти примеры не являются исчерпывающими, и на каждый из них можно привести контрпример. Но они демонстрируют тенденции, наиболее характерные способы применения изобразительных средств.

Цвет, в основном, используют для указания на принадлежность индивидуального объекта к более широкому классу объектов (гидрографии, растительности, рельефу и т. д.). В некоторых случаях с помощью цвета показывают те или иные качественные свойства картографируемых объектов: огнестойкие здания отображаются черным цветом, неогнестойкие – желтым или оранжевым и т. п.

Яркость служит для отображения градаций некоторых количественных свойств картографируемых объектов: так, взрослый лес показывается зеленым цветом, а поросль – светло-зеленым; на общегеографических картах с помощью яркости принято отображать высоты и глубины.

Размер используется преимущественно для отображения значений некоторых количественных свойств. Так, на картах мелкого масштаба населенные пункты часто отображаются кружком, размеры которого зависят от числа жителей.

Ориентация условного знака используется сравнительно редко и служит для указания направления или отображения некоторых качественных свойств

объектов. Так, например, наклонный или перевернутый условный знак может обозначать недействующий или разрушенный искусственный объект.

Сигнатура наиболее часто применяется для отображения *типа* объекта; примерами могут служить условные знаки дорожного указателя, заводской трубы, ветряной мельницы... В более редких случаях сигнатура используется для передачи значений качественных свойств картографируемых объектов. Так, разными сигнатурами обозначаются лиственные и хвойные породы деревьев, проходимые и непроходимые болота. Сигнатура границы, как правило, используется для отображения устойчивости границ картографируемого объекта и его отдифференцированности от других объектов.

Толщина. Перечисленные изобразительные средства могут быть дополнены толщиной вычерчиваемых линий. Хотя толщина является частным случаем размера, целесообразность ее выделения в качестве отдельного изобразительного средства представляется очевидной.

Надписи являются наиболее универсальным и наименее наглядным изобразительным средством. С их помощью можно передать любой смысл и значение. Некоторые свойства объектов могут отображаться только в виде надписей: имена собственные, точные значения количественных свойств и т. п.

10.6. Сигнатуры

Среди перечисленных изобразительных средств наиболее значимой является сигнатура. Другие изобразительные средства носят подчиненный по отношению к ней характер: размер, ориентацию, цвет, яркость и толщину может иметь только некоторая сигнатура. Сигнатуру можно считать *носителем* прочих изобразительных свойств. Но, возможно, что и сигнатуру следует относить к свойствам, если объектом считать условный знак.

Надписи также имеют сигнатуру, в этом их сходство с условными знаками. Но они никогда не являются самостоятельным знаком и всегда дополняют конкретную сигнатуру или группу условных знаков. Некоторые изобразительные средства для передачи содержания карты могут иногда не использоваться, но сигнатура условного знака присутствует *всегда*, даже в случае «белого пятна», которое можно рассматривать как особый случай сигнатуры – пустое значение, аналогичное нулю в алгебре. В качестве примера пустой сигнатуры можно привести условный знак пашни, когда ее граница изображается пунктиром, а внутренняя площадь никак не заполняется либо, если позволяют размеры отображаемого объекта, в ней размещается надпись «пашня».

Основным аргументом в пользу понимания сигнатуры как *картографического объекта* служит практика отображения *типа объекта* с помощью сигнатуры. Причиной использования именно сигнатуры для обозначения типов объектов является ее информативность. Число сигнатур, различаемых человеком, гораздо больше числа значений других изобразительных свойств. Прочие изобразительные средства (за исключением надписей) более ограничены и менее информативны.

Особенностью сигнатур служит их дискретный характер. Остальные изобразительные средства являются по своей природе непрерывными. Сигнатуры обладают структурой, другие изобразительные средства структуры не имеют, хотя могут структурироваться искусственно (цвет). Дискретный характер имеют и картографируемые объекты. Поэтому наиболее естественным способом картографического отображения дискретных объектов геопространства представляется соответствие между каждым типом объекта и определенной сигнатурой. Такой подход отражает своеобразие языка карты, состоящее в том, что геометрическая структура (пространственное положение) и семантические свойства картографируемых объектов отображаются с помощью графических образов. Положение любого объекта также передается с помощью сигнатуры.

Существует искушение называть картографическими геометрические объекты: точки, линии, геометрические фигуры. Но мы будем рассматривать сигнатуру как обобщение понятия геометрического объекта, как некоторую конструкцию из геометрических объектов. При этом любая геометрическая фигура суть сигнатура, но понятие сигнатуры не сводится к понятию геометрической фигуры.

Теперь, когда мы определили сигнатуру как картографический объект, естественным образом возникает вопрос о том, что считать одной сигнатурой. Так как две эквивалентные сигнатуры являются одной сигнатурой, то ответ на данный вопрос сводится к определению равенства сигнатур. Поскольку наша теория имеет конструктивный характер, постольку в нашей воле принимать любое решение, лишь бы оно было разумным и ясным.

Очевидно, что сигнатуры одного начертания, но разных размеров или ориентации следует считать одной сигнатурой. Но как определить равенство или неравенство сигнатур более точно? Что такое «начертание»? Что является мерой сходства двух сигнатур?

На рис. 10.2 представлены примеры сигнатур разного типа. В чем больше сходства на этом рисунке: между двумя крестами или между двумя треугольниками? Возможно, что большинство людей сочтет кресты более похожими, чем треугольники. Представленные на рис. 10.2 два креста имеют одинаковые размеры и ориентацию и с топологической точки зрения их структуры изоморфны. Кроме того, подграф «крест» топологически изоморфен подграфу «веер». Но ни один здравомыслящий картограф не признает сигнатуры креста и веера эквивалентными. Следовательно, топологические критерии изоморфизма в данном случае не работают, и нужно искать другое решение.

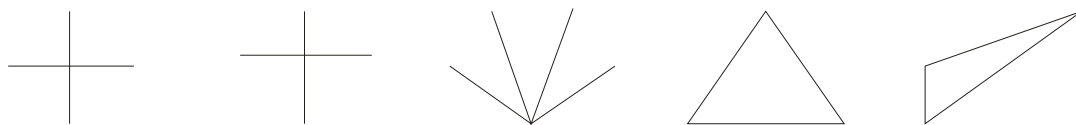


Рис. 10.2. К определению типов сигнатуры

Нетрудно видеть, что на рис. 10.2 кресты и треугольники отличаются своими внутренними пропорциями. Но критерий сохранения или отсутствия пропорций между элементами сигнатуры не точен (или сложен) и не может служить основанием для отнесения двух сигнатур к одному или к разным типам.

Мы определим как один *тип сигнатуры* семейство сигнатур, в котором каждая из сигнатур может быть получена из другой с помощью *линейных преобразований всей сигнатуры в целом*. Из одного изображения креста на рис. 10.2 нельзя получить другое с помощью только линейных преобразований *всего изображения*, но можно – либо *различными* линейными преобразованиями отдельных его элементов, либо *нелинейными* преобразованиями всей сигнатуры. Поэтому в соответствии с данным выше определением типа сигнатуры их следует считать различными сигнатурами.

С помощью линейного преобразования конкретный треугольник может быть получен из любого другого треугольника, поэтому все треугольники представляют собой один тип сигнатуры, так же как любые квадраты и прямоугольники являются другим типом, любые окружности и эллипсы – третьим и т. д.

При таком определении эквивалентности сигнатур сохраняются все топологические инварианты любой сигнатуры (число вершин, степень каждой вершины, инцидентность, вложенность...), что совершенно понятно, так как линейные преобразования являются частным случаем топологических.

Чтобы упростить сравнение различных сигнатур, можно принять соглашение об их представлении в *нормированном* виде. Это означает, что координаты каждой сигнатуры должны представляться в диапазоне от 0 до 1 (или от -1 до 1), причем экстремальные значения координат должны совпадать с указанными граничными значениями (за двумя очевидными исключениями, когда сигнатура представляет собой отдельную точку и горизонтальный или вертикальный отрезок прямой).

Положение сигнатуры точечного условного знака в целом связывается с положением ее *точки привязки* [3]. В зависимости от типа сигнатуры, точкой привязки может быть геометрический центр сигнатуры, середина основания, угол основания либо центр одного из ее компонентов, как, например, в условном знаке кустарника (№ 5 на рис. 10.1). Для каждой сигнатуры следует указывать ее точку привязки. Можно принять соглашение, в соответствии с которым начало локальной системы координат сигнатуры совпадает с точкой привязки.

Конкретную сигнатуру, полученную из нормированной с помощью линейных преобразований, будем называть *экземпляр* сигнатуры. Экземпляр сигнатуры однозначно определяется идентификатором нормированной сигнатуры и параметрами, определяющими ее трансформацию. Данные параметры могут храниться непосредственно либо использоваться для вычисления матрицы коэффициентов линейного преобразования.

Сигнатуру будем рассматривать как особую графическую переменную – *сигнатурную* – и использовать для обозначения таких переменных большие и

малые буквы латинского алфавита с индексами или без них. *Экземпляр каждой сигнатуры* будем трактовать как *графическую константу*. Множество всех возможных экземпляров сигнатуры S фиксированного типа образует *домен* или *область значений* переменной S .

Для ссылок на некоторые сигнатуры целесообразно ввести их специальные обозначения. *Пустую сигнатуру*, являющуюся аналогом пустого множества, будем обозначать символом \emptyset или 0 (ноль). *Универсальную сигнатуру*, то есть сигнатуру, содержащую в себе все возможные сигнатуры, обозначим как U . Введем также *единичную сигнатуру*, которую будем понимать как сигнатуру, совпадающую с любой из возможных сигнатур, и обозначать буквой E .

Пустую сигнатуру мы можем интерпретировать как «белый квадрат», если согласимся считать белым фон, на который наносится изображение. Тогда универсальную сигнатуру можно трактовать как «черный квадрат».

Выше отмечалось, что сигнатуры являются дискретными объектами и характеризуются своей структурой. В зависимости от структуры будем разделять сигнатуры на *простые* (или *элементарные, сигнатуры-прими-тивы*) и *составные* (или *сигнатуры-комплексы*), состоящие из $n > 1$ примитивов и/или других комплексов.

От решения задачи определения состава примитивов зависит эффективность разработки системы картографического отображения и эффективность ее функционирования. Реализация системы картографического отображения с минимальным составом сигнатур-примитивов предполагает создание разворачивающейся системы сигнатур. В ее основе лежит примитив «точка», из которого строятся все остальные примитивы. При этом отрезок представляется как последовательность точек, а ломаная и все остальные графические примитивы, включая гладкие геометрические фигуры, конструируются как последовательности отрезков. Такой подход обеспечивает максимальное повторное использование программного кода, что, в свою очередь, минимизирует затраты на разработку системы, но снижает ее быстродействие в процессе работы.

Другой возможностью является определение достаточно большого числа разнообразных примитивов и их непосредственная программная реализация. Такое решение незначительно усложняет разработку программного обеспечения, но повышает производительность системы и является более эффективным. С другой стороны, создание большого числа сигнатур-примитивов делает описание сигнатур-комплексов более лаконичным, но требует запоминания имен элементарных сигнатур. Следовательно, при разработке сигнатур-примитивов нужно пытаться оптимизировать их число. Но возможно, что данный вопрос не является заслуживающей внимания проблемой, поскольку описание сигнатур-примитивов всегда можно иметь под рукой.

В первом приближении в качестве сигнатур-примитивов можно определить точку, пробел, отрезок, ломаную, окружность, дугу окружности, дугу параболы, гладкую кривую (сплайн и/или кривую Безье), квадрат, треугольник, многоугольник, круг, сектор и сегмент круга. Перечисленные элементы

образуют близкий к оптимальному состав графических примитивов. При необходимости данный список может быть дополнен такими примитивами, как спираль, и т. п.

Конструирование сигнатур в общем случае осуществляется из примитивов и/или ранее созданных сигнатур. Поэтому библиотека сигнатур в своем начальном состоянии содержит только сигнатуры-примитивы.

Чтобы иметь возможность конструировать сигнатуры любой сложности из предварительно определенных примитивов (а также созданных ранее сигнатур-комплексов), мы должны определить операции над сигнатурами. При определении состава операций над сигнатурами будем исходить из того, что каждую сигнатуру можно рассматривать как точечное множество. Тогда первые операции, которые мы можем определить над сигнатурами, – это двухместные операции сложения «+», вычитания «-» и умножения «*» сигнатур и одноместная операция дополнения сигнатуры «-».

Результатом операции *сложения сигнатур* A и B является сигнатура $C = A + B$, включающая все элементы обеих сигнатур. Если некоторый элемент входит в обе сигнатуры A и B , то такой элемент входит в результирующую сигнатуру только один раз. Иными словами, сигнатура, как множество, не может содержать повторяющиеся элементы. Отсюда следует, что $A + 0 = A$, $A + A = A$, $A + E = A$ и $A + U = U$.

Разность сигнатур A и B определим как сигнатуру $C = A - B$, содержащую только те элементы сигнатуры A , которые не являются элементами сигнатуры B . Из данного определения следует: $A - 0 = A$, $A - A = 0$, $A - E = 0$, $0 - A = 0$, $A - U = 0$ и $U - A = -A$ (см. ниже определение дополнения сигнатуры).

Произведение сигнатур A и B определим как сигнатуру $C = A * B$, содержащую элементы, входящие одновременно как в A , так и в B . Тогда очевидно выполнение следующих соотношений: $A * 0 = 0$, $A * A = A$, $A * E = A$, $A * U = A$.

Дополнение сигнатуры A определим как разность $-A = U - A$, то есть, как множество всех элементов универсальной сигнатуры за исключением принадлежащих A . Отсюда следует, что если A – это черный рисунок на белом фоне, то $-A$ – это белый рисунок на черном фоне. Таким образом, дополнение сигнатуры позволяет получать негативное изображение.

Нетрудно видеть, что введенные операции являются аналогами теоретико-множественных операций объединения, пересечения, разности и дополнения множеств. Эти операции над сигнатурами могут быть названы *структурными*, так как выполняются над числом элементов сигнатуры, над ее структурой.

Таким образом, общий формат бинарных структурных операций над сигнатурами можно определить как

$$S = S_1 @ S_2, \quad (10.2)$$

где @ – символ структурной операции, а S_1 и S_2 – сколь угодно сложные выражения, составленные из символов сигнатур и символов структурных операций над ними.

Следующее необходимое множество операций над сигнатурами – *линейные* операции над геометрическими параметрами элементов сигнатуры. Общий формат бинарных линейных операций над сигнатурами определим как

$$S @ a, \quad (10.3)$$

где S – сигнатура; $@$ – символ, обозначающий некоторую операцию над сигнатурой; a – арифметическое выражение.

В качестве допустимых бинарных линейных операций над сигнатурами примем следующие:

$*$ – масштабирование (пропорциональное изменение обеих координат в a раз);

\uparrow – растяжение (сжатие) в a раз по оси X ; здесь подразумевается принятая в геодезии левая система координат; отрицательное значение a означает зеркальное отображение сигнатуры относительно оси Y и растяжение на величину $|a|$;

\rightarrow – растяжение (сжатие) в a раз по оси Y ; растяжение сигнатуры на величину $a < 0$ означает ее одновременное растяжение и зеркальное отображение относительно оси X ;

\wedge – смещение на величину a по оси X ; если $a > 0$, то смещение осуществляется в положительном направлении оси X ; если $a < 0$, то смещение выполняется в отрицательном направлении; другими словами, a здесь трактуется как приращение ΔX ;

$>$ – смещение на величину a по оси Y ; если $a > 0$, то смещение осуществляется вправо, если $a < 0$, то сигнатура смещается влево на величину $|a|$;

\Uparrow – перенос сигнатуры в точку $X = a, Y = Y$;

\Rightarrow – перенос сигнатуры в точку $X = X, Y = a$;

\angle – наклон (сдвиг относительно основания) на величину a , равную тангенсу угла;

$^\circ$ – поворот на угол a по часовой стрелке; если $a < 0$, то поворот выполняется против часовой стрелки;

$\%$ – зеркальное отражение относительно прямой, расположенной под углом a к оси X .

Можно также ввести префиксные унарные операции зеркального отображения: $|$ (относительно оси X) и $—$ (относительно оси Y). Но данные операции не являются обязательными, поскольку зеркальное отображение относительно осей X и Y может быть получено с помощью операторов $\rightarrow(-1)$ и $\Uparrow(-1)$ соответственно.

Некоторые использованные для обозначения линейных операций символы отсутствуют на клавиатуре, но есть в текстовых редакторах типа Word. Основным соображением при выборе обозначений для операций было стремление придать им хотя бы некоторую наглядность и мнемоничность.

Как результатом выполнения арифметических операций над числами всегда является число, так и результатом выполнения структурных и линейных операций над сигнатурами всегда является некоторая сигнатура-константа или экземпляр сигнатуры. Выражение, содержащее операции над сигнатурами,

будем называть *сигнатурным* и говорить, что *его значением является сигнатура*. Отличие структурных операций от линейных операций над сигнатурами заключается в том, что результатом структурных операций является *новая сигнатура* (новый тип сигнатуры), а результат линейных операций – это *новый экземпляр сигнатуры*.

Введем также символ $=$, по своему смыслу эквивалентный оператору присваивания в любом языке программирования. Если слева от символа $=$ стоит сигнатурная переменная, то справа от него должно стоять сигнатурное выражение. При первом появлении имени сигнатуры слева от символа $=$ в описании изображения действие данного оператора можно трактовать как ее создание. Структура и параметры сигнатуры определяются выражением справа от знака $=$. Если сигнатура слева от знака $=$ появляется в блоке не в первый раз, то она принимает новое значение, определяемое *правым выражением* оператора $=$.

В общем случае выражение

$$S = (S_1, \dots, S_n), \quad (10.4)$$

где S, S_1, \dots, S_n – имена сигнатур; а (S_1, \dots, S_n) – сигнатурное выражение, будем называть *определением* сигнатуры S . В таких случаях мы можем также говорить, что сигнатура S является *функцией* сигнатур S_1, \dots, S_n , являющихся ее *аргументами*. Появление имени сигнатуры в правом сигнатурном выражении будем называть ее *использованием*. Очевидные требования к сигнатурам-аргументам: они должны быть определены до их использования и должны быть *видимы* в охватывающем блоке. Соглашения об *областях видимости имен* могут быть полностью заимствованы из C++.

Порядок выполнения операций в арифметических выражениях принимается таким же, как в математике или как в C++. Линейные операции над сигнатурами обладают более высоким приоритетом по сравнению со структурными, то есть выполняются раньше них. Унарные структурные операции обладают более высоким приоритетом, чем бинарные. Все бинарные линейные операции над сигнатурами обладают одинаковым приоритетом и выполняются слева направо.

Операции сложения и вычитания сигнатур имеют одинаковый приоритет и выполняются слева направо. Операция произведения сигнатур имеет более высокий приоритет, чем сложение и вычитание сигнатур. Для изменения порядка операций над сигнатурами или придания выражению большей выразительности могут использоваться круглые скобки.

Рассмотрим конструирование сигнатуры и ее описание на следующем примере. Пусть нам требуется создать сигнатуру C из ранее созданных сигнатур A и B (рис. 10.3). Сигнатура A представляет собой окружность с диаметром, равным 1. Сигнатура B – вертикальный отрезок длиной 1. Создание сигнатуры C может быть описано следующими выражениями:

$$B1 = (B \nearrow 0.25) \wedge 1; \quad C = A + B1; \quad C = C \circ 90 + B1; \quad C = C \circ 90 + B1; \quad C = C \circ 90 + B1;$$

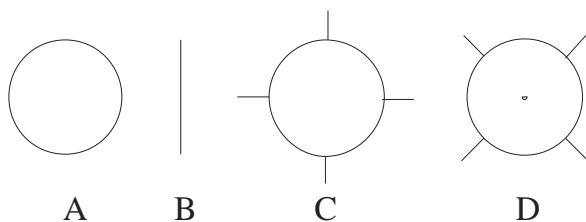


Рис. 10.3. Пример формирования сигнатуры

Смысл выполняемых операций очевиден. В первом выражении линейными преобразованиями сигнатуры *B* создаем вспомогательную сигнатуру *B1* в виде вертикального отрезка прямой длиной 0,25, смещенного вверх на 1. Во втором получаем сигнатуру *C* как сумму сигнатур *A* и *B1*. Затем (третье выражение) сигнатуру *C* поворачиваем на 90° и добавляем к ней сигнатуру *B1*. Вновь полученную сигнатуру *C* снова поворачиваем на 90° и т. д. Программист

понимает данные операции как вычисления, преобразования данных; картограф может мыслить их как последовательность соответствующих физических действий: вычерчивания элементов сигнатуры, стирания (операция вычитания), поворота, переноса и т. п.

Сигнатуру *C* можно описать иначе:

$$B1 = (B \uparrow 0.25) \wedge 1; C = (((((A+B1) \circ 90) + B1) \circ 90) + B1) \circ 90 + B1;$$

Последнее выражение короче, но менее понятно, чем приведенные выше, хотя их результаты совпадают. Из данного примера вытекает целесообразность использования циклических выражений. Один из вариантов циклического выражения можно определить как $! (i) \{s\}$, где $!$ – обозначение операции повторения (напоминание о факториале), i – целочисленное арифметическое выражение, значение которого определяет число повторений цикла; $\{s\}$ – тело цикла, представляющее собой блок – последовательность сигнатурных выражений. Тогда сигнатуру *C* можно описать и лаконичнее, и понятнее:

$$B1 = (B \uparrow 0.25) \wedge 1; C = A + B1; ! (3) \{C = C \circ 90 + B1\}.$$

Если в дальнейшем потребовалось бы описать представленную на рис. 10.3 сигнатуру *D*, то это можно было бы сделать с помощью выражения $D = C \circ 45 + P \wedge 0.5$; где *P* – ранее созданная сигнатура точки с координатами (0, 0), либо выражением $D = C \circ 45 + \text{point} (0.5, 0.0)$; где *point* (*float*, *float*) – имя функции, создающей сигнатуру «точка». Если определить класс *point*, то функция *point* (*float*, *float*) являлась бы одним из возможных конструкторов данного класса. С точки зрения картографа, функция *point* (*a*, *b*) рисует точку с координатами (*a*, *b*). С позиций программиста – функция *point* (*a*, *b*) создает нужную сигнатуру «*point*» и возвращает ее в качестве своего значения.

Все сигнатуры-примитивы могут создаваться только с использованием тех или иных функций. Поэтому язык должен содержать как минимум одну функцию создания для каждого типа примитива. Наиболее эффективным решением представляется создание класса для каждого типа сигнатуры. Имена функций создания сигнатур или имена классов должны быть зарезервированными словами языка и не могут использоваться в других целях, если они не переопределяются внутри блоков. Хотя переопределение возможно, но им лучше не пользоваться во избежание путаницы. Таким же образом

вводятся имена математических функций: тригонометрических, алгебраических и т. д. Но основным механизмом создания сигнатур могут быть *конструкторы* C++.

Рассмотренные сигнатуры как аппарат описания геометрической структуры условных знаков характеризуются определенной ограниченностью. С их помощью можно описать сравнительно небольшой класс простых по своей структуре изображений. Чтобы расширить возможности языка картографического отображения, будем различать сигнатуры *непараметризуемые* (сигнатуры без параметров, сигнатуры-константы) и *параметризуемые* (сигнатуры с параметрами или сигнатуры-переменные). Рассмотренные выше сигнатуры относятся к сигнатурам без параметров.

В качестве примера сигнатуры с параметрами рассмотрим круговой сектор (рис. 10.4). Представить сектор с углом 30, 60 или 90 градусов с помощью только определенных выше линейных операций над сигнатурами в принципе невозможно. Причина в том, что угол является *параметром* сектора. Можно привести примеры других сигнатур, которые картографы, наверное, хотели бы иметь в своем арсенале: круговой сектор или сегмент, парабола $y = ax^n$ и т. п.



Рис. 10.4. Сигнатура
«сектор»

Сигнатуры линейных условных знаков для краткости будем называть *линейными сигнатурами*. Их существенное отличие от сигнатур немасштабных условных знаков в том, что они часто являются периодическими, в связи с чем их описание практически нельзя представить без использования циклов.

Линейные сигнатуры 7, 8 и 9, изображенные на рис. 10.1, могут быть описаны следующим образом:

```
S7 = ! ( ) { line (3.0) + empty (2.0) };  
S8 = ! ( ) { line (2.5) + line (1.0) °(90) };  
S9 = ! ( ) { circle (2.0) + empty (2.0) };
```

Здесь следует обратить внимание на то, что выражения в фигурных скобках являются *сигнатурными выражениями*, так как результатом функций *line (a)* и *empty (a)* являются *сигнатуры*. Функция *empty (a)* создает пробел длиной *a*. Значение параметра в функциях *empty ()* и *line ()* может отсутствовать, что следует понимать как указание на неопределенную длину соответствующего элемента линейной сигнатуры. Фактическая длина линейной сигнатуры в таких случаях принимается равной длине изображения линейного объекта.

Для вычисления длины линейных объектов может быть разработана соответствующая функция, например, *length (*lobj)*. Аналогичная функция может быть создана и для вычисления длины полосных объектов. Очевидно, что реализация указанных функций будет зависеть от внутренней структуры данных, используемой в конкретной картографической системе. Также очевидно, что различия в реализациях не имеют значения с точки зрения

правильности тех или иных выражений языка описания картографических изображений.

Последние три выражения представлены в так называемом *функциональном стиле* (столь характерном для языка программирования LISP). Достоинством функционального стиля можно считать универсальность, с помощью функций можно выразить все что угодно. Но возможно, что такой способ записи будет представляться картографам надуманным и менее наглядным. Как нам кажется, для картографов более естественным было бы мышление в терминах объектов и условных знаков. При использовании функционального стиля картограф взаимодействует не с объектом, а с чем-то, что (функция) стоит между ним и нужным объектом. Таким образом, картограф взаимодействует с объектом опосредованно, хотя большинство картографов, скорее всего, предпочло бы манипулировать непосредственно объектами, а не тем, что манипулирует объектами. В принципе же, нас ничто не ограничивает в использовании обоих стилей: функционального и стиля, который можно назвать *объектным*. Тогда картографы имели бы возможность выбора в соответствии хотя бы с личными предпочтениями. В «объектном» стиле последние три выражения мы могли бы записать несколько лаконичнее:

$S7 = ! () \{ \text{line} \uparrow 3.0 + \text{empty} \uparrow 2.0 \};$

$S8 = ! () \{ \text{line} \uparrow 2.5 + \text{line} \uparrow 1.0 \circ 90 \};$

$S9 = ! () \{ \text{circle} \uparrow 2.0 + \text{empty} \uparrow 2.0 \};$

Отсутствие арифметического выражения, определяющего число повторений цикла, трактуется как выполнение *неопределенного числа повторений*. Цикл заканчивается тогда, когда заканчивается конкретный линейный объект. Разные линейные объекты характеризуются разной длиной. Фактическое число повторений цикла определяется делением длины линейного объекта на длину цикла. *Длиной цикла* будем называть сумму длин элементов, образующих цикл вдоль линейной сигнатуры. Например, длина цикла в сигнатуре $S7$ равна $3 + 2$, а длина цикла сигнатуры $S8$ равна 2.5 , так как $\text{line} (1.0)$ не увеличивает длину цикла, поскольку этот отрезок вычерчивается по нормали к оси сигнатуры. Таким образом, длина цикла равна однократной длине линейной сигнатуры-комплекса.

Выше следует обратить внимание на отличия синтаксиса оператора цикла от аналогичного оператора в языке C++. Это предложение, как и другие предложения, никаким образом не носит категорического характера и является всего лишь одним из возможных решений. Мы можем придерживаться синтаксиса языка C++ либо вводить аналоги некоторых его операторов. Окончательные решения по структуре и синтаксису языка картографического отображения должны быть результатом более тщательной проработки и обсуждения в картографическом сообществе. Мы же здесь говорим только об основных принципах.

Для циклов с неопределенным числом повторений можно ввести либо постфиксную форму записи: $\{s...\}$, где s – последовательность сигнатурных выражений, а эллипсис «...» – признак неопределенного числа повторений,

либо префиксную: $!\{s\}$, где $!$ есть символ повторения, а внутри скобок – последовательность повторяемых сигнатурных выражений. Для циклов неопределенной длины использование нотации с эллипсисом представляется более предпочтительным.

Возможно существование составных линейных сигнатур, в которых начальная и конечная сигнатуры имеют фиксированную длину, а промежуточная сигнатура имеет неопределенную длину. Выражение «неопределенная длина» следует понимать в том смысле, что такая длина не определена или не известна в момент описания сигнатуры. Значение такой длины устанавливается тогда, когда соответствующий линейный (или полосной) объект появляется в поле зрения картографической системы. Примерами могут служить сигнатуры условных знаков линий электропередачи и линий связи на столбах или опорах (рис. 10.5). Здесь стрелки на концах пролета линии электропередачи имеют фиксированный размер, а расстояние между ними определяется расстоянием между реально существующими столбами. Структура линейных сигнатур должна обеспечивать возможность моделирования подобных условных знаков.



Рис. 10.5. Сигнатуры неопределенной длины

В стандартах и в некоторых существующих картографических системах можно встретить «ориентируемые точечные знаки». К их числу относят, в частности, и стрелки в условном знаке линии электропередачи. Но такая трактовка представляется неверной. Изображение *пролета* линии электропередачи – это один *линейный*

условный знак одного линейного объекта – пролета, а не два точечных, которым трудно дать сколько-нибудь разумную интерпретацию. Можно, конечно, придерживаться философии, в соответствии с которой наличие хоть какого-то решения лучше, чем отсутствие любого решения. Но еще лучше, если мы будем действовать методологически правильно.

Описание сигнатур площадных и полосных условных знаков ничем принципиально не отличается от описания сигнатур точечных и линейных условных знаков, разве что является более сложным и должно представляться в виде составной сигнатуры.

Структурные и линейные операции в совокупности позволяют отображать в картографическом изображении важное свойство объектов реального мира - их дискретность и непрерывность. Структурные операции выполняются над сигнатурами как целостными объектами, и в этом проявляется дискретность. Параметры в сигнатурном линейном выражении изменяются непрерывным образом, и так же изменяется его результат – сигнатура. Следовательно, линейные операции позволяют отображать непрерывность моделируемых объектов. Совокупность структурных и линейных операций над сигнатурами

образует необходимое и достаточное множество операций для получения любых сигнатур. В этом смысле мы можем считать множество введенных операций полным.

10.7. Точечные сигнатуры

Точечными сигнатурами будем называть сигнатуры точечных условных знаков. При проектировании сигнатур множество сигнатур-примитивов удобно представлять в виде дерева, позволяющего наглядно отображать связи между классами. Корнем такого дерева является абстрактный класс «сигнатура», от которого может быть порождено два абстрактных подкласса: сигнатуры *непараметризуемые* и *параметризуемые* (рис. 10.6).



Рис.10.6. Иерархия сигнатур как классов

Но для представления внешнего вида сигнатур лучше использовать табличное представление, подобное изображенному на рис. 10.7, или нечто близкое к нему.

Сигнатура	Имя	Вид	Параметры
Точка	<i>POINT</i>	.	
Отрезок вертикальный	<i>LINEV</i>		
Отрезок горизонтальный	<i>LINEH</i>	—	
Окружность	<i>CIRCLE</i>		
Круг	<i>CIRCLE_F</i>		
Квадрат	<i>SQUARE</i>		
Квадрат залитый	<i>SQUARE_F</i>		
Треугольник прямоугольный	<i>TRIANGLE_R</i>		
Треугольник равнобедренный	<i>TRIANGLE_A</i>		
Треугольник равносторонний	<i>TRIANGLE_B</i>		
Дуга окружности	<i>ARC</i>		угол, угол
Сектор	<i>SECTOR</i>		угол, угол
Сегмент	<i>SEGMENT</i>		угол, угол
Парабола	<i>PARABOLA</i>		
Сегмент параболы залитый	<i>SEGMENT_P</i>		
Синусоида	<i>SINUS</i>		

Рис. 10.7. Примеры имен и изображений сигнатур

Для большей выразительности можно условиться при образовании имен сигнатур и других элементов языка картографического отображения, являющихся ключевыми словами, использовать только прописные буквы латинского алфавита. В качестве таких имен можно было бы использовать:

POINT (*void*) – точка;

EMPTY (*float dx, float dy*) – пробел;

LINE (*float dx, float dy*) – отрезок;

TRIANGLE (*float dx1, float dy1, float dx2, float dy2*) – треугольник (точка, точка);

CIRCLE (*float r*) – окружность;

SQUARE (*float s*) – квадрат;

PARABOLA – парабола;

POLYLINE – ломаная (точка, ..., точка);

CURVE – кривая;

SECTOR – сектор;

SEGMENT – сегмент;

SINUS – синусоида (волна)

и т. п.

Число сигнатур может составлять несколько сотен и подбирать мнемонические обозначения для такого большого числа имен будет сложно. Поэтому в качестве альтернативного варианта можно рассмотреть решения:

- 1) тип сигнатуры является элементом массива *SIGNATURA*;
- 2) либо возвращается функцией *SIGNATURA (int)*, параметр которой определяет конкретный тип сигнатуры.

Примеры точечных сигнатур приведены на рис. 10.8. Из примеров следует, что сигнатуры точечных условных знаков, представляющие собой замкнутые фигуры, могут иметь заливку. Необходимость создания и использования сигнатур без заливки и с заливкой представляется очевидной.

В связи с большим числом сигнатур необходимо отметить следующее. В пределе сигнатура может создаваться для каждого условного знака того или иного вида и масштаба карты. Преимущество такого варианта в том, что представление сигнатур будет наиболее компактно, поскольку при описании конкретного условного знака будет достаточно указать только соответствующий тип сигнатуры. Его недостаток заключается в том, что тогда все сигнатуры должны быть включены в текст программы, то есть «запрограммированы».

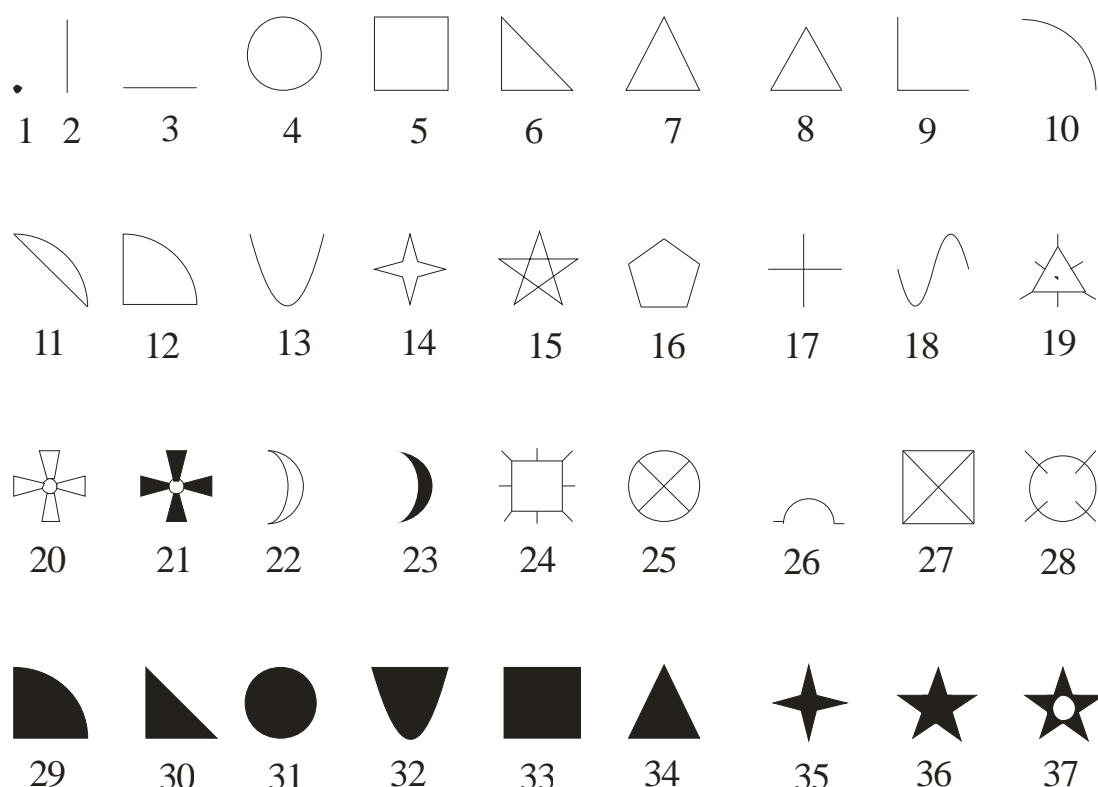


Рис.10. 8. Примеры точечных сигнатур

Второй вариант состоит в том, что сигнатуры описываются как сигнатурные выражения, содержащие сигнатурные операции над сигнатурами-примитивами и ранее созданными сигнатурами. В этом случае необходима разработка программы-интерпретатора сигнатурных выражений. В качестве компенсации мы получим ослабление зависимости картографа от программиста, а со временем, по мере накопления сигнатур, возможно, что достигнем его полной независимости. Данный вариант предоставляет картографу больше свободы при разработке систем условных знаков.

В заключение рассмотрим пример конструирования сигнатур точечных условных знаков и их сочетания с условными знаками площадных объектов. На рис. 10.9 под номерами 1 и 2 показаны сигнатуры условных знаков аэродрома и их компоненты. Сигнатура 1 получена сложением трех сигнатур $s = s1 + s2 + s3$, каждая из которых является экземпляром сигнатуры «окружность» и может быть представлена выражением вида $(circle \rightarrow a \uparrow b \wedge c)$, где a, b, c – некоторые вещественные константы.

Если такое представление сигнатуры «аэродром» нас не устраивает, то можно воспользоваться сигнатурой № 2 на рис. 10.9, полученной сложением сигнатуры окружности и четырех сигнатур сегмента параболы:

$$s = s1 + s2 + s3 + s4 + s5,$$

где $s1 = circle \uparrow a \rightarrow b \wedge c$; $s2 = parabola \circ a \uparrow b \wedge c > d$; $s3 = s2 \rightarrow -1 > a$ и т. д. Здесь сигнатура $s3$ получена зеркальным отражением сигнатуры $s2$ относительно оси X , на что указывает сигнатурное подвыражение $s2 \rightarrow -1$, и ее смещением по оси Y .

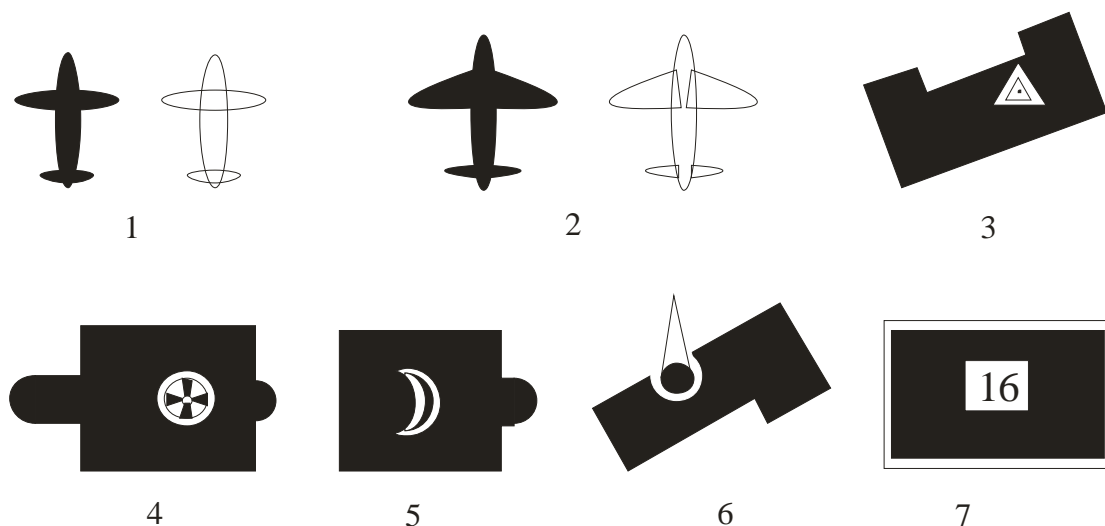


Рис. 10.9. Примеры сочетания сигнатур

На том же рис. 10.9 представлены сочетания точечных сигнатур с площадными условными знаками:

№ 3 – пункт государственной геодезической сети (ГГС), расположенный на здании;

№ 4 – церковь каменная;

№ 5 – мечеть каменная;

№ 6 – кирпичная пожарная каланча на здании;

№ 7 – здание и его этажность.

При всей схожести условных знаков на рис. 10.9 между ними имеются существенные отличия: сочетание двух объектов (№ 3), отображение свойства «назначение» (№ 4, 5) и свойства «число этажей» (№ 7). В последнем случае для отображения свойства служит надпись, но ее использование при этом ничем не отличается от использования сигнатуры. Общее между перечисленными условными знаками заключается в том, что сигнатура черного цвета накладывается на черное изображение огнестойкого здания. Чтобы изображение точечной сигнатуры не потерялось на черном фоне, из изображения площадного условного знака «вырезается» пятно соответствующей формы и размеров. Данную операцию можно легко выразить на языке картографического отображения.

Пусть s – сигнатура точечного условного знака «пункт государственной геодезической сети», а $area$ – сигнатура площадного условного знака, в нашем случае – здания. Тогда вырезать нужное пятно из здания можно с использованием операции вычитания сигнатур: $area = area - s \cdot (2.0 + 0.5) / 2.0$. Смысл данного выражения в следующем. Размер треугольника, изображающего пункт ГГС, равен 2 мм. Размер сигнатуры треугольника мы увеличиваем в $(2.0 + 0.5) / 2.0$ раз, где 0.5 в константном выражении означает, что мы добавляем со всех сторон к сигнатуре треугольника полосу шириной 0.25 мм. После операции вычитания увеличенной сигнатуры пункта ГГС сигнатура здания $area$ будет иметь треугольный вырез, в который помещается точечная сигнатура «пункт ГГС»:

$$area = area + s.$$

В результате выполненных манипуляций с сигнатурами здания и пункта ГГС мы будем иметь две сигнатуры (и два условных знака). Но мы можем пойти дальше и создать сигнатуру составного условного знака «пункт ГГС на здании». Сигнатура такого условного знака может быть представлена выражением $area = area - s*(2.0 + 0.5)/2.0 + s$. Из данного выражения следует, что операции сложения и вычитания сигнатур не обладают свойством переместительности и должны выполняться слева направо. Если мы их выполним в обратном порядке, то результирующая сигнатура будет иметь вид сигнатуры здания с вырезанным треугольным пятном.

Очевидно, что изложенный подход к представлению сочетания сигнатуры пункта ГГС и сигнатуры здания может быть распространен на сочетания других точечных и площадных условных знаков, а также надписей.

Можно было бы действовать иначе и создавать белую или бесцветную кайму вокруг каждой точечной сигнатуры. Но такое решение правильно только при наложении условных знаков одного цвета. Если налагающиеся условные знаки разного цвета, то один условный знак принято вычерчивать поверх другого.

Эффективность данного решения зависит от реализации, которая условно может быть отнесена к статической либо динамической. При *статической реализации* белое пятно увеличенных размеров, которое «вычерчивается» до вычерчивания самой сигнатуры, включается в состав каждой точечной сигнатуры, что приводит к некоторому усложнению ее представления. При *динамической реализации* осуществляется анализ размеров выводимой сигнатуры, ее необходимое окаймление, вывод белого пятна, а уже затем вывод самой сигнатуры.

Условные знаки могут перекрываться лишь частично. Любое же перекрытие двух условных знаков есть перекрытие их сигнатур. Поэтому для корректного вычерчивания двух перекрывающихся знаков одного цвета необходимо предварительно определять область их перекрытия и вырезать ее из площадного знака, что может быть представлено выражением вида $area -= area * s * c$, где $area$ – сигнатура площадного условного знака; s – точечная сигнатура; $c > 1$ – коэффициент увеличения размеров сигнатуры. Справа от знака равенства первая звездочка ($area * s$) означает структурную операцию произведения сигнатур, вторая звездочка ($s * c$) – это линейная операция масштабирования сигнатуры s . Выше мы приняли, что приоритет линейных операций выше приоритета структурных. Поэтому вначале будет выполнено масштабирование сигнатуры s , затем операции пересечения и вычитания (перед присваиванием) сигнатур, то есть $area -= area * (s * c)$. Скобки в данном случае не изменяют порядок выполнения операций, но делают выражение в целом более понятным. Из данного примера также следует, что перегрузка операций имеет свой недостаток: понимание и интерпретация выражений могут стать более трудными.

Одна из просматривающихся проблем заключается в конструировании и повторном использовании составных сигнатур при построении еще более сложных сигнатур. Если мы создали некоторую сложную сигнатуру, то не

существует гарантий, что она не будет изменена в дальнейшем. Но эти изменения могут оказаться нежелательными с точки зрения сигнатур, в которые измененная сигнатура включена в качестве компонента. Таким образом, нужна некоторая дисциплина при ведении библиотеки сигнатур и соответствующие средства для управления всем множеством сигнатур.

Последнее замечание, которое можно сделать в отношении точечных сигнатур, это то, что их размер и ориентация могут устанавливаться с помощью соответствующих линейных операций.

10.8. Линейные сигнатуры

Для определения требований к *линейным сигнатурам*, которыми будем называть сигнатуры линейных условных знаков, рассмотрим их примеры на рис. 10.10.

Из анализа примеров можно сделать следующие выводы:

- 1) сигнатура линейных условных знаков может содержать несколько линий разной толщины (автостреды, трубопроводы в одной траншее);
- 2) линии могут быть ломаными (искусственные объекты) либо гладкими кривыми (реки, ручьи и т. п.);
- 3) некоторые линии являются невидимыми (пороги);
- 4) вдоль линии могут располагаться точечные сигнатуры (трубопроводы, пороги и др.);
- 5) расположение точечных сигнатур вдоль линий может быть:
 - регулярным (воздушные линии связи, подземные и подводные кабели);
 - переменным, то есть определяться реальным положением точечных объектов, являющихся компонентами более сложных линейных объектов (опоры линий электропередачи...);
 - располагаться случайным образом (пороги), что подчеркивает их естественное происхождение;
- 6) ориентация и размеры точечных сигнатур могут быть:
 - постоянными (трубопроводы, линии электропередачи);
 - переменными и изменяться некоторым непрерывным образом (берега обрывистые);
 - случайными (пороги);
- 7) в одной линейной сигнатуре возможно сочетание элементов постоянной и переменной длины; пример: линии электропередачи на опорах, когда стрелки имеют фиксированный размер, а расстояние между ними зависит от расстояния между изображениями опор;
- 8) на линейные сигнатуры могут накладываться надписи, затирая сигнатуры (условный знак трубопроводов в одной траншее);
- 9) положение сигнатуры может не совпадать с положением линейного объекта (условный знак границы по рекам, дорогам и т. п.).

Линии разведочных геологических шурфов	
Геологические каналы	
Трубопроводы надземные на опорах	
Линии электропередачи на опорах	
Несколько трубопроводов в одной траншее	
Воздушные линии связи	
Подземные и подводные кабели	
Автострады	
Реки и ручьи (в одну линию)	
Водопад	
Порог	
Берега обрывистые	
Граница автономной области	
Канал строящийся	

Рис. 10.10. Примеры линейных сигнатур

Из перечисленных особенностей линейных условных знаков следует, что линейная сигнатура может быть сложной и состоять из нескольких сигнатур, которые мы будем называть *одиночными линейными сигнатурами*. Поэтому первоочередной задачей является решение вопроса о представлении одиночных линейных сигнатур как классов, производных от базового класса «линейная сигнатура», в свою очередь порожденного от абстрактного класса «сигнатура».

Одиночная линейная сигнатура может быть либо сигнатурой-примитивом, либо последовательностью сигнатур-примитивов. Примеры линейных сигнатур приводятся ниже.

SIGNATURA S1 = *curve* $\uparrow 0$; // река или ручей в одну линию

В данном определении сигнатуры условного знака реки, вычерчиваемого в одну линию, используется условность, основанная на том, что длина линейного объекта не может быть нулевой. Поэтому выражение *curve* $\uparrow 0$ означает, что длина кривой принимается равной длине соответствующего линейного объекта. Другое решение могло бы заключаться в использовании выражения *curve* \uparrow *length* (*lobj), где *lobj – указатель на соответствующий линейный объект.

SIGNATURA S2 = // трубопровод надземный на опорах
{
line $\uparrow 6.0$ + // отрезок прямой 6 мм
{ *square* $\uparrow 0.5 \rightarrow 1.0$ // прямоугольник 0.5 × 1.0 мм
+ *line* $\uparrow 6$ // отрезок прямой 6 мм

+ circle*0.8	// окружность $d = 0.8$ мм
+ line ^6	// отрезок прямой 6 мм
+ square ^1.0 →0.5	// прямоугольник 1.0×0.5 мм
+ line ^12;	// отрезок прямой 12 мм
...	// признак повторения
}	// конец тела цикла
}	// конец описания

SIGNATURA S3 =	// линия геологических шурфов
{ point + line ^0;	// точка
...	// признак повторения
point;	
}	

SIGNATURA S4 =	// воздушная линия связи
{ point + line ^0;	// точка и отрезок неопределенной
длины	
...	// признак повторения
point;	
}	

SIGNATURA S5 =	// линия электропередачи
{ circle *0.8	// окружность $d = 0.8$ мм
+ arrow ^2.5	// стрелка длиной 2.5 мм
+ line ^0	// отрезок прямой неопределенной длины
+ arrow ^(-2.5);	// стрелка длиной 2.5 мм в обратную сторону
...	// признак повторения
}	

Описание сигнатур условных знаков линий электропередачи и воздушных линий связи даны в соответствии с [8]. Сигнатура этих условных знаков довольно проста, тем не менее, говорить о строгом соответствии требованиям нормативного документа не приходится. Причину такого несоответствия можно обнаружить в пояснениях к этим условным знакам:

«52. При изображении линий электропередачи (ЛЭП) на металлических или железобетонных опорах знаки опор должны быть нанесены все – в соответствии с их действительным положением в натуре. При этом у обозначений ЛЭП с фермами или столбами высотой 14 м и более через 5–6 см на карте помещают надписи их высоты в метрах. Если на такой линии электропередачи отдельные опоры (например, бетонные столбы) имеют высоту менее 14 м, то надписи высоты столбов должны помещаться на карте чаще и характеризовать как высокие, так и низкие столбы.

У линий электропередачи на бетонных столбах высотой менее 14 м и на деревянных опорах (фермах, столбах) знаки опор наносят на своем месте в соответствии с натурой, если они расположены на местности через 150 м и

реже. В случае, если по дополнительным требованиям все столбы и опоры таких ЛЭП должны быть показаны на своем месте, когда они расположены в натуре чаще, чем через 150 м, допускается вычерчивать стрелки условного знака через одну опору.

Во всех случаях показа линий электропередачи и связи должны быть изображены обозначения поворотных ферм или столбов. На поворотах линий электропередачи стрелки условного знака вычерчиваются так, чтобы они передали оба направления линии и характеризовали угол поворота.

Если на одних и тех же столбах или фермах подвешены провода электропередачи и связи или технических средств управления, то такую линию на картах изображают условным знаком линии электропередачи. В случаях, когда рядом проходит несколько (4–5) линий электропередачи (связи) и показ всех их перегрузил бы карту, разрешается опустить часть линий, но крайние должны быть нанесены обязательно.

53. Линии электропередачи, связи и технических средств управления в полосе отвода железных дорог, автострад, шоссе и на улицах населенных пунктов, как правило, не показывают. Если линии связи или электропередачи подходят к указанным дорогам со стороны и следуют им, вдоль условного знака дороги вычерчивают небольшой (1–2 см) отрезок обозначения соответствующей воздушной линии, чтобы показать ее направление. Обозначения линий электропередачи, связи и технических средств управления, проложенных вдоль улучшенных грунтовых дорог и дорог более низких классов, наносятся на всем протяжении.

Из двух параллельных линий связи, идущих по одной стороне дороги, показывают более удаленную от оси дороги. Знаки линий связи и электропередачи через обозначения дорог и рек проводят без разрывов. При подходе к улицам населенных пунктов они прерываются.

При съемках для мелиорации земель линии электропередачи и связи показываются и в полосе отвода железных дорог, автострад и шоссе. При наличии соответствующих дополнительных требований опоры линий связи наносятся по возможности согласно их размещению в натуре.

54. При изображении на картах строящихся линий электропередачи и связи, трубопроводов и других строящихся объектов, для которых нет специальных условных знаков, следует применять обозначения действующих объектов и сопровождать их пояснительной надписью *строящийся* или *стр.*»[8, с. 83–84].

Как видим из приведенных пояснений, при описании сигнатур условных знаков линий электропередачи и связи в действительности необходимо учитывать множество факторов. И сигнатура условного знака конкретного типа объектов может изменяться, к сожалению, не только в зависимости от свойств изображаемого индивидуального объекта, но и от свойств соседних объектов.

SIGNATURA S6 =
{line ↑1 + empty ↑1;

// геологическая канава

...

```

}

SIGNATURA S7 = // подземные и подводные кабели
{ line ↑2.5 + point + line ↑2.5 + empty ↑1.5;
...
}

SIGNATURA S8 = // водопады
{
triangle ↑1.0 →0.5 90 // равнобедренный треугольник высотой 1 мм
// и основанием 0.5 мм, повернутый на 90°
+ empty ↑0.8; // пробел 0.8 мм
...
}

SIGNATURA S9 = // порог
{ triangle ↑rand (1.0, 1.2) °rand (0.0, 360.0) + empty ↑rand (2.0, 2.5);
...
}

```

Сигнатура «порог» здесь определена как последовательность треугольников случайного размера в диапазоне от 1 до 1.2 мм и случайной ориентации в диапазоне от 0 до 360°; расстояние между которыми также случайная величина в диапазоне от 1.5 и до 1.8 мм. Функция *rand* (*a*, *b*) возвращает случайное значение в диапазоне от *a* до *b*.

```

SIGNATURA S10 = line ↑0 >-0.75 + line ↑0 >0.75; // автострада

SIGNATURA S11 = // берег обрывистый
{ line ↑0
+ { triangle ↑1.2 →0.6 90 // треугольник 1.2*0.6 мм на 90°
+ empty ↑1.0; // пробел 1 мм
...
}
}

SIGNATURA S12 = // трубопроводы в одной траншее
{ circle *0.8 + empty ↑1.0 + line ↑4.5 + empty ↑1.0 + line ↑4.5 + empty
↑1.0;
...
} > - width (obj)/2; // сдвиг всей сигнатуры влево
// на фактическую величину
+
{ circle *0.8 + empty ↑1.0 + line ↑4.5 + empty ↑1.0 + line ↑4.5 + empty ↑1.0;
...
} > width (obj)/2; // сдвиг всей сигнатуры вправо

```

```

// на фактическую величину
+
{ empty  $\uparrow$ rand (50, 75) + text 90 + empty  $\uparrow$ rand (50,75);
...
}

SIGNATURA S13 = // граница
{ line  $\uparrow$ 2.0 + empty  $\uparrow$ 1.0 + point + empty  $\uparrow$ 1.0 + line  $\uparrow$ 2.0 + empty  $\uparrow$ 0.8;... };

SIGNATURA S14 = // граница по линейному объекту
{
S13  $\uparrow$ rand (20, 30) > -0.5 // определенная ранее сигнатура S13
+ empty  $\uparrow$ rand (15, 20) + S13  $\uparrow$ rand (20, 30) > 0.5;
...
}

```

При вычерчивании некоторых линейных условных знаков существует особенность, которую нужно отметить и учитывать при определении линейных сигнатур. Эта особенность заключается в том, что некоторые элементы линейной сигнатуры могут изменять свою длину, а другие должны сохранять свою длину и ширину неизменными. Примером такой сигнатуры является сигнатура условного знака линии электропередачи: стрелки сохраняют свои размеры, а расстояние между ними может изменяться (см. рис. 10.10).

В редких случаях линейный условный знак конструируется как линейная последовательность полосных сигнатур. Примером может служить условный знак строящегося канала на рис. 10.10.

Приведенные описания линейных сигнатур представляются интуитивно понятными. Если использованных приемов будет недостаточно при описании некоторых линейных сигнатур, то новые приемы и средства можно будет создавать по мере необходимости. Нашей задачей здесь было не исчерпывающее описание всех возможностей языка картографического отображения, а демонстрация основных принципов.

10.9. Площадные сигнатуры

Для построения картографического изображения площадного объекта используются его граница и площадь, занимаемая объектом. Условные знаки границ площадных объектов принципиально ничем не отличаются от линейных условных знаков. Поэтому мы можем рассматривать площадной условный знак как объединение линейного условного знака и собственно площадного условного знака. Сигнатуры линейных объектов были рассмотрены выше. Примеры площадных условных знаков разного типа приводятся на рис. 10.11.

Универсальным способом представления области, занятой площадным объектом, является многоугольник. Если граница объекта в действительности является гладкой кривой, то она может быть аппроксимирована ломаной таким образом, что на карте или плане будет восприниматься как гладкая кривая.

Поэтому далее площадные объекты будем считать произвольными многоугольниками.

Положение, форма и размеры площадного объекта передаются через положение его границы. Семантика условного знака площадного объекта может передаваться с помощью надписи, заливки, штриховки и точечных условных знаков, тем или иным образом рассредоточенных по области, занятой площадным объектом, либо некоторой комбинацией перечисленных способов.

Кварталы и строения



Строения разрушенные



Павильоны



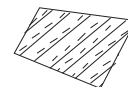
Нефтяные бассейны



Открытые соляные разработки



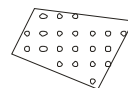
Огороды



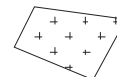
Загоны для скота



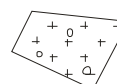
Фруктовые сады



Кладбища



Кладбища с редколесьем
и отдельными деревьями



Болота проходимые



Кустарник с редколесьем
по вырубке

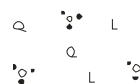


Рис. 10.11. Примеры площадных сигнатур

Рассмотрим примеры сигнатур площадных условных знаков, представленных на рис. 10.11, и дадим их описание. Изображение квартала со строениями является наложением одних площадных условных знаков на другие и никаких проблем не представляет.

Параметрами штриховки являются: тип линий (то есть линейная сигнатура), их толщина, расстояние между линиями и их ориентация. В общем случае штриховка может рассматриваться как совокупность линейных сигнатур.

Для описания сигнатур, заполняющих область площадного условного знака, введем вспомогательные графические переменные:

– *orient* – направление линейных сигнатур, выражаемое в градусах и отсчитываемое по часовой стрелке от направления на север; по умолчанию предполагается *orient* = 0;

– *step* – величина шага в миллиметрах по направлению, ортогональному *orient*; по умолчанию предполагается *step* = 1; иначе, *step* – это величина смещения следующей линейной сигнатуры;

– *grid* – сторона воображаемой сетки квадратов в миллиметрах, в узлах которой могут размещаться точечные сигнатуры; инициализируется значением 1;

– *chess* – величина шага при шахматном размещении заполняющей сигнатуры, инициализируется начальным значением 1.

Перечисленные переменные играют роль вспомогательных параметров и предназначены для описания всей области площадного условного знака, его общей организации и структуры.

Сетка квадратов и шахматная сетка мыслятся как невычерчиваемые сигнатуры, следовательно, к ним применимы все линейные сигнатурные операции (поворот, растяжение, перенос...). Поэтому шахматная сетка не является необходимой, поскольку ее можно получить разворотом квадратной сетки на 45°. Но она может быть определена и использована как более понятный и лаконичный способ записи. Можно заметить, что для размещения заполняющей сигнатуры часто используется регулярная сетка. Если заполняющая сигнатура используется для отображения естественных объектов, то регулярная сетка искажается случайными и незначительными по величине возмущениями. Примеры определения заполняющих сигнатур приводятся ниже.

```
orient = 0; // может быть опущено
step=1;
SIGNATURA S15a = line ↑0; // вертикальные линии
orient = 90;
SIGNATURA S15b = line ↑0; // горизонтальные линии
SIGNATURA S15 = // открытые соляные разработки
{ S15a + S15b; ...
}
```

```
orient = rand (10, 80); step = 0.5;
SIGNATURA S16a = line ↑0;
step = 1.0;
SIGNATURA S16b = { line ↑2.0 + empty ↑2.0; ... };
step = 2.0;
SIGNATURA S16 = // огород
{ S16a + S16b; ...
}
```

```
SignCar = grid *3.0; // сигнатура-носитель
```

```

SIGNATURA S17 =                                // фруктовые сады
{ circle *0.6; ...;
}

SignCar1 = chess * 5;                          // сигнатура-носитель
SIGNATURA S18 =                                // кладбища
{ cross *2; ...                                // крест
}

SignCar1 = grid *1;
SIGNATURA S19 =                                // строение разрушенное
{
  S19 = { point  $\wedge$  rand (0,1) > rand (0, 1); ... };
}

SIGNATURA S20 =                                // точечная сигнатура “куст”
{ circle *0.6 +
  { circle *0.4  $\wedge$  (1.0 + rand (0.0, 0.2)
    + circle *0.4  $\wedge$  (1.0 + rand (0.0, 0.2)  $^\circ$ (120 + rand (-15, 15))
    + circle *0.4  $\wedge$  (1.0 + rand (0.0, 0.2)  $^\circ$ (240 + rand (-15, 15));
    }  $^\circ$  rand (0, 180);
}

```

Данную сигнатуру можно описать короче, предварительно определив другую сигнатуру.

```

SIGNATURA a = circle *0.4  $\wedge$ (1.0 + rand (0.0, 0.2);
SIGNATURA S20 =                                // короткое определение S20
{ circle *0.6 +( a + a  $^\circ$ (120 + rand (-15, 15)) + a  $^\circ$ (240 + rand (-15, 15))
  )  $^\circ$ rand (0, 180);
}

SignCar1 = grid *10.0;
SIGNATURA S21 =                                // кустарник
{ S20  $\wedge$  rand (-3.0, 3.0) > rand (-3.0, 3.0);...
}

SIGNATURA S22 = circle *1.1+ line  $\uparrow$ 1.1 $^\circ$  90;
// точеч. сигнатура “редкослесье”
SIGNATURA S23 = line  $\uparrow$ 1.2 + line  $\uparrow$ 0.6 $^\circ$  90;
// точечная сигнатура “вырубка”
SignCar1 = grid *13;                          // сигнатура кустарника
SIGNATURA S24a = { S21;... }                  // на более крупной сетке
SignCar1 = grid * 20 >5;                      // сигнатура редколесья
SIGNATURA S24b = { S22 > rand (0, 3)  $\wedge$  rand (0, 3); ... }

```

```
SignCar1 = grid * 20 > 15;      // сигнатура вырубленного леса  
SIGNATURA S24c = { S23 > rand (0, 3) ^ rand (0, 3);... }
```

```
SIGNATURA S24=                  // кустарник с редколесьем по вырубке  
{ S24a + S24b + S24c;...  
}
```

В приведенных примерах определения заполняющих сигнатур следует обратить внимание на то, что они представляют собой последовательности даже тогда, когда выводится символ одной сигнатуры в узлах сетки квадратов, как это имеет место для сигнатур сада, кладбища или разрушенного строения. Признаком такой последовательности является эллипсис «...». Порядок вычерчивания отдельных сигнатур в узлах сетки для картографа безразличен и может определяться в процессе реализации.

Некоторые проблемы возникают при создании сигнатуры «болото проходимое». Условный знак проходимых болот представляет собой отрезки горизонтальных линий, пробелы между которыми имеют причудливую форму. Типичное решение задачи построения сигнатуры «болото проходимое» заключается в том, что предварительно создается изображение такого болота в виде прямоугольника фиксированного размера (например 5×5 или 10×10 см), а затем это изображение подставляется нужное число раз, при этом лишние элементы изображения отбрасываются.

Альтернативный и более эффективный способ создания сигнатуры условного знака проходимых болот заключается в следующем. Основой для его построения является сигнатура условного знака непроходимых болот (рис. 10.12, а), на которую налагается сеть не менее причудливых осевых линий полос переменной ширины (рис. 10.12, б, в). Программным путем под этими полосами сплошные линии вычищаются, в результате чего и получаем корректное изображение условного знака проходимых болот (рис. 10.12, г). Данная операция может выполняться и в интерактивном режиме. Аналогичным путем может быть построена сигнатура проходимых солончаков, представляющая собой сигнатуру проходимых болот, развернутую на 90° .

Хотя выше говорилось о нежелательности изменения и упрощения условных знаков, некоторые из них действительно сложно представить на языке описания картографических изображений. К числу таких знаков можно отнести условный знак скал (рис. 10.13). Мы говорим здесь об условном знаке не конкретных скал, а о представлении условного знака любых скал, по которому программа смогла бы построить их корректное картографическое изображение. Стремление придать условному знаку скал некоторую «художественность» имеет своим результатом возможность вывешивать условные знаки скал в картинных галереях рядом с полотном К. Малевича «Динамический супрематизм», но представить его формальное описание если и возможно, то очень сложно.

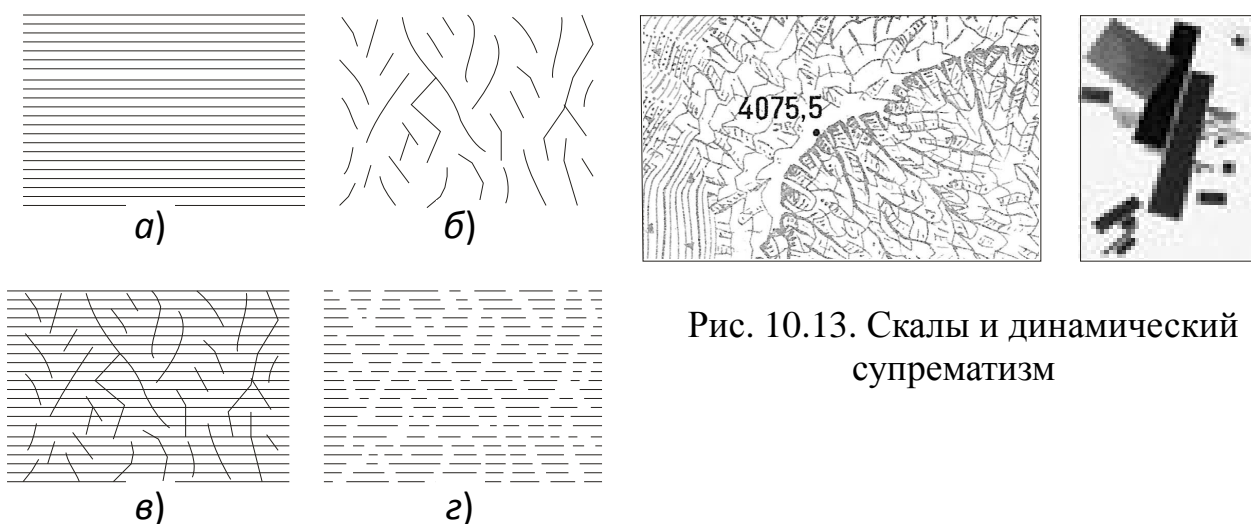


Рис. 10.13. Скалы и динамический супрематизм

Рис. 10.12. К созданию
сигнатуры «болото проходимое»

10.10. Полосные сигнатуры

Сигнатуры полосных условных знаков или *полосные сигнатуры* являются наиболее сложными по своей структуре. В отличие от площадных объектов, для изображения внутренних и внешних границ которых используется одна и та же сигнатура, полосные объекты и их условные знаки имеют две границы. При этом для изображения левой и правой границ полосного объекта нередко используются разные сигнатуры. Целью такого приема или способа является отображение *неоднородности* полосных объектов, о которой говорилось в предыдущей главе, и указание их направленности. И если границы площадного объекта являются замкнутыми линиями, то граница полосного объекта представляет собой две разомкнутые линии, которые иногда могут сходиться или выходить из одной точки. Область, занимаемая полосным объектом, может закрашиваться каким-либо цветом, оставаться пустой либо заполняться некоторой точечной или линейной сигнатурой.

Типичным полосным объектом является откос. На рис. 10.14 представлены сигнатуры условных знаков топографических карт масштаба 1 : 10 000 для дорог в выемках и по насыпям, а также отвалов и терриконов. Но фактически это условный знак одного объекта – откоса, отсутствующий в указанном нормативном документе в явном виде. Рассматривая карту, человек видит соседние элементы изображения в совокупности, «собирает» из них образы целостных объектов геопространства, при необходимости восполняя отсутствующие элементы изображенных объектов, как например, низ откоса или верх насыпи. Это возможно потому, что в памяти человека хранится абстрактный образ целостных объектов геопространства.

Дороги в выемках	
Дороги по насыпям	
Мосты однопролетные	
Отвалы и терриконы	
Овраги и промоины	
Осыпи рыхлых пород	
Осыпи твердых пород	
Реки и ручьи	
Каналы наземные бетонированные	
Береговые отмели и мели	
Берега опасные	
Пороги	
Шлюзы	
Молодые посадки леса	

Рис. 10.14. Сигнатуры полосных знаков

Аналогичная ситуация «с умолчанием» некоторых элементов индивидуальных объектов имеет место при изображении условного знака моста (рис. 10.14). Условный знак железной дороги вычерчивается до моста и обрывается. Но это не значит, что железная дорога по мосту не проходит. Это всего лишь одна из картографических условностей или картографических традиций. Теперь представим, что железная дорога действительно не проходит по мосту, а только доходит до него. Тогда мы не сможем отличить мост с железной дорогой от моста без такой дороги. К сожалению, при создании цифровых топографических карт дороги и мосты нередко именно так, то есть с разрывом, и представляются. Человек обладает большим запасом знаний об эмпирических объектах и в состоянии правильно интерпретировать условные знаки. Однако, этого нельзя сказать о компьютерах. Чтобы машина могла также правильно трактовать тот или иной условный знак или их сочетания, необходимо:

- либо создать базу машинных знаний об объектах геопространства, объем которой должен быть сравним с объемом человеческих знаний,
- либо создавать геоинформационные модели, свободные от картографических условностей.

Но мы сейчас обсуждаем не способы представления объектов в памяти компьютера и не проблему создания корректной системы условных знаков объектов геопространства, а проблему их компьютерного представления и построения картографического изображения в соответствии с действующими условными знаками.

Рассмотрим полосные сигнатуры, изображенные на рис. 10.14. Первые четыре сигнатуры представляют собой одну сигнатуру, с помощью которой изображаются откосы. Особенность этой сигнатуры при изображении отвалов в том, что она образует кольцевую структуру. Более того, верхняя бровка откоса может вырождаться в точку, что мы можем видеть при изображении терриконов, в действительности имеющих конусообразную форму. Таким образом, террикон представляет собой откос, одна из сторон которого (верхняя бровка) вырождена в точку. Используемая для его изображения полосная структура подчеркивает неоднородность эмпирического объекта.

Из данного примера можно сделать два вывода. Во-первых, мы должны задуматься над тем, как мы мыслим объекты. Если для некоторых элементов условного знака дороги по насыпи и дороги в выемке использовать условный знак откоса, то картографическое изображение не изменится. Современные благоустроенные дороги обязательно имеют насыпь (балластную призму), даже тогда, когда дорога располагается в выемке. Таковы требования строительных норм. Поэтому проще на средне- и мелкомасштабных картах не изображать невыражающиеся в масштабе карты насыпи под дорогами (в виде откоса), а только показывать их высоту в виде численной характеристики, как это делается иногда и сейчас. Мимоходом можно отметить, что требования к отбору отображаемых элементов иногда вызывают сомнения. Например, на топографических картах масштаба 1 : 50 000 требуется показывать трубы под дорогами, но некоторые дороги могут не изображаться (вместе с трубами под ними). Таким образом, труба под дорогой иногда оказывается более важным объектом, чем другая дорога.

Во-вторых, каким образом мы должны представлять объекты геопространства? Очевидно, что сложные объекты мы должны расчленять на элементарные объекты. Человек в состоянии домысливать недостающие на карте элементы сложных объектов, отдельные экземпляры которых он встречал в реальном мире, но едва ли мы достигли той точки, когда можем предъявлять такие же требования к компьютеру.

Характерной особенностью сигнатуры «мост» на рис. 10.14 является то, что ее «усы» не могут изменяться; может изменяться длина и ширина моста, но «усы» сохраняют свою длину и ориентацию относительно оси изображаемого моста. Следовательно, для представления некоторых элементов сигнатур может потребоваться использование спецификатора *const*, указывающего на то, что их размеры или ориентация не изменяются.

Сложность вычерчивания сигнатуры условного знака оврага состоит в том, что треугольники, расположенные на противоположных склонах оврага, не должны пересекаться. К сожалению, удовлетворить это условие при действующих требованиях к выполнению топографической съемки и представлению ее результатов довольно трудно. Дело в том, что при топографической съемке в средних масштабах снимается только верхняя бровка оврага, а в некоторых местах определяется и подписывается глубина оврага. Предполагается, что человек, пользующийся картой, в состоянии домыслить необходимые элементы оврага. По этим данным можно построить корректное изображение оврага в условных знаках как элемента ситуации, но его модель как элемента топографической поверхности будет некорректной. Для корректного решения последней задачи необходимо выполнить съемку всех структурных линий оврага. Такие структурные линии изображены на рис. 10.15, где верхняя бровка оврага показана непрерывной линией, а все прочие структурные линии – пунктиром.

Другой особенностью сигнатуры «овраг» является уменьшение размеров треугольников, изображающих обрыв, при движении вверх по оврагу или вверх по его отрогам.

Для решения задачи построения условных знаков оврагов, откосов и других подобных им условных знаков полосных объектов может оказаться полезным использование триангуляции, покрывающей полосной объект примерно таким образом, как это представлено справа на рис. 10.15.

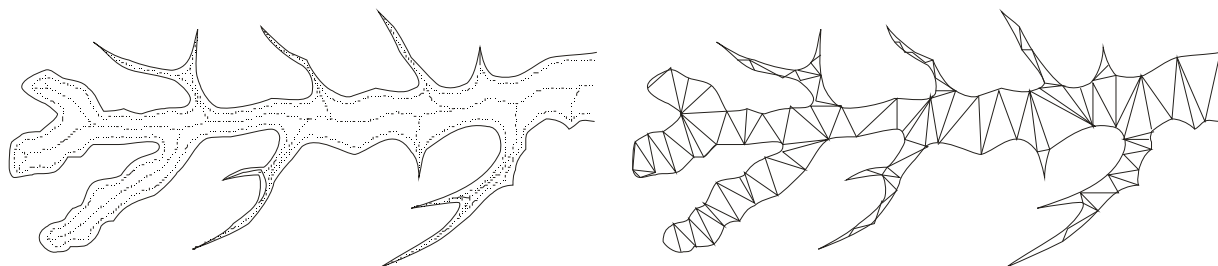


Рис. 10.15. Структурные линии и триангуляция оврага

Сигнатура условного знака «осыпи рыхлых пород» передает неоднородность полосного объекта с помощью уменьшения размеров заполняющей сигнатуры (точки) по мере удаления от верхнего края осыпи. Аналогичный прием использован при создании условного знака «береговые отмели», в котором размеры точек и их плотность уменьшаются с удалением от береговой линии. Подобные сигнатуры полосных условных знаков представить в виде аналитических выражений не представляет большого труда. Более трудной является сигнатура условного знака «осыпи твердых пород», в которой заполняющие треугольники могут несколько уменьшаться к краю осыпи, а по самому низу осыпи треугольники сменяются точками. Но эта задача также решается, если соотношение между числом точек и треугольников представить как функцию расстояния от верха осыпи.

Сигнатура условных знаков для рек, выражающихся в масштабе карты, имеет ту особенность, что может распадаться на рукава, некоторые из которых

могут вырождаться в линейные сигнатуры. Но в реальности распадающаяся на рукава река представляет собой один эмпирический объект. Отсюда следует, что наилучшим способом представления объектов геопространства являются топологические структуры геометрических данных. Но условные знаки нам удобнее мыслить с объектной точки зрения. Тогда два рукава одной реки могут быть отображены с помощью двух полосных сигнатур, примыкающих друг к другу. В данном случае необходима разработка функции на языке программирования, которая в случае необходимости будет разбивать реки на отдельные участки или рукава так, как показано на рис. 10.16 справа. Разбиение полосного объекта может осуществляться через построение цепи треугольников. Хотя разделение сложного полосного объекта на более простые не имеет непосредственного отношения к формальному описанию сигнатур полосных объектов, данное обстоятельство необходимо учитывать при разработке программного обеспечения системы картографического отображения.



Рис. 10.16. Пример разбиения полосного объекта

Сигнатура условного знака «берега опасные» характерна тем, что в ней одна сигнатура (точка) располагается по другой сигнатуре – некоторой кривой, которую мы можем представить как деформированную случайным образом окружность. При этом первая сигнатура (точка) отображается, а вторая сигнатура (кривая) не отображается. Подобный прием мы уже встречали при описании сигнатур площадных знаков, когда та или иная сигнатура размещалась на невидимой сетке квадратов или в шахматном порядке. Таким образом, размещение одной сигнатуры по другой является часто используемым способом. Поэтому мы можем его обобщить как абстрактный класс «сигнатура-носитель», а затем создать конкретные виды неотображаемых сигнатур: сетку квадратов, сетку равносторонних треугольников, шахматную разграфку, окружность или дугу окружности и т. п.

Сигнатура «берега опасные» интересна еще и тем, что одна сигнатура-носитель (дуга деформированной полуокружности) в свою очередь располагается по другой сигнатуре-носителю (шахматной сетке). Более сложные сочетания сигнатур-носителей, вероятно, не встречаются, поскольку их сложно вообразить. Задачу многократного наложения сигнатур можно сравнить с задачей описания положения мухи в пространстве. Муха ползает произвольным образом по фуражке адмирала, который крутит головой в разные стороны, сидя в автомобиле. Автомобиль при этом перемещается по палубе авианосца, следующего собственным курсом. Обе задачи с некоторыми затруднениями, но все-таки решаются.

Способ построения сигнатуры «берега опасные» и любых других подобных ей сигнатур поясняется на рис. 10.17. Первоначально строится сигнатура-носитель в виде сетки квадратов со стороной, равной 1. Если требуется сетка с другим

шагом, в том числе с разными шагами по осям x и y , то в дальнейшем может быть выполнено соответствующее масштабирование единичной сетки. В действительности построение сетки квадратов сводится к хранению координат одного из ее углов и числа узлов по осям координат. Иными словами, сетка квадратов хранится в параметрическом виде. Затем на этой сетке в шахматном порядке размещается сигнатура-носитель «полуокружность» (рис. 10.17, *а*), на которой с равным шагом размещается заполняющая сигнатура, в данном случае – «точка».

Заполняющая сигнатура также хранится в параметрическом виде, то есть как число точек, равномерно размещаемых на полуокружности, либо как длина отрезка между двумя соседними точками или величина центрального угла. Чтобы придать сигнатурам менее регулярный характер, число точек, размещаемых на полуокружности, может изменяться случайным образом на ± 1 . Вместо сигнатуры-носителя «полуокружность» может использоваться сигнатура «парабола».

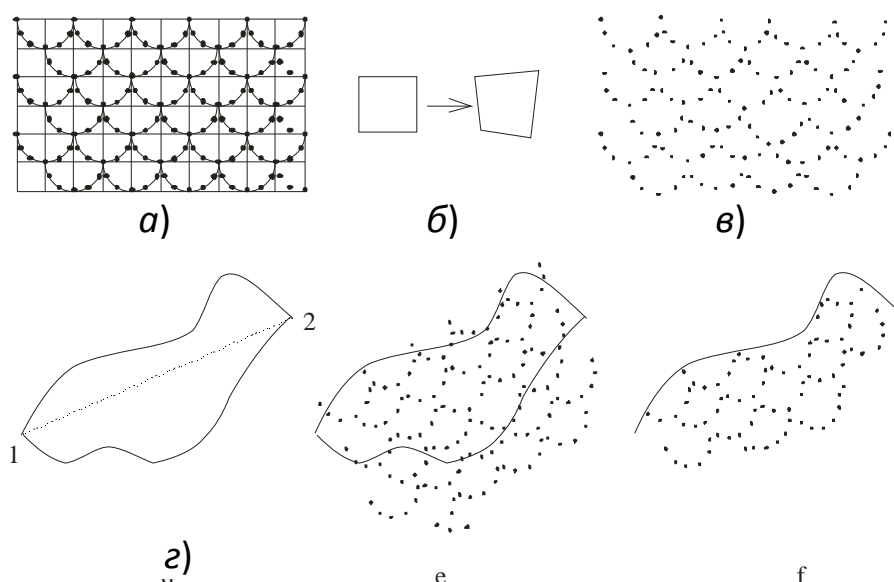


Рис. 10.17. Пример использования двух «сигнатур-носителей»

Затем осуществляется «зашумление» сетки квадратов, то есть искажение координат x и y всех ее узлов на некоторую малую случайную величину, равную, например, величине в диапазоне от -0.2 до 0.2 стороны квадрата. Указанные смещения хранятся в виде матриц. После этого выполняется отображение каждого квадрата на соответствующий четырехугольник с помощью билинейного преобразования (рис. 10.17, *б*). В соответствии с полученными коэффициентами билинейного преобразования осуществляется вычисление координат каждой размещаемой сигнатуры и их запоминание (рис. 10.17, *в*). Билинейные преобразования были описаны в главе 8. Перечисленные процедуры могут быть выполнены один раз для всего множества индивидуальных объектов «берег опасный» либо повторяться для каждого объекта.

Чтобы отрисовать конкретный опасный берег, границы которого представлены на рис. 10.17, *г*, развернем сигнатуру параллельно замыкающей береговой линии (прямая 1-2 на рис. 10.17, *г*) и осуществим ее наложение на

площадь опасного берега (рис. 10.17, *д*). После отсечения элементов сигнатуры, выходящих за пределы полосного объекта, получим рис. 10.17, *е*. Результат не идеален, но может считаться приемлемым. При необходимости может осуществляться интерактивная доработка сигнатуры конкретного объекта. Для ее выполнения на экран могут выводиться сигнатуры-носители, которые также могут корректироваться.

Другой способ построения сигнатуры полосного условного знака заключается в использовании ломаной, аппроксимирующей одну из сторон полосного объекта, в частности – береговую линию (рис. 10.18, *б*). Параллельно этой стороне проводятся полосы постоянной ширины (рис. 10.18, *в*). В общем случае ширина полос в поперечном направлении полосного объекта может не быть постоянной, а изменяться по линейному закону либо другим образом. В каждой полосе с помощью билинейных преобразований производится укладка линейной сигнатуры, изображенной на рис. 10.18, *г*. Результат перечисленных операций представлен на рис. 10.18, *е*.

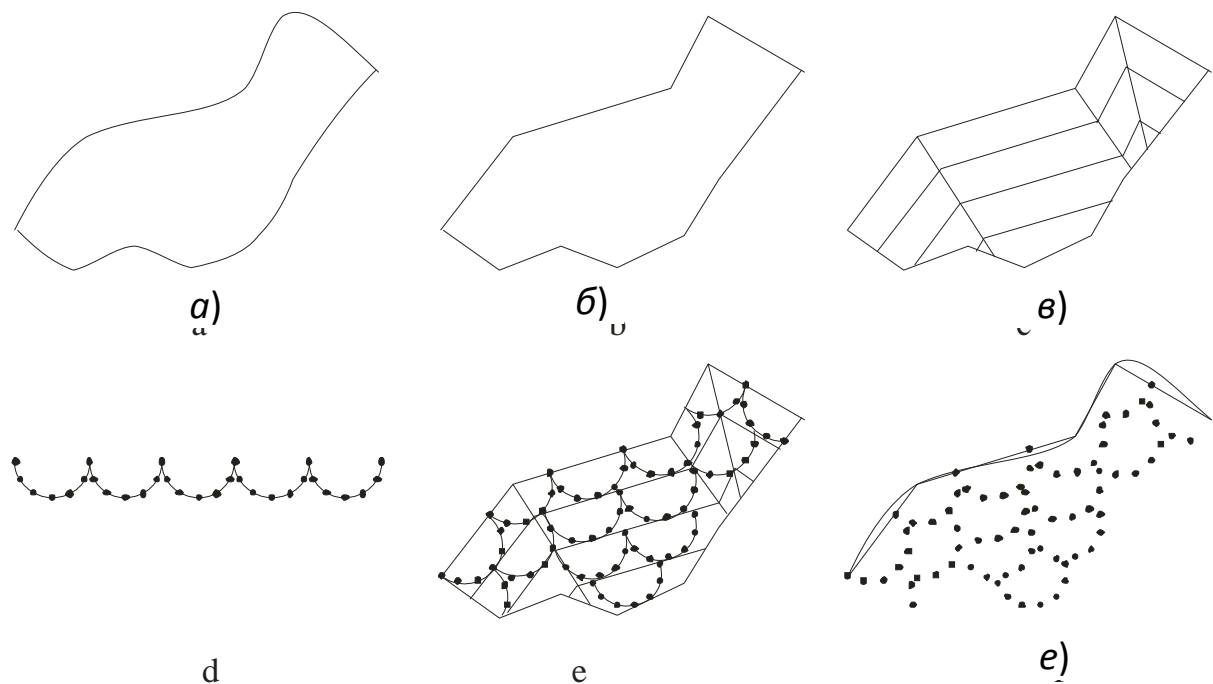


Рис. 10.18. Альтернативный вариант построения сигнатуры

Такой способ построения полосной сигнатуры также не гарантирует безупречного качества. Поэтому в некоторых случаях могут использоваться те или иные топологические преобразования. Один из примеров такого преобразования рассматривается ниже.

Пусть требуется отобразить квадрат с диагональю d в круг такого же диаметра. На рис. 10.19, *а* для наглядности квадрат разбит на 16 малых квадратов, а результат преобразования представлен на рис. 10.19, *б*, где показаны образы 25 точек исходного квадрата.

В данном случае отображение квадрата на круг осуществляется следующим образом. Центры квадрата и круга совмещаются с началом системы

координат (рис. 10.19, в). Чтобы отобразить произвольную точку p квадрата в круг, отыскивается точка пересечения a прямой Op со стороной квадрата. Координаты X и Y точки P , являющейся образом точки p , определяются по формулам

$$X = \frac{d}{r} x;$$

$$Y = \frac{d}{r} y,$$

где r – расстояние от точки a до центра квадрата; d – диаметр окружности; x и y – координаты точки квадрата. Данное преобразование является непрерывным, поскольку r является непрерывной функцией. Для наглядности квадрат можно представить нарисованным на эластичной пленке, которая затем растягивается таким образом, чтобы стороны квадрата совпали с окружностью.

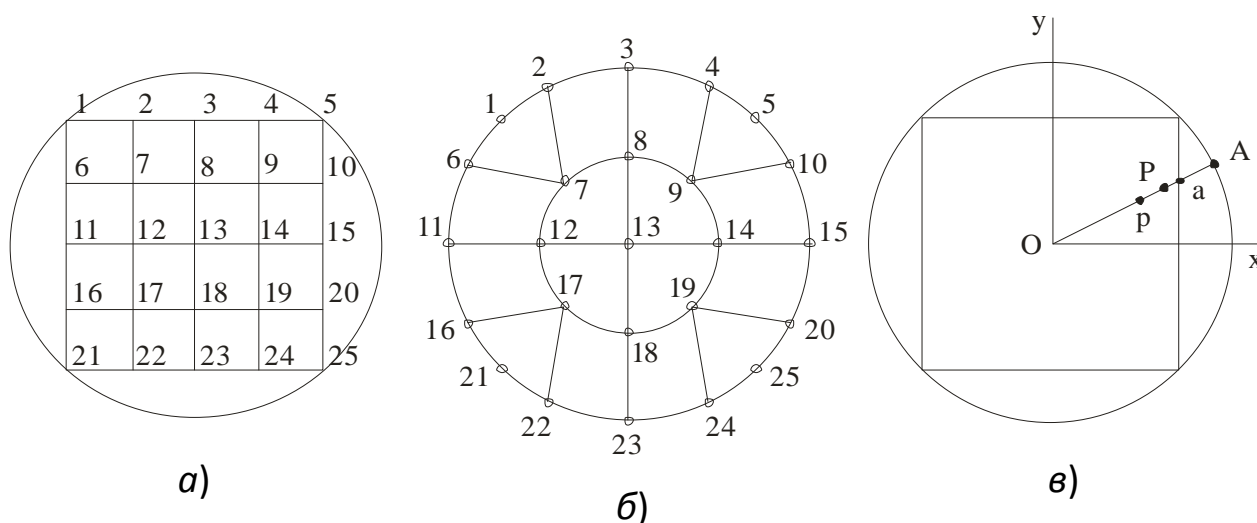


Рис. 10.19. Пример топологического преобразования

Обычно границы криволинейных объектов аппроксимируются с помощью алгебраических полиномов невысокой степени. Поэтому топологические отображения сигнатур чаще всего будут такими, когда сигнатура-прообраз является треугольником или прямоугольником, а сигнатура-образ ограничена с одной стороны полиномом, а с других сторон – отрезками прямых.

По поводу линейных, билинейных, топологических или случайных преобразований сигнатур следует также сказать, что необходимо различать случаи преобразования размещаемых сигнатур, сигнатур-носителей, а также тех и других.

Сигнатура «пороги» очень проста, границы порогов не отображаются, а занимаемая ими площадь покрыта в хаотичном порядке треугольниками произвольных размеров и ориентации. Но все-таки пороги являются полосными, а не площадными объектами. Чтобы убедиться в этом, рассмотрим генерализацию порогов при переходе к более мелкому масштабу. В результате такой генерализации пороги будут представлены как линейный объект.

Указанное свойство является критерием для разделения объектов на площадные и полосные. Площадные объекты при генерализации либо исчезают, либо вырождаются в точку. Полосные объекты либо также исчезают, либо трансформируются в линейные. Площадные объекты при генерализации не могут вырождаться в линейные.

Сигнатура условного знака шлюза представляет собой составной объект, поскольку таковым является соответствующий объект геопространства. Шлюз имеет одну или более камер (полосной объект) и ворота (линейный объект), число которых на 1 больше, чем число камер. Таким образом, сигнатура условного знака шлюза представляет собой сочетание полосной и линейных сигнатур. Сигнатуры условного знака камеры и ворот могут быть легко представлены на языке картографического отображения.

Сигнатура «посадки леса» является сочетанием сигнатуры границы площадного объекта, что является редким исключением, и сигнатуры полосного (или линейного) объекта.

Если вернуться к рис. 10.10, то на примере сигнатуры условного знака строящегося канала можно заметить, что повторяемым элементом линейной сигнатуры может быть полосная сигнатура. Таким образом, с одной стороны, линейная сигнатура может включать в качестве компонента полосную сигнатуру, с другой стороны, линейная сигнатура часто используется как элемент полосной. Поэтому отношения между абстрактными линейными и полосными сигнатурами не являются иерархическими. Но реализация сигнатур конкретных условных знаков через указатели на абстрактный класс каких-либо затруднений не вызывает.

Из анализа сигнатур полосных объектов следует, что полосную сигнатуру необходимо рассматривать как составной объект, включающий левую и правую границы и область полосного объекта. Если пользоваться нотацией Бэкуса – Наура, то формально сигнатуру полосного объекта можно определить как

<полосная сигнатура> ::= [<сигнатура левой границы>] [<сигнатура правой границы>] [<заполняющая сигнатура>].

В некоторых случаях одна из сигнатур полосного условного знака может быть вырожденной.

Ниже приводятся примеры описания некоторых сигнатур полосных условных знаков.

```
SIGNATURA S25 =                                     // мост
{ BorderL = (line ^1.5 ^225 + line ^length + line ^1.5 ^315) > -0.5*width;
  // сигнатура левой границы
  BorderR = (line ^1.5 ^45 + line ^length + line ^1.5 ^135) > 0.5* width;
  // сигнатура правой границы
  Area = null;
}
```

Из данного примера следует, что отрисовка сигнатуры может начинаться только после обработки всего сигнатурного выражения. Основанием для такого

утверждения являются линейные операции смещения сигнатур, стоящие после закрывающей круглой скобки и указывающие на то, что вся сигнатура в скобках сдвигается влево или вправо.

```

SIGNATURA S26 =                                     // камера иллюза
{   BorderL = line ↑length > -0.5* width;           // сигнатура левой границы
    BorderR = line ↑length > 0.5* width;             // сигнатура правой границы
    Area = null;
}

```

```
SIGNATURA S27 = // река в две линии
{ BorderL = line ↑length >-0.25;
  BorderR = line ↑length >0.25;
  Area = null;
}
```

```

SIGNATURA S28 = // река в одну линию
{ BorderL = line ↑length >-linter (0.0, 0.2);
  BorderR = line ↑length >linter (0.0, 0.2);
  Area = null;
}

```

Сигнатура реки, вычерчиваемой в одну линию, может рассматриваться как линейная, но мы ее рассматриваем как полосную на том основании, что на ее протяжении толщина линии изменяется непрерывным образом от 0.1 до 0.5 мм. По указанной причине положение сигнатуры левой и правой береговой линии смещается в соответствующую сторону от осевой линии. Величина смещения определяется линейной интерполяцией, для чего используется функция *linter* (*a*, *b*).

При реализации такой сигнатуры могут возникнуть некоторые проблемы, связанные с семантикой формального выражения, поэтому можно дать другое описание сигнатуры «река в одну линию переменной толщины».

```

SIGNATURA S29 = // река в одну линию
{ BorderL = { line ↑1.0 >-linter (0.0, 0.2); ... };
  BorderR = { line ↑1.0 >linter (0.0, 0.2); ... };
  Area = null;
}

```

Очевидно, что программа отрисовки сигнатур должна знать длину линейного или полосного объекта и положение текущей точки на линии. Длина линейного объекта должна использоваться как фактический аргумент при обращении к некоторым функциям.

SIGNATURA S30= // берега опасные
*{SignCar1 = Grid*5;*

```

SignCar2 = Arc (5, 90, 270);
n = rand (5, 7);
BorderL = null;
BorderR = null;
Area = null;
! n { Area = (Area + point >5 ) °(-90 / n) °(180 / n)};
}

SIGNATURA S31 = // откос
{ BorderL = { line ^length +
               { line ^90 ^0.5*width; // короткий штрих
               + empty ^1.5; // пробел
               + line ^90 ^*width; // длинный штрих
               ...
             };
      };
  BorderR = { empty ^0.5 + {point + empty ^1.0; ... };
  Area = null;
}

SIGNATURA S32 = // отмель
{ BorderL = null;
  BorderR = null;
  SignCar = Grid*1.5;
  Area = circle >rand (-0.2, 0.2) ^ rand (-0.2, 0.2)*linter (0.3, 0.1, width, y);
}

```

10.11. Правила описания и геометрические образы объектов

Здесь необходимо сделать одно важное отступление и сказать о «правилах описания объектов», поскольку эти правила имеют прямое отношение к вычерчиванию условных знаков. Документ под названием «Правила цифрового описания объектов» обычно дополняет классификаторы топографической или картографической информации. Необходимость в таких правилах возникает в основном в связи с тем, что объекты геопространства разработчиками программного обеспечения мыслятся или представляются неадекватно. В качестве примера рассмотрим такой не очень сложный объект как откос.

Пусть требуется отрисовать условный знак откосов, изображенных на рис. 10.20, а. В известных программных продуктах и их классификаторах откос трактуется как простой площадной объект, то есть так, как представлено на рис. 10.20, б. При заданных условиях построить корректное картографическое изображение откоса в принципе нельзя, так как совершенно непонятно, где низ и где верх откоса. Но необходимость вычерчивания условного знака откоса существует, поэтому разработчики программных продуктов вводят так называемые «правила цифрового описания объектов». Подобные правила представляют собой некоторые условности или соглашения о порядке

представления данных. Эти решения произвольны, но в каждой программной системе строго фиксированы. Однако, подобные требования могут быть оправданы только с точки зрения рационализации процессов сбора данных.

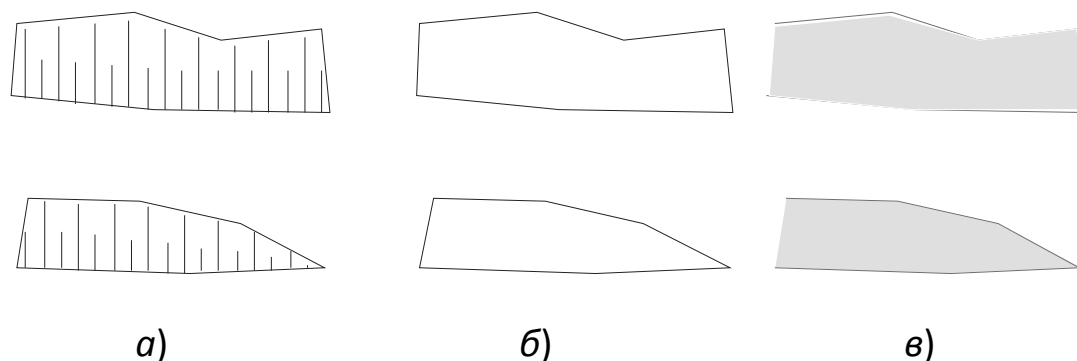


Рис. 10.20. К правилам описания объектов

В примере с откосом один программист может принять решение о том, что вначале представляется верхняя бровка откоса, а затем его низ. Другой программист может принять другое решение. Возможно, что одна программа будет требовать, чтобы направление «вниз» при обходе откоса было справа, а другая – слева. При обходе откоса в «неправильном» направлении штрихи условного знака будут отрисованы неправильно, вывернуты в противоположную сторону. Поэтому представленное выше описание сигнатуры условного знака откоса (*S31*), на первый взгляд корректное, в действительности таковым не является. Оно будет правильным тогда и только тогда, когда обход откоса осуществляется таким образом, что его верхняя бровка является левой границей полосного объекта.

Проблема заключается в том, что такие случайные решения узакониваются в системах геомоделирования. Каждая геоинформационная система в состоянии строить картографическое изображение только при безусловном выполнении всех подобных ограничений. При передаче данных в другую ГИС требуется переструктуризация геометрических данных.

Правила описания объектов в некоторых случаях составляют несколько десятков страниц. Исполнители должны знать эти правила. При переходе из одной ГИС в другую нередко возникают недоразумения и ошибки, поскольку исполнители вынуждены переходить от одной системы условностей к другой. Указанное обстоятельство негативным образом сказывается на производительности труда исполнителей, стоимости и качестве получаемых геоинформационных моделей.

От перечисленных недостатков можно почти полностью избавиться, если правильно представлять объекты. Под правильным представлением мы здесь понимаем представление сложных объектов как состоящих из более простых, а также использование топологических структур данных. Если вернуться к примеру с откосом, то его корректное представление дано на рис. 10.20, в, где полосной объект «откос» есть совокупность трех простых объектов, два из которых – линейные (верхняя и нижняя бровки), а третий площадной – «тело» или область откоса. При подобном представлении исчезает необходимость в использовании каких-либо особых «правил описания», поскольку абсолютно

безразлично, в каком порядке первоначально следовали данные и как они располагаются в компьютерной памяти. Равным образом отсутствуют проблемы с вычерчиванием условного знака, так как программным путем несложно установить соответствие между элементами составного объекта и элементами условного знака. Данное замечание особенно справедливо при использовании топологического представления геометрических данных.

При создании векторных моделей объектов геопространства следует стремиться к максимально возможному сокращению «правил описания объектов». Их использование означает фиксированный порядок следования (перечисления) элементов сложных объектов, что не всегда желательно. Кроме того, любой фиксированный порядок обязательно вызовет недовольство разработчиков тех или иных программных продуктов. Возможно, что полностью избавиться от правил описания объектов не удастся. Как нам представляется, объем таких правил в идеале не должен превышать половины машинописной страницы. В числе таких ограничений можно оставить, например, правило представления водотоков «сверху – вниз» и т. п.

По мнению автора, может оказаться полезным представление геометрической структуры типичных образцов объектов, создание своеобразной библиотеки темплетов или макетов. Такая *библиотека темплетов* – это машинный аналог той совокупности образов объектов геопространства, что хранится в памяти человека. При создании систем гео моделирования прилагаются значительные усилия на представление семантической информации, но представлению геометрических данных не уделяется должного внимания. Возможно, именно по этой причине подавляющая часть ошибок в геопространственных данных связана с некорректным представлением топологии объектов.

Библиотека темплетов предназначена для хранения информации о пространственной структуре составных объектов, взаимном плановом положении их компонентов и топологических отношениях между различными типами объектов предметной области. Объекты при этом характеризуются в первую очередь своей размерностью или пространственной локализацией. В зависимости от типа пространственной локализации можно выделить следующие типы бинарных отношений между объектами и положение одного объекта относительно другого (табл. 10.5). Также можно разработать несколько более детальные отношения.

Таблица 10.5. Отношения между объектами разных типов локализации

Типы объектов	Точечный	Линейный	Площадной	Полосной
Точечный	Совпадающий Несовпадающий	Внешний Граничный (концевой) Внутренний	Внешний Граничный Внутренний	Внешний Граничный Внутренний
Линейный		Внешний Параллельный Пересекающий Совпадающий	Внешний Примыкающий Граничный Пересекающий Внутренний	Внешний Примыкающий Граничный Пересекающий Внутренний
Площадной			Внешний Смежный Пересекающий Совпадающий Внутренний	Внешний Смежный Пересекающий Совпадающий Внутренний
Полосной				Внешний Смежный Пересекающий Совпадающий Внутренний

В табл. 10.5 объекты рассматриваются как точечные множества. Из нее следует, что бинарные отношения между двумя геометрическими объектами могут быть выражены через отношение принадлежности некоторых точек. Если говорить точнее, то изучаемые отношения сводятся к существованию или отсутствию общих точек между двумя объектами. Тогда можно прийти к выводу, что для этого достаточно учитывать только размерность объектов, а тип локализации можно игнорировать.

Очевидно, что необходимо перечислять только те пары объектов, которые связаны друг с другом конструктивно, а рассматривать случайно расположенные пары объектов не имеет смысла. Далее пары объектов будем представлять как $m - n$, где m и n – размерность объектов, которая может принимать значения 0, 1 и 2. Примеры возможных сочетаний объектов различной размерности приводятся на рис. 10.21.


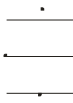
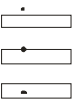






















m	n		
	0	1	2
0			
1		     	        
2			      

Рис. 10.21. Наличие общих точек

В простейшем случае два объекта нулевой размерности, то есть две точки, могут совпадать или не совпадать, другие варианты исключены. Примером совпадающих объектов могут служить столб и уличный фонарь или прожектор на столбе. Противоположным примером являются мачта и растяжки (изображаемые на планах крупного масштаба) или опоры ЛЭП, которые никогда не могут совпадать. Интерпретация других отношений между объектами, представленных на рис. 10.21, также не вызывает каких-либо затруднений.

Фрагмент библиотеки темплетов приводится на рис. 10.22. Рассмотрим представление здания и связанных с ним других объектов: отмостки, крыльца, приямника, входа в подвал, точки ввода инженерной коммуникации. Очевидно, что программным путем несложно установить, что к площадному объекту (зданию) примыкает полосной объект – отмостка, если таковая существует. Тот факт, что отмостка или вход в подвал является необязательным элементом здания, можно извлечь из базы топографических знаний, описанной в главе 9.

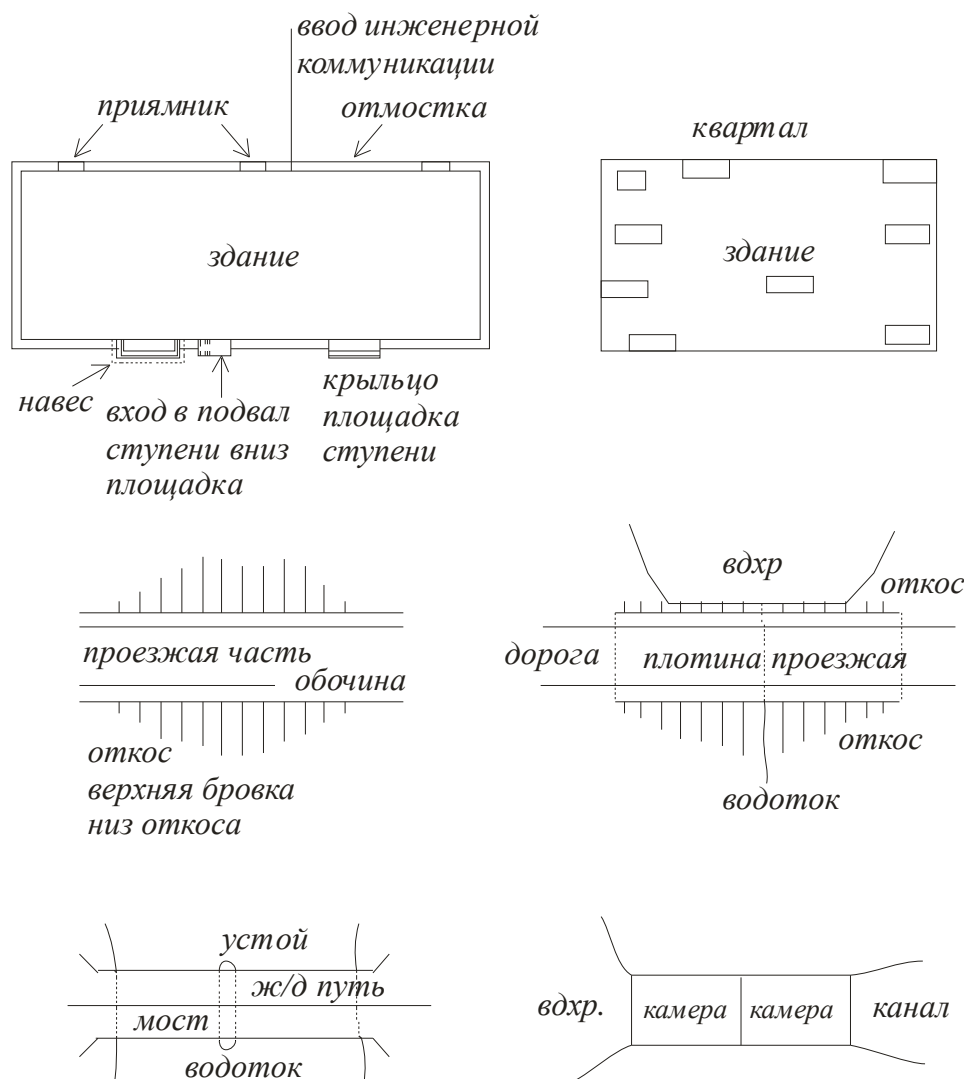


Рис. 10.22. Примеры темплетов

Анализируя таким же образом темплет здания, программа может установить следующие правила:

- площадной объект «приямник» примыкает к зданию и к отмостке;
- составной объект «крыльцо» состоит из площадного объекта (площадки крыльца) и полосного (ступеней крыльца); между указанными элементами крыльца существует отношение смежности; кроме того, площадка крыльца всегда примыкает к зданию; тогда как ступени крыльца могут примыкать, но могут и не примыкать к зданию;
- между элементами «ступени» (полосной объект) и «площадка» (площадной объект) составного объекта «вход в подвал» существует отношение смежности и оба элементарных объекта примыкают к зданию;
- площадной объект «навес» перекрывается с крыльцом;
- линейный объект «инженерная коммуникация» имеет одну общую точку со зданием (точку ввода коммуникации). Однако, здесь нужно сделать одно замечание: хотя строительными нормами и правилами запрещается прокладка инженерных коммуникаций под зданиями, в жизни это требование иногда не соблюдается.

Анализируя следующий темплет, «умная» программа в состоянии установить правила, определяющие отношения между зданием и кварталом:

- здание может находиться полностью внутри квартала;
- здание может примыкать к границе квартала с его внутренней стороны.

Однако в реальности встречаются, хотя и редко, здания, выступающие за красные линии застройки. Создавая информационную модель конкретного участка местности, программа геомоделирования может заметить подобное отклонение от нормы (то есть от темплета) и обратить внимание пользователя на такой неординарный факт. Получив подтверждение от пользователя в правильности данных, моделирующая программа может сделать заметку и характеризовать выступающее здание как исключительный случай. Приведенный пример подтверждает вероятностный характер правил, представленных в базе топографических знаний.

Еще более умная программа, сравнив геометрические данные о конкретной дороге с темплетом дороги, может обнаружить возникшую в результате ошибки исполнителя дыру между проезжей частью дороги и верхом откоса (см. рис. 10.22) и поставить ей в соответствие объект «обочина».

Нет особой необходимости пояснять в силу их достаточной очевидности отношения между проезжей плотиной и дорогой, между плотиной и водохранилищем, между водохранилищем и водотоком, плотиной и откосами. Важно то, что эти и аналогичные им отношения могут быть определены программным путем и сформулированы в виде правил.

Формальное представление топологических отношений, которые должны выполняться между двумя объектами, приводится ниже. Вначале введем следующие обозначения. Пусть X и Y – два объекта размерности 0, 1 или 2; X_A и Y_A – множества внутренних точек соответствующих объектов; X_B и Y_B – множества граничных точек объектов X и Y соответственно. Каждый объект представляет собой объединение граничных и внутренних точек: $X = X_A \cup X_B$ и $Y = Y_A \cup Y_B$. При этом множества внутренних точек для объектов размерности 0 и 1 являются пустыми, то есть, $X_A = \emptyset$ и $Y_A = \emptyset$. Пусть также x , x_1 , x_2 и y – некоторые точки, например, $x \in X$ и $y \in Y$.

Пара 0–0. Пусть X и Y – два точечных объекта. Тогда между ними возможно существование только одного из отношений:

$$X \neq Y \mid X = Y,$$

где \mid – символ исключающей дизъюнкции.

Пара 0–1. Объект X – точечный, объект Y – линейный. Возможные соотношения между X и Y :

$$X \notin Y \mid X \in Y.$$

Пара 0–2. Объект X имеет размерность 0, Y – размерность 2. Тогда между X и Y должно выполняться одно и только одно из отношений:

$$X \notin Y \mid X \in Y_B \mid X \in Y_A.$$

Пара 1–1. Если оба объекта являются линейными, то между ними может иметь место только одно из отношений:

$$X \cap Y = \emptyset | ((X \cap Y \neq \emptyset) \wedge (X \neq Y)) | X = Y | X \in Y | Y \in X.$$

Пара 1–2. Пусть X – 1-мерный объект, Y – 2-мерный. Тогда между ними должно выполняться только одно из отношений:

$$X \cap Y = \emptyset;$$

$$X \cap Y_B \neq \emptyset \wedge X \neq Y_B;$$

$$X = Y_B;$$

$$X \cap Y_A \neq \emptyset;$$

$$X \in Y_A$$

и т. п. Данные отношения между объектами несколько точнее и нагляднее представлять в виде квантифицированных формул:

$$\forall x(x: x \in X \rightarrow x \notin Y);$$

$$\exists! x(x: x \in X \rightarrow x \in Y_B);$$

$$\exists x(x: x \in X \rightarrow x \in Y_B);$$

$$\forall x(x: x \in X \rightarrow x \in Y_B);$$

$$\exists! x_1 \exists x_2 (x: x_1 x_2 \in X \rightarrow (x_1 \in Y_B \vee x_2 \in Y_A));$$

$$\exists x(x: x \in X \rightarrow x \in Y_A);$$

$$\forall x(x: x \in X \rightarrow x \in Y_A).$$

В данных формулах $\exists! x$ – квантор единственности, обозначающий «существует единственный x , такой, что...».

Пара 2–2. Представление закономерных отношений между двумя объектами в данном случае может быть выражено следующими формулами:

$$\forall x(x: x \in X \rightarrow x \notin Y);$$

$$\exists x(x: x \in X_B \rightarrow x \in Y_B);$$

$$\forall x(x: x \in X_B \rightarrow x \in Y_B);$$

$$\exists x(x: x \in X \rightarrow x \in Y);$$

$$\forall x(x: x \in X \rightarrow x \in Y).$$

Как нам представляется, знания о геометрической конструкции сложных объектов и отношениях между часто встречающимися сочетаниями объектов позволят заметным образом повысить качество картографических изображений, получаемых программным путем. Кроме того, подобные знания о геометрии объектов и топологических отношениях будут востребованы в системах автоматизированного проектирования объектов капитального строительства, линейных сооружений и т. п.

Использование темплетов – геометрических образов объектов – создает безусловные предпосылки для повышения качества геоинформационных моделей, поскольку появится возможность контроля большего процента объектов программным путем.

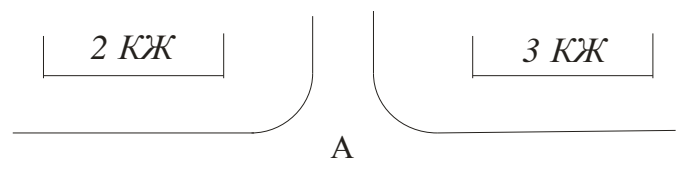


Рис. 10.23. Частично снятые объекты

Однако, жесткий программный контроль может привести к новой проблеме – проблеме незавершенных объектов. Дело в том, что при топографических съемках объекты, примыкающие к границе участка съемки, снимаются не полностью. Например, при съемке трассы проектируемой инженерной коммуникации, проходящей по улице, могут быть сняты только два или три угла здания (рис. 10.23). В настоящее время эта проблема не существует, поскольку такой программный контроль, как правило, не выполняется. Использование темплетов позволит системам геомоделирования обнаруживать и отмечать незавершенные объекты.

Вместе с тем появляется возможность более или менее корректной автоматизированной отрисовки незаконченных объектов, но для этого необходимо использовать топологическое представление геометрии объектов. Так, чтобы вывести надписи зданий на рис. 10.23, у которых снято только по два угла, достаточно указать, по какую сторону отрезка прямой расположено здание. Таким образом, проблема отрисовки частично снятых объектов в определенной мере решается.

В заключение рассмотрим проблему представления знаний о геометрических свойствах объектов и топологических отношениях. Можно разработать специализированный язык описания топологии объектов с тем, чтобы картографы на этом языке представляли знания о пространственных отношениях между объектами, например, о том, что крыльцо должно примыкать к зданию, а здание должно находиться внутри квартала. Но, как представляется, картографам будет проще и естественнее создавать топологически корректные темплеты составных объектов и часто встречающихся сочетаний объектов (мост и река, станция и железнодорожный путь, опоры и пролеты ЛЭП и т. п.). Разумеется, для использования темплетов требуется разработка программы их анализа и разработка некоторого внутреннего представления знаний о топологических отношениях между объектами.

Возможно, что создавать и публиковать (в том числе, в электронном виде) библиотеку темплетов лучше всего совместно с таблицей и описанием условных знаков. Также может оказаться эффективным вместе с топологическим описанием составных объектов и сочетаний объектов указывать дифференциальные свойства кривых, представляющих линейные объекты и границы полосных и площадных объектов, а также отношения, которые можно назвать «выше – ниже».

10.12. Условные знаки

С содержательной точки зрения элементарный условный знак представляет собой сочетание сигнатуры и других изобразительных средств. Формально будем рассматривать *элементарный условный знак* Z как отношение

$$Z(S, M, O, C, I, T), \quad (10.5)$$

где S – сигнатура; M – размер; O – ориентация; C – цвет; I – яркость; T – толщина линий сигнатуры – являются графическими переменными. Размер и ориентация точечного условного знака определяются соглашением, а эти же

параметры линейных, полосных и площадных условных знаков определяются фактическим положением отображаемых объектов.

Представление условного знака в виде отношения (10.5) не очень удобно с точки зрения выполнения аналитических преобразований языковых выражений. Множество (элементарных) условных знаков Z можно рассматривать как подмножество прямого произведения множеств S, M, O, C, I и T и использовать более удобную форму представления условных знаков

$$Z \subseteq S \times M \times O \times C \times I \times T. \quad (10.6)$$

Конкретный условный знак будем понимать как кортеж прямого произведения:

$$z = s \times m \times o \times c \times i \times t,$$

где символы z, s, m, o, c, i, t – предметные константы.

Однако, более удобным решением представляется такое, когда условный знак рассматривается как множество, а не упорядоченное множество. Тогда любая перестановка фиксированных значений переменных S, M, O, C, I, T (констант s, m, o, c, i и t) будет представлять собой один и тот же условный знак. Но такое решение также не безупречно. Если бы мы трактовали условный знак как упорядоченное множество, то при описании любого условного знака можно было бы не указывать имя каждой графической переменной, поскольку смысл каждой константы в выражении определялся бы ее местом в этом выражении.

Операцию \times над изобразительными средствами можно называть *произведением графических переменных* или *комбинацией изобразительных средств*. Ее приоритет установим ниже, чем у сигнатурных операций.

Размер M можно рассматривать как подмножество прямого произведения вещественных переменных $M \subseteq L \times B$, где L задает размер сигнатуры по оси X (продольной оси линейных и полосных сигнатур), а B – по оси Y (поперечной оси линейных и полосных сигнатур). Для линейных и полосных сигнатур вводится локальная система координат. Ось X линейной сигнатуры совпадает с направлением касательной к изображению линейного объекта, а ось Y полосной сигнатуры будем считать совпадающей с изображением осевой линии симметричного полосного объекта либо с одной из граничных линий асимметричного полосного объекта. В качестве параметра линейной (полосной) сигнатуры принимается длина линии, изображающей линейный (полосной) объект.

Ориентацию O точечного условного знака определим как измеряемый по направлению часовой стрелки угол между положительным направлением оси X и вертикальной осью сигнатуры условного знака. Ориентацию элемента сигнатуры линейного или полосного знака будем определять как угол, измеряемый по часовой стрелке от положительного направления касательной к осевой линии линейного или полосного объекта до вертикальной оси сигнатуры.

Цвет C может задаваться в составляющих RGB либо $CMYK$ (также в виде произведения \times составляющих). Яркость I может принимать значения от 0 до 1. Составляющие цвета и яркость можно определять и в процентах. Толщину T сигнатуры удобнее всего выражать в миллиметрах.

Предметные переменные C , I и T можно объединить в переменную *перо* $P = C \times I \times T$. Указанные изобразительные средства мы можем называть также *декоративными*. Смысл объединения декоративных переменных для картографа очевиден: свойства условного знака в известной мере определяются свойствами используемого чертежного инструмента, некоторые свойства чертежного устройства переносятся на условный знак. Поскольку набор сочетаний цвета, яркости и толщины при разработке условных знаков для карт конкретного типа и масштаба, как правило, незначителен, постольку введение понятия пера повысит эффективность внутреннего представления картографических данных в ЭВМ.

В эпоху перьевых графопостроителей мы были бы обязаны ввести понятие пера по необходимости, но с переходом на растровые выводные устройства целесообразность использования «пера» стала завуалированной. В дополнение к понятию пера мы можем ввести понятия *пера переменной толщины* и *кисти* (для заливок), подобающим образом определив их свойства.

В результате приписывания сигнатурам – бесцветным линиям нулевой толщины – цвета, яркости и толщины они трансформируются в элементарные условные знаки. Операцию переноса свойств пера на сигнатуру будем называть *раскрашиванием сигнатуры*. Из определения элементарного условного знака следует, что это знак, вычерчиваемый одним пером.

Если мы, признав необходимость определения пера, обратимся к остальным элементам условного знака Z , то придем к выводу о целесообразности и их объединения в группу, которую будем называть *знаковой сигнатурой* и обозначать символом $G = S \times M \times O$, где $M = L \times B$. Тогда элементарный условный знак Z может быть кратко представлен как $Z = G \times P$. В первом приближении знаковая сигнатура является графом, но у математического графа вершины не фиксированы, тогда как вершины условного знака имеют определенные координаты. Мы называем G не графом, а знаковой сигнатурой, чтобы подчеркнуть неизменность сигнатуры условного знака.

Таким образом, описание (определение) элементарного условного знака сводится к двум операциям: формированию экземпляра знаковой сигнатуры (сигнатуры-константы) и ее раскрашиванию.

Переменные S , B , L , O , C , I и T можно мыслить как соответствующие оси координат в своеобразном 7-мерном *пространстве изобразительных средств*. Тогда каждая уникальная комбинация констант $s \times b \times l \times o \times c \times i \times t$ будет определять в этом пространстве точку (или вектор), и каждой точке (вектору) можно поставить в соответствие конкретный элементарный условный знак.

Элементарный условный знак мы можем также трактовать как функцию переменных S , M , O , C , I , T , являющихся ее аргументами, и записывать как $Z = Z(S, M, O, C, I, T)$.

Составной условный знак определим как *сумму*:

$$Z = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n = \sum_{i=1}^n Z_i, \quad (10.7)$$

где Z – составной условный знак, а Z_i – выражение, которое можно называть *компонентой условного знака, членом или слагаемым* и которое обозначает элементарный или составной условный знак. Операцию $+$ будем называть *сложением компонент условного знака, или композицией*. Ее приоритет установим ниже приоритета произведения графических переменных.

Примером составного условного знака может служить условный знак № 268 (мочажинки, не выражающиеся в масштабе карты, с травянистой растительностью), представляющий собой два вертикальных штриха черного цвета и синий горизонтальный штрих под ними [7]. Как составные условные знаки будем рассматривать сочетания сигнатур условного знака и поясняющей надписи. Надписи могут образовывать конструкции и рассматриваться как составные условные знаки. Примерами конструкций из надписей служат надписи характеристик леса, моста, брода... Для надписей можно ввести операцию *конкатенации* – соединения двух строк. Более подробно надписи рассматриваются ниже.

Выражения, составленные из имен изобразительных средств, имен условных знаков и указанных выше операций комбинации изобразительных средств и композиции условных знаков, будем называть *знаковыми, или графическими*. Первая из операций используется для создания конструкций из *разнородных*, вторая – *однородных* элементов условного знака. С точки зрения программиста комбинация изобразительных средств означает создание экземпляра конструкции, которая в C++ носит название *структуры*, или *класса*, а сложение n компонент – создание *массива* из n элементов или *линейного списка*, что зависит от реализации.

Значением знакового или графического выражения всегда является конкретный условный знак – *знаковая (графическая) константа*. Знаковое выражение, не содержащее операции композиции условных знаков, будем называть *простым графическим выражением, или графическим одночленом*. Графическое выражение, имеющее вид (10.7), можно называть *графическим многочленом*.

Элементарный условный знак может быть представлен как определенная структура данных:

```
struct EUZ=  
{ Signatura s;  
  Size m;  
  Orient o;  
  Color c;  
  Intensity i;  
  Thickness t  
},
```

где *Signatura, ..., Thickness* – *типы данных*, которые должны быть определены ранее. Тогда, например, условный знак наземного трубопровода на опорах можно было бы представить следующим образом:

```
EUZ EU Z2 =  
{ s = S2;
```

```

m = 1;
o = 0;
c = черный;
i = 1.0;
t = 0.12;
}

```

В данном примере сигнатуре условного знака присваивается значение описанной выше сигнатуры $S2$, а также устанавливаются значения цвета, яркости и толщины вычерчиваемых линий. Таким образом, в данном случае мы обошлись без структурных операций над сигнатурами и условному знаку наземного трубопровода на опорах придали вид некоторой графической константы.

Но в некоторых случаях, в особенности при сочетаниях условных знаков, картографическое изображение не может быть представлено как константа. Примером может служить условный знак пункта государственной геодезической сети, расположенного на здании. При вычерчивании условного знака такого пункта его изображение накладывается на изображение условного знака здания в соответствии с фактическим расположением пункта относительно здания, которое (расположение) заранее не может быть известно, но может быть получено из базы данных в момент создания картографического изображения.

Чтобы иметь возможность формально представлять такие изображения, для условных знаков можно ввести операции, подобные аналогичным операциям над сигнатурами:

- линейные операции;
- структурные операции (сложение «+», разность «-» и произведение «*» условных знаков).

В таком случае в порядке убывания приоритета все необходимые операции расположатся в следующем порядке:

- арифметические операции;
- линейные операции над сигнатурами;
- структурные операции над сигнатурами;
- произведение графических переменных;
- линейные операции над условными знаками;
- структурные операции (в том числе, композиция) над условными знаками.

Структурные и линейные операции над условными знаками будем трактовать как соответствующие операции над их сигнатурами. (Вообще же, можно определить соответствующим образом аналогичные операции над другими компонентами условных знаков: размерами, ориентацией, цветом и т. п. Однако целесообразность введения таких операций вызывает некоторые сомнения.)

С использованием структурных операций над условными знаками условный знак пункта ГГС на здании можно представить тремя способами:

```

class UZ3                                     // способ 1

```

```
{UZ uz = UZ1 - (UZ2 * (size(UZ2)+0.4) / size(UZ2)) + UZ2;  
},
```

где $UZ1$ и $UZ2$ – определенные в другом месте условные знаки здания и пункта ГГС соответственно, а $UZ3$ – условный знак пункта ГГС на здании, $size(uz)$ – функция, возвращающая размер условного знака uz .

```
UZ UZ3 = // способ 2  
{uz = UZ1 - (UZ2 * (size(UZ2)+0.4) / size(UZ2)) + UZ2;  
},
```

где UZ – ранее определенный класс «условный знак».

Первый и второй способы представления конкретного условного знака отличаются тем, что в первом случае условный знак определен как класс, а во втором случае – как экземпляр класса «условный знак». Еще один способ представления любого условного знака заключается в том, что он рассматривается как производный класс от абстрактного класса «условный знак».

10.13. Надписи

Надписи, как изобразительное средство, характеризуются следующими свойствами: содержание текста (последовательность символов), шрифт, размер (или кегль), наклон (курсив), заполнение (возможно использование остовных шрифтов), цвет, ориентация, подчеркивание, прописные / строчные буквы, разрядка и, возможно, насыщенность – отношение толщины штриха к ширине внутрибуквенного просвета. Все перечисленные свойства надписей могут рассматриваться как предметные (графические) переменные. Напомним, что отображаемое геопространство и множество картографических изображений являются двумя различными предметными областями. Чтобы различать эти предметные области, далее во избежание недоразумений предметной областью будем называть только фрагмент геопространства, представляемый в виде картографических изображений.

Каждой указанной выше графической переменной, за исключением ориентации, может быть поставлена в соответствие та или иная характеристика геопространственного объекта. Некоторые из графических переменных, характеризующих надписи, могут принимать всего два значения. К ним относятся подчеркивание (оно либо есть, либо его нет), наклон, разрядка, заполнение шрифта. Перечисленные графические переменные могут использоваться для представления предметных переменных, принимающих только два значения.

Ориентация надписей, хотя и является графической переменной, практически никогда не используется для передачи значений предметных переменных. Как правило, ориентация надписи увязывается с ориентацией и типом локализации отображаемого объекта. Надписи, относящиеся к точечным объектам, стандартно ориентируются параллельно южной рамке листа карты или плана. Надписи, характеризующие линейные и полосные объекты, располагаются вдоль изображения этих объектов. Для площадных объектов надписи располагаются либо параллельно южной рамке листа, либо

параллельно наибольшему диаметру площадного объекта или его наибольшей стороне.

Перечисленные выше графические переменные для передачи семантики с помощью надписей используются обычно тогда, когда такая передача осуществляется в виде *одной* надписи. Однако часто используется прием, когда для передачи каждой характеристики объекта используется отдельная надпись. Несколько надписей, относящихся к одному объекту, обычно группируются в некоторую конструкцию или несколько конструкций. Примеры таких конструкций из надписей в сочетании с условными знаками показаны на рис. 10.24.

Если для некоторого объекта в виде надписи отображается только одна характеристика, то такой характеристике можно поставить в соответствие графический объект с именем *Text*. Произвольный (абстрактный) объект *Text* обладает следующими свойствами:

- содержание надписи;
- шрифт;
- высота символов;
- ширина символов;
- ориентация;
- цвет;
- заполнение;
- разрядка;
- подчеркивание;
- наклон;
- использование заглавных букв.

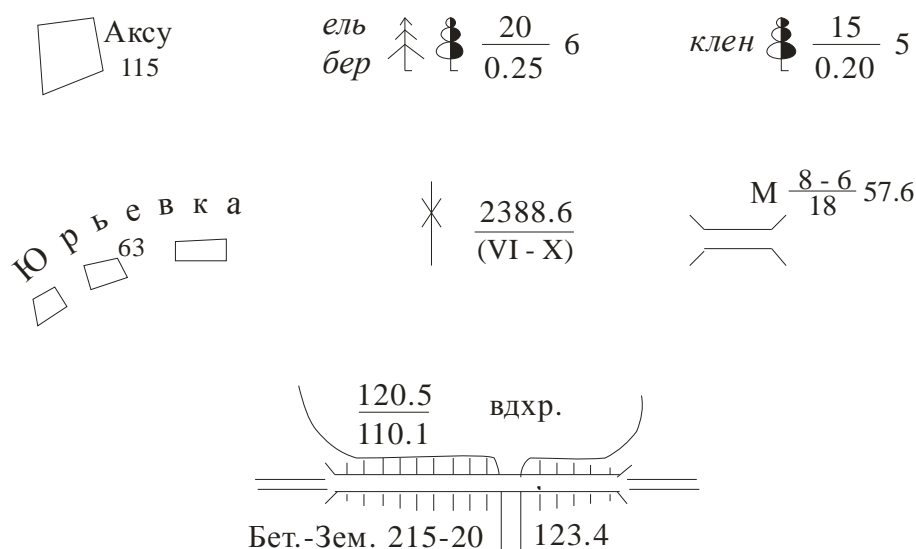


Рис. 10.24. Конструкции из надписей

Перечисленные свойства должны быть реализованы как типы данных (классы). Именам введенных типов данных желательно давать мнемонические обозначения. После этого формально абстрактный объект *Text* может быть представлен как структура со следующими элементами:

```

class Text
{
    Contents cont;           // содержание надписи;
    Font font;               // шрифт;
    HSize hsize;             // высота символов;
    BSize bsize;             // ширина символов;
    Orient orient            // ориентация
    Color color;             // цвет;
    Fill fill;               // заполнение (0 – нет, 1 – есть);
    Density dens ;           // разрядка
    Underline und            // подчеркивание
    Bow bow;                 // наклон
    Letter let;              // использование прописных букв
    ...
},

```

где имена *Contents*, ..., *Letter* являются именами определенных классов (типов данных, определяемых пользователем) и должны быть зарезервированными словами языка картографического отображения, а имена *cont*, ..., *let* – именами переменных соответствующих классов.

Переменные типа *Fill*, *Density*, *Underline*, *Bow* могут принимать значения 0 или 1, переменные типа *Letter* могут принимать четыре значения: 0 – весь текст выводится строчными буквами, 1 – прописной выводится только первая буква, 2 – весь текст выводится прописными буквами, 3 – текст выводится в том виде, в каком он был введен пользователем.

После такого определения структуры абстрактного типа *Text* его имя также становится именем типа данных, которое может быть использовано при определении конкретных типов надписей, например:

```

Text text_n =
{
    cont = a;
    font = b;
    hsize = c;
    bsize = d;
    orient = "вдоль";
    color = e;
    fill = f;
    dens = g;
    und = h;
    bow = i;
    ...
    let = j;
},

```

где имена *cont*, *font* и т. д. указывают на переменные, а *a*, *b*, *c* и т. д. обозначают некоторые константы или константные выражения, составленные из констант и знаков арифметических операций.

Однако, следует отметить, что представленный фрагмент определения класса не является фрагментом программы на языке С++, и поэтому перечисленные типы данных (классы) не являются классами в строгом понимании языка С++. Но при программной реализации языка картографического отображения представляется целесообразным создание соответствующих классов.

При определении конкретных надписей можно использовать более короткий, но менее наглядный способ записи, аналогичный инициализации – присваиванию начальных значений переменным в языках С и С++:

```
Text text_n = {a, b, c, d, e, f, g, h, i, j};
```

Для обозначения конструкций из нескольких надписей, передающих семантические характеристики конкретного объекта, можно использовать такие несколько экспрессивные термины, как «этикетка», «транспарант», «табло» или что-то близкое к ним по смыслу, но мы далее будем обозначать их нейтральным термином «*область характеристик*». Область характеристик будем делить на *поля характеристик*, в каждом из которых может быть размещена одна надпись. При этом каждому значению свойства может быть поставлено в соответствие только одно поле характеристики.

Область характеристик произвольного объекта обозначим как структуру

```
struct Text_Area
{float Lx;                // размер области по оси x
float Ly;                // размер области по оси y
String Loc;             // место размещения относительно УЗ
                           // String – тип данных «строка»
struct Line              // линия – необязательный элемент
{float x, y;
float length;
};
Field field1;            // поле характеристики 1
...
Field fieldn;            // поле характеристики n
};
```

где число полей характеристик равно максимальному числу характеристик, выводимых в одной области характеристик. Если фактическое число характеристик меньше максимального, то при описании области характеристик конкретного объекта значения присваиваются только первым элементам структуры *Text_Area*. Область характеристик представляет собой прямоугольник со сторонами, параллельными осям координат *X* и *Y* листа карты или плана. В каждой области характеристик вводится локальная система координат, начало которой совпадает с юго-западным углом области. Локальная система координат предназначена для указания положения полей характеристик и возможных других элементов области характеристик, например, горизонтальной черты.

Произвольное поле характеристики *Field* может быть определено следующим образом:

```

struct Field
{float x;
float y;
Text t;
};

```

где x и y локальные координаты левого нижнего угла поля характеристики, а t – переменная определенного выше типа данных *Text*.

Описание области характеристик для некоторого фиксированного типа объектов могло бы иметь такой вид:

```

Text_Area ta =
{Lx = a;                // размер области по оси x
Ly = b;                // размер области по оси y
Loc = "справа";        // место размещения относительно УЗ
Line.x = xl;           // линия – необязательный элемент
Line.y = yl;
Line.length = l;
field1.x = x2;          // поле характеристики 1
field1.y = y2;
field1.t = "текст 1";
field2.x = x3;          // поле характеристики 2
field2.y = y3;
field2.t = name(obj);
...
};

```

Связи между различными классами при определении произвольной области характеристик представлены на рис. 10.25.

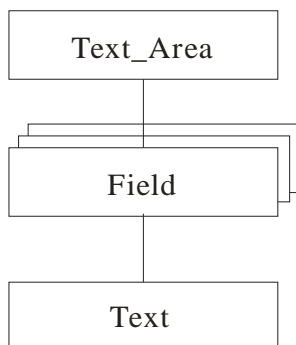


Рис. 10.25. Связи между классами

Таким образом, при использовании надписей переменным предметной области ставятся в соответствие определенные графические переменные, а предметным константам – соответствующие графические константы. В указанном смысле использование надписей не отличается от использования условных знаков. Каждой графической переменной ставится в соответствие имя некоторого домена – множества однотипных графических констант. Тогда формально использование надписей также можно представить в виде метаформулы

$$K : P \rightarrow G, \quad (10.8)$$

где P – предметная область, а G – множество графических средств, характеризующих надписи, а K – картографическое отображение предметной области с помощью надписей.

Выше при чтении примеров и пояснений можно заметить, что некоторые детали опущены. По мнению автора, их отсутствие не может отрицательно влиять на понимание общих принципов использования надписей как выразительных средств и способов организации внутреннего представления надписей.

10.14. Картографическое изображение

Автоматизация любого производственного процесса требует его разделения на *элементарные операции*, описание и исполнение которых должно быть понятным автомату. Если в наши намерения входит автоматизация создания карт по геоинформационным моделям, то мы должны предварительно самым тщательным образом препарировать картографическое изображение. Часть этой работы была выполнена выше.

На входе системы картографического отображения мы имеем множество сигнатур, множество условных знаков, систему правил картографического отображения, знания о предметной области и геоинформационную модель (рис. 10.26). Совокупность описаний сигнатур, условных знаков и правил картографического отображения образуют базу знаний системы картографического отображения. Геоинформационная модель представляет собой множество данных, которое в системах, основанных на знаниях, принято называть рабочей областью. Задача системы картографического отображения состоит в том, чтобы каждому отображаемому объекту на основании его свойств и правил картографического отображения поставить в соответствие определенный условный знак и сконструировать в рабочей области модель изображения.

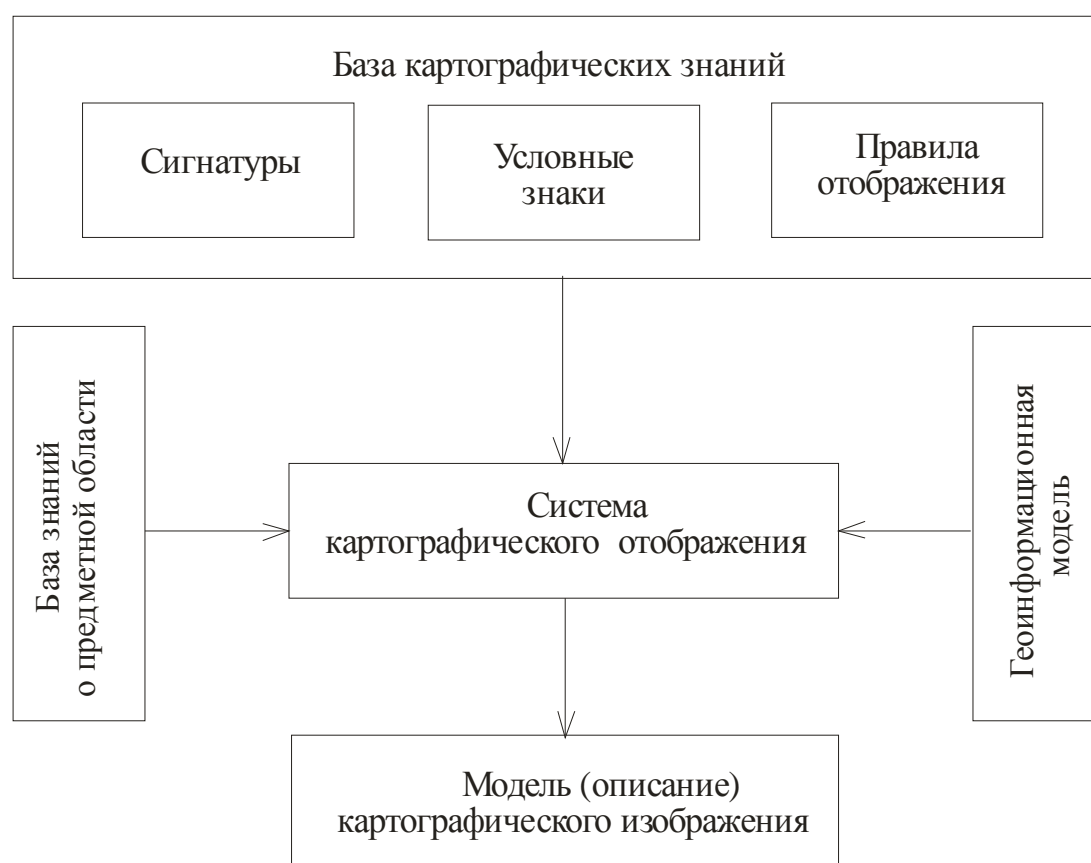


Рис. 10.26. Данные и знания при картографическом отображении

Сигнатуры, условные знаки и картографическое изображение – это три уровня сложности в картографии. Разделение условного знака на сигнатуру и перо дает возможность расчленить длительный и сложный процесс создания

картографического изображения на относительно самостоятельные подпроцессы: получение сигнатуры карты, включая сигнатуры условных знаков и надписей, и ее раскрашивание.

На первом этапе мы абстрагируемся от свойств пера и рассматриваем создаваемую карту как граф. В первоначальном виде сигнатура карты представляет собой копию геометрической компоненты геоинформационной модели – контурную карту. Задача получения сигнатуры карты в окончательном виде сводится к преобразованию графа путем последовательной замены одного подграфа другим. Сущности этого процесса не изменяет то обстоятельство, что описание сигнатур и условных знаков является подготовительной операцией. Наиболее сложной проблемой при этом является трансформация сигнатуры карты. Раскрашивание преобразованной сигнатуры не представляет трудности.

Граф контурной карты является координированным, в этом его отличие от математического графа. *Координированным* будем называть граф с фиксированными координатами его вершин. Правда, на наше счастье, решение некоторых задач при получении картографического изображения не требует знания координат вершин графа.

Основную проблему при преобразовании сигнатуры карты представляет *разрешение конфликтов*. Проблема конфликтов заключается в выборе одной сигнатуры из нескольких сигнатур-кандидатов и исключении или смещении сигнатур условных знаков и надписей.

Поясним проблему конфликтов на примере. Пусть требуется вычертить фрагмент карты, представленный на рис. 10.27. Для определенности

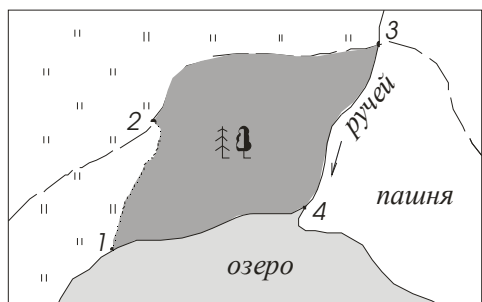


Рис. 10.27. Фрагмент карты

рассмотрим вычерчивание условного знака границы леса. На участке 1–2 граница леса и граница соседнего площадного объекта (луга) представляются одной сигатурой – пунктирной линией, и никаких противоречий нет. На участке 2–3 возникает конфликт: граница леса (и луга) проходит по дороге и должна вычерчиваться пунктиром; с другой стороны, полевая дорога отображается самостоятельным условным знаком – штриховой линией черного цвета.

Между условными знаками существует отношение, которое мы назовем отношением доминирования. Правила разрешения конфликтов определяются на основе отношения доминирования. В соответствии с такими правилами сигнатура условного знака с меньшим приоритетом либо исключается, либо смещается. Поэтому на участке 2–3 будет выбрана сигнатура штриховой линии, поскольку ее приоритет выше, чем приоритет пунктирной линии. Подобным же образом сигнатура границы леса подавляется на участке 3–4, которому присваивается значение условного знака ручья. На участке 4–1 вновь возникает коллизия, поскольку он является общей границей леса и соседнего площадного объекта – озера. Выбор между сплошной синей линией и пунктирной линией черного цвета также осуществляется в соответствии с отношением доминирования.

Пример на рис. 10.27 позволяет выделить два класса конфликтов: между сигнатурами границ двух смежных площадных условных знаков и между сигнатурой границы площадного условного знака и сигнатурой линейного или полосного условного знака. Конфликты в процессе создания карты возникают также при наложении изображений объектов (дорога под дорогой, мост над рекой...) и при близком расположении объектов, когда изображение одного объекта необходимо стереть полностью или частично либо перенести. Все *типы конфликтов* с учетом типов локализации объектов и надписей могут быть представлены симметричной матрицей 5×5 элементов.

Вторая часть задачи построения картографического изображения состоит в *сопряжении сигнатур* картографического изображения между собой, например, двух полосных условных знаков. Разрешение конфликтов заключается в отборе сигнатур. Сопряжение сигнатур состоит в корректировке их геометрии. Если мы правильно разрешили все конфликты и решили задачу согласования сигнатур, то картографическое изображение будет корректным. Таким образом, проблема получения адекватного картографического изображения сводится к решению проблемы корректного преобразования его сигнатуры.

Приведенный выше пример говорит о том, что логика вычерчивания картографического изображения намного сложнее логики вычерчивания условного знака. Второй вывод, который мы можем сделать из этого примера, – для создания корректного картографического изображения автоматом требуется описание отношения доминирования между условными знаками.

Для представления отношения доминирования мы можем каждому условному знаку при его создании поставить в соответствие целое число – приоритет. При этом меньшее число соответствует более высокому приоритету. Разрешение конфликтов между условными знаками с разными приоритетами может осуществляться автоматически, а с одинаковыми – в интерактивном режиме либо на основе *прецедентов*.

(Использование прецедентов подразумевает разработку специализированного программного модуля. Этот программный модуль должен автоматически вызываться в тех случаях, когда при создании конкретного листа карты возникает конфликт, относительно которого отсутствует правило его разрешения. Модуль обращается к пользователю с предложением принять то или иное решение для разрешения конфликта, а затем на основе принятого пользователем решения формирует правило разрешения подобных конфликтов и заносит его в базу картографических знаний.)

С учетом отношения доминирования условный знак Z мы можем формально рассматривать как подмножество прямого произведения $Z = G \times P \times Pr$, где G – знаковая сигнатура; P – свойства пера; Pr – приоритет. По соображениям эффективности приоритет условных знаков лучше представлять в виде отдельного бинарного отношения $R \subseteq Z \times Pr$.

Наконец, третий вывод: для создания картографического изображения автоматом требуется определить правила преобразований знаковых выражений.

Лист карты можно трактовать как один большой и сложный условный знак, а его формальное описание – как одно очень большое выражение языка картографического отображения. Очевидно, что выполнение человеком формальных преобразований знаковых выражений, описывающих небольшие картографические изображения, неэффективно, а больших выражений – невозможно. Но отсюда не следует ненадобность использования языка картографических изображений. В подтверждение этого тезиса можно привести пример с использованием матриц в линейной алгебре. При ее изучении вручную решают системы линейных уравнений не выше третьего-четвертого порядка и вычисляют таких же порядков определители. Решение реальных производственных задач (уравнивание геодезических сетей и др.), когда число неизвестных может составлять многие тысячи, возможно только на ЭВМ. Человек, изучавший линейную алгебру, понимает, что происходит в машине при решении систем линейных уравнений, и может дать описание методов их решения.

Формальная обработка выражения, описывающего реальный лист карты, также может быть выполнена только на ЭВМ. Картограф должен понимать процесс автоматизированного создания картографических изображений и уметь если не описывать его полностью, то хотя бы представлять формальное описание картографического изображения. Сегодня картографы, не без их молчаливого согласия, отстранены от процессов разработки программных средств автоматизации картографирования. В итоге они стали заложниками: иногда – у серьезного программиста, а иногда – у шамана от программирования, якобы посвященного в тайнства автоматизации картографирования.

Даже в солидных программных продуктах, предназначенных для создания геоинформационных моделей и подготовки карт к изданию, можно встретить одну странность: представление некоторых площадных объектов и их границ как *самостоятельных* объектов. Программист, создававший такую программу, знал, конечно, что граница площадного объекта не может существовать отдельно от самого объекта, но не смог понять логику создания картографического изображения и вынужден был принять решение, которое можно признать остроумным, но нельзя назвать методологически правильным. Но мы не имеем права полагаться на эвристику, случайные решения, и поэтому должны действовать методично и логически последовательно.

Покажем, к чему приводят подобные решения на примере того же рис. 10.27. Если в соответствии с требованием программиста мы создадим площадной объект «лес» с контуром 1–2–3–4–1 и линейный объект «граница растительности» на участке 1–2, то получим вполне корректное картографическое изображение. Теперь допустим, что нам требуется создать карту более мелкого масштаба. Изображения полевой дороги и ручья в результате генерализации могут исчезнуть. Изображение леса уже не будет корректным: на участках 2–3 и 3–4 границы леса не будет, поскольку мы не создавали такой знак, и потребуются корректировать изображение. Поэтому требование представлять площадные объекты и их границы как отдельные

объекты – это один из признаков нарушения здравого смысла и логики картографического отображения.

Подобные примеры, когда объект и его граница представляются как самостоятельные объекты предметной области, вследствие чего при генерализации условный знак границы объекта изображается не полностью, а фрагментарно, можно было бы продолжить.

В результате анализа содержания геоинформационной модели и системы правил картографического отображения для каждого объекта в процессе программного построения картографического изображения должна быть создана структура V , представляющая собой кортеж декартова произведения

$$V_i = (X \times Y)_i \times Z_i, \quad (10.9)$$

где $X \times Y$ – положение условного знака, Z – условный знак. Будем называть V *локализованным условным знаком*. Координаты $X \times Y$ мы здесь понимаем в обобщенном смысле. Для немасштабного условного знака это будут координаты одной точки, для линейного знака – n пар координат и т. д. Произведение $X \times Y$ будем называть далее *локусом*, так как оно характеризует положение картографируемого объекта, и мы можем считать, что отображаем не объект, а место его расположения. И что свойствами обладает не объект, а занимаемое им пространство – *локус*. Можно провести определенную параллель между понятиями теории графов и понятием локуса. В частности, можно установить соответствие между вершиной графа и локусом 0-мерного объекта, между простой цепью графа и локусом 1-мерного объекта, между гранью и локусом 2-мерного объекта.

Картографическое изображение W выше было определено как сколь угодно сложный условный знак, поэтому мы можем представить его как многочлен, аналогичный (10.7):

$$W = V_1 + V_2 + \dots + V_n = \sum_{i=1}^n V_i. \quad (10.10)$$

При всем формальном сходстве выражения (10.7) и (10.10) существенно отличаются. Формула (10.7) по своему характеру является статической, так как условный знак – это константа; его сигнатура, толщина линий, размер, ориентация, цвет и яркость не изменяются. Выражение (10.10) – динамическое, поскольку мы вынуждены решать проблему конфликтов и выполнять его преобразования. Таким образом, хотя с синтаксической точки зрения эти выражения сходны, их семантика существенно различна.

Если в (10.10) вместо каждой переменной, обозначающей условный знак, подставить ее значение из (10.9), то выражение (10.10) будет внешне похоже на алгебраический многочлен. Именно чтобы достичь такого сходства, для обозначения комбинации графических переменных и локализации был использован символ \times . Но, при всем внешнем сходстве записи и некотором сходстве правил преобразования, необходимо помнить, что (10.10) не является алгебраическим многочленом.

При преобразовании картографических изображений (10.10) с целью оптимизации их внутреннего представления в ЭВМ могут использоваться такие свойства многочлена (10.10), как:

- коммутативность: $u + v = v + u$;
- ассоциативность: $(u + v) + w = u + (v + w)$;
- дистрибутивность: $x \times y \times (u + v) = x \times y \times u + x \times y \times v$, где $x \times y$ – локус

условного знака.

Наряду с этими свойствами, основными правилами преобразования являются правила подстановки, приведения подобных членов и разрешения конфликтов.

Правило подстановки: имя любой переменной, обозначающей составной условный знак, может быть заменено ее определением – соответствующим знаковым выражением. Это правило может применяться до тех пор, пока в выражении не останутся только имена сигнатур-примитивов. Таковую замену всех имен сигнатурных переменных будем называть *приведением к элементарному виду*.

Подобное приведение картографических изображений к элементарному виду целесообразно выполнять только в процессе непосредственного их вывода на некоторое графическое устройство, хранение же картографических изображений должно осуществляться в компактном свернутом виде.

Правило приведения подобных членов: если в выражении один и тот же локализованный условный знак встречается более одного раза, то в выражении исключаются все его экземпляры кроме одного. Значение знакового выражения при этом не изменяется. В этом состоит одно из основных отличий преобразования знаковых выражений от преобразований алгебраических многочленов.

Правило разрешения конфликтов: если с одним локусом связано несколько условных знаков разного типа, то конфликт разрешается на основе отношения доминирования. В результате разрешения конфликта локализованный условный знак с меньшим приоритетом либо исключается, либо ему присваивается новое значение локуса (перенос или смещение знака).

Перечисленные формальные правила не предполагают обязательного внутреннего представления картографических изображений в виде символьного выражения (10.10), как это имеет место в пакетах символьной математики, хотя и не исключает такого представления. В принципе, реализация представления картографических изображений может быть какой угодно; главными критериями при решении задачи внутреннего представления являются эффективность использования памяти и эффективность обработки. Назначение правил – определение допустимых формальных преобразований картографических изображений.

10.15. Формальное определение картографического отображения

Картографическое отображение K может быть определено как отображение выделенного множества M объектов предметной области, их

свойств и отношений (в частности – некоторого фрагмента геопространства) в множество условных знаков Z :

$$K : M \rightarrow Z. \quad (10.11)$$

Множество объектов M , как формальная модель предметной области, определяется назначением (видом и масштабом) создаваемых карт и планов и представляет собой объединение некоторых элементов

$$M = \bigcup_{i=1}^{|M|} t_i,$$

где t_i – тип отображаемых объектов.

Каждый тип объектов t_i характеризуется своими пространственными и семантическими свойствами

$$t_i = \Lambda_i \cup \Sigma_i, \quad (10.12)$$

где Λ_i – пространственные свойства объекта предметной области; Σ_i – семантические свойства, характеризующие конкретный тип объектов t_i .

Пространственные свойства каждого объекта включают тип локализации и множество точек (локус объекта)

$$\Lambda_i = \lambda_i \cup L_i, \quad (10.13)$$

где λ_i – тип локализации; L_i – упорядоченное множество характерных точек объекта, определяющих его пространственное положение в некоторой системе координат на земной поверхности

$$L_i = (X_{i1}, Y_{i1}, H_{i1}, \dots, X_{in}, Y_{in}, H_{in}),$$

где переменные X_{ij}, Y_{ij}, H_{ij} ($j = 1, \dots, n$) – координаты (необязательно – прямоугольные) точек, а $n = |L_i|$ – число точек. В некоторых случаях могут отсутствовать сведения о высотном положении объектов и тогда

$$L_i = (X_{i1}, Y_{i1}, \dots, X_{in}, Y_{in}),$$

чего достаточно для отображения *планового* положения объектов геопространства. Таким образом, локус может быть представлен в обобщенном виде как пространственная или плоская кривая, для 0-мерных объектов вырожденная в точку.

Семантические свойства Σ_i объектов некоторого фиксированного типа t_i представляют собой объединение

$$\Sigma_i = \bigcup_{j=1}^m \sigma_{ij}, \quad (10.14)$$

где σ_{ij} – семантическое свойство, присущее любому объекту типа t_i , а m – количество таких свойств. Для некоторых типов объектов может иметь место $\Sigma_i = \emptyset$, то есть при их картографическом отображении указывается только тип t_i , а какие-либо семантические свойства не отображаются.

Каждое семантическое свойство представляется своим названием и значением. При содержательной обработке данных название свойства

характеризует смысл значения. Название свойства будем отождествлять с именем домена – области допустимых значений S_{ij} . Каждый домен представляет собой конечное множество предметных констант определенного типа, для обозначения которых будем использовать имя домена с верхним индексом: S_{ij}^1, S_{ij}^k и т. п.

Домен, представляющий область значений количественной переменной, может быть задан следующим образом:

- либо перечислением допустимых значений;
- либо указанием ее типа (целое или вещественное число), а также нижнего и верхнего граничных значений.

Каждый домен, являющийся областью значений качественной переменной, может быть задан перечислением всех допустимых значений. Исключением служат собственные имена объектов геопространства, когда домен может рассматриваться как произвольная строка символов, длина которой не больше некоторого фиксированного числа. Вообще же при картографировании конкретной области геопространства имеет смысл предварительно создавать домены собственных имен объектов каждого типа: домен названий населенных пунктов и домен названий их улиц, домен названий озер, домен названий рек и т. д. Подобный способ позволяет в дальнейшем при вводе данных выбирать из соответствующих списков имена собственные, в результате чего снижается число ошибочных данных.

Необходимо иметь в виду, что из совпадения содержательных наименований свойств объектов двух различных типов не следует совпадение их доменов. Например, свойства «материал» здания и «материал» автодороги обозначают разные домены. Поэтому далее будем считать, что каждая переменная s_{ij} уникальна и ей однозначным образом ставится в соответствие некоторая уникальная область S_{ij} допустимых значений. Следует также отметить, что имена переменных и имена доменов обозначают разные сущности: две или более переменных могут принимать значения из одного и того же домена.

Кроме того, некоторые свойства являются многозначными, то есть предметная переменная с именем s_{ij} может одновременно принимать несколько значений. Следовательно, в общем случае семантическое свойство представляет собой подмножество декартова произведения

$$\sigma_{ij} \subseteq s_{ij} \times S_{ij}. \quad (10.15)$$

Каждый элемент множества условных знаков $z_i \in Z$ в общем случае будем рассматривать как составной, состоящий из нескольких элементарных и/или составных условных знаков и надписи или области надписей, что можно представить в виде выражения

$$z_i = z_{i1} + \dots + z_{in}, \quad (10.16)$$

где z_{ij} ($j=1, \dots, n$) – компонента i -го условного знака (более простой условный знак, надпись или область надписей), а символ «+» означает операцию композиции или сложения компонент условного знака.

Абстрактный элементарный условный знак z представляет собой комбинацию графических переменных

$$z = S \times M \times O \times C \times I \times T, \quad (10.17)$$

где S – сигнатура, $M = L \times B$ – масштаб (размер) сигнатуры, O – ориентация сигнатуры; C – цвет; I – яркость; T – толщина.

Конкретный элементарный условный знак является произведением (комбинацией) графических констант

$$z_{ij} = s \times b \times l \times o \times c \times i \times t, \quad (10.18)$$

где s, b, l, o, c, i, t – соответственно значения сигнатуры, ее ширины, высоты, ориентации, цвета, яркости и толщины. В общем случае s может быть не именем сигнатуры, а *сигнатурным выражением* вида

$$s = s_1 @ s_2,$$

где s_1 и s_2 – также сигнатурные выражения, а @ – символ, обозначающий структурную операцию над сигнатурами. Аналогично, вместо некоторых констант в (10.18) могут быть подставлены константные выражения соответствующего типа.

До сих пор понятия переменной и типа данных использовались, возможно, слишком свободно, иногда даже как синонимы. Но далее необходимо говорить более точно, поэтому остановимся на различиях этих сущностей. В частности, о символах S, \dots, T в выражении (10.17) говорилось как о переменных. Это допустимо, если иметь в виду, что указанные символы являются именами не просто некоторых переменных, а переменных вполне определенного типа: S – имя переменной типа «сигнатура»; M – имя переменной типа «размер» и т. д.

Для полного описания элементарных условных знаков необходимо ввести следующие типы данных:

- *Signatura* – сигнатура;
- *Size* – размер и его частные случаи: *High* – высота и *Width* – ширина условного знака;
- *Orientation* – ориентация;
- *Color* – цвет;
- *Intensity* – яркость;
- *Thickness* – толщина.

Перечисленные типы данных будем называть *графическими типами*, а их имена должны быть *зарезервированными словами* языка картографического отображения, то есть словами с предварительно определенной семантикой, которая не может изменяться. Каждый графический тип представляет собой конечное множество допустимых значений (домен) и операций над этими значениями. Будем считать, что *имя типа графических данных* является именем соответствующего домена, то есть обозначает определенное множество значений. Тогда тип графической переменной может быть указан с помощью

имени графического типа. Очевидно, что одному и тому же домену может быть поставлено в соответствие любое количество переменных.

С каждым доменом связано имя домена (обозначающее конкретный графический тип) и тело домена. *Имя домена* представляет собой последовательность символов, однозначным образом идентифицирующее тело домена. *Тело домена* – это множество элементов, каждый из которых является уникальным допустимым значением соответствующего типа. (Все элементы одного домена имеют один и тот же тип.) Каждый элемент домена представляет собой *графическую константу* – фиксированное значение соответствующего типа и может иметь *имя* (идентификатор), предназначенное для указания этого значения.

Отметим, что следует различать тождество имен констант и тождество их значений. Требование уникальности элементов домена следует из того, что мы определили тело домена как множество. Это требование не является обязательным, домен мог быть определен как совокупность некоторых допустимых значений фиксированного типа, среди которых возможны повторяющиеся значения, то есть как семейство. Но такое решение может привести к тому, что с добавлением новых значений в домен будет происходить его засорение повторяющимися значениями. Существует опасность того, что с увеличением числа элементов в том или ином домене будет наблюдаться возрастание не только абсолютного числа повторяющихся значений, но и их относительной доли. Определение доменов как множеств, а не семейств, позволяет делать домены более управляемыми.

Таким образом, каждое значение графической константы может быть связано с уникальным именем. Существование синонимов графических констант нежелательно по той причине, что оно влечет за собой неоднозначность ссылок на одни и те же значения и потенциальный беспорядок при описании условных знаков.

В принципе, при описании картографического условного знака значения графических констант могут указываться непосредственно либо с помощью имени – ссылки на некоторый элемент соответствующего домена. Но использование указателей не является необходимым, описание условного знака может быть осуществлено с использованием только непосредственного указания значений. Способ непосредственного указания некоторых графических констант является более наглядным, а использование ссылок – более компактным. Программное обеспечение автоматизированной картографической системы должно обладать возможностью отображать описание условных знаков как в неявном виде, так и в явном, что может осуществляться подстановкой вместо имени константы ее значения. Кроме того, представляется целесообразным использование набора (графических) функций как устанавливающих, так и возвращающих те или иные параметры условных знаков. Имена таких функций могут использоваться в выражениях наряду с константами и переменными арифметического и других типов.

Здесь необходимо сделать одно замечание по поводу того, что является ссылкой на некоторую константу. Вообще то, любое имя, присвоенное

константе, уже является ссылкой на нее. Поэтому, если говорить точно, то под непосредственным указанием константы следует понимать ее представление в виде литерала, а обращение к ней по имени следует понимать как ссылку на нее. Такое толкование наглядно проявляется для элементарных свойств, например, чисел или последовательностей символов. Так, число 3,14 является непосредственным представлением, а π – ссылкой на указанное значение. Таким же образом мы можем непосредственно представить определенную комбинацию значений составляющих цветов, которой можем присвоить имя «коричневый», или «фиолетовый» и т. п.

Несколько сложнее ситуация с представлением таких составных объектов, как сигнатура. При описании условного знака мы можем включить определение сигнатуры непосредственно в текст определения условного знака. Например, две концентрических окружности черного цвета диаметром 1 и 2 мм и толщиной 0,1 мм можно представить непосредственно как

```
UZ uz_n=  
{ Signatura s = circle + circle*2;  
  Size m = 2.5;  
  Orient o = 0;  
  Color c = "черный";  
  Intensity i = 100;  
  Think t = 0.1;  
},  
либо неявно с использованием имени сигнатуры  
UZ uz_n=  
{ Signatura s = S123;  
  Size m = 2.5;  
  Orient o = 0;  
  Color c = "черный";  
  Intensity i = 100;  
  Think t = 0.1;  
},
```

где S123 – определенная в другом месте сигнатура

Signatura S123 = circle + circle 1/2;

Для ссылки на некоторое значение в том или ином домене или обращения к этому элементу можно использовать три способа записи. Первой возможностью является запись в функциональном стиле: $D(a_1, \dots, a_n)$, где D – имя домена, а в скобках перечисляются параметры, однозначно идентифицирующие элемент, принадлежащий домену. Поэтому выражение $D(a_1, \dots, a_n)$ можно рассматривать как выражение, определяющее значение соответствующего типа. Как оно будет реализовано, для картографов не существенно. Если оно будет действительно реализовано как функция, то следует считать, что каждая такая функция возвращает значение, принадлежащее определенному домену (сигнатур, размера и т. п.).

Другой возможностью является использование составных имен вида $D.i$, подобных обращению к элементу структуры в языках C и C++, где D –

уникальное имя домена, а i – уникальное имя элемента в домене. Наконец, можно использовать запись, напоминающую обращение к элементу массива $D[i]$, где D – имя домена, а i – порядковый номер элемента в домене. Можно использовать все три способа записи и предоставить картографам возможность выбирать между вариантами. Данный вопрос не является принципиальным и может быть решен в процессе разработки языка.

Домен сигнатур является конечным множеством сигнатур, то есть совокупностью сигнатур, среди которых нет тождественных. Сигнатуры в пределах домена могут однозначно именоваться различным образом: либо *нумерацией* – взаимно однозначным отображением N множества сигнатур S в множество целых чисел $N: S \rightarrow (1, \dots, n)$, где n – число сигнатур в домене, либо с помощью содержательных имен (*circle, square, rectangle, arrow* и т. п.).

Сигнатура как структурно сложный объект отличается от простых объектов, например, от вектора. Чтобы задать вектор на плоскости, достаточно указать два числа: либо его проекции на оси координат, либо его длину и направление (угол). Сигнатура в общем случае отличается большей неопределенностью; число ее элементов является переменным, также как и значения параметров каждого элемента. Чтобы задать сигнатуру, необходимо указать все ее элементы и такие параметры каждого элемента как размер, ориентацию и положение относительно других элементов сигнатуры.

Домен размеров представляет собой подмножество положительных вещественных чисел, ограниченное снизу и сверху. Каждое значение, принадлежащее данному домену, представляет собой коэффициент, на который умножаются все координаты сигнатуры для получения отдельного экземпляра сигнатуры (и условного знака). Можно принять соглашение о включении в домен размеров нулевого значения, которое может использоваться для указания на то, что данная сигнатура игнорируется и не вычерчивается.

Для конкретного условного знака размер задается в виде $D(b, l)$, где D – идентификатор размера; b – значение, указывающее размер сигнатуры по ширине; l – значение, указывающее длину (или высоту) сигнатуры. Если размер условного знака по высоте и ширине один и тот же, то можно использовать эллипсис или правило умолчания, записывая значение размера как $D(a)$, что соответствует $(b = a) \wedge (l = a)$.

Для определения размеров конкретного условного знака могут использоваться функции, возвращающие некоторые параметры отображаемого объекта: длину, ширину, площадь... Пусть, например, требуется вычерчивать условные знаки населенных пунктов в виде окружности, радиус r которой зависит от числа жителей в них. Тогда мы могли бы использовать, например, такую функцию, определяющую размеры условного знака в миллиметрах, как $r = a + b \lg n$, где n – число жителей. Если на карте изображены населенные пункты и города численностью от 1 до 10^7 человек, то размеры условного знака распределятся в диапазоне от a до $a + 7b$ мм. (Если, например, $a = 1$ и $b = 0,5$, то $1 \leq r \leq 4,5$ мм.)

Домен ориентации представляет собой (ограниченное) множество вещественных чисел в диапазоне от -2π до 2π . Но из практических соображений его следует рассматривать как множество целых чисел в диапазоне от 0 до некоторого максимального N , значение которого определяется как величина, обратная значению дискрета δ : $N = \frac{2\pi}{\delta}$. Значение δ удобнее определять в градусной мере. Дискретизация углов, задающих ориентацию условного знака, позволяет использовать для ее указания запись в виде $D(i)$, где D – имя домена ориентации, а i – значение угла поворота условного знака по часовой стрелке, выраженное в дискретах. Поворот сигнатуры осуществляется относительно *точки привязки* сигнатуры. (Определение точки привязки дается в ГОСТ 50828.)

Домен цветов может определяться с использованием *RGB*-модели цветов (для вывода на экран монитора) или *CMYK*-модели (для целей полиграфии). Для обозначения этих двух доменов представляется естественным в качестве имен использовать символы *RGB* и *CMYK*. Тогда конкретные значения цветов в первой модели могут задаваться как $C = RGB(r, g, b)$, где r, g, b – целые числа в диапазоне от 0 до 255, соответствующие составляющим цветам, а для второй – как $C = CMYK(c, m, y, k)$, где c, m, y, k – значения соответствующих цветов. В отличие от доменов сигнатур, которые должны храниться в памяти, в хранении домена цветов (как всего множества допустимых значений) нет необходимости. Но необходимо указать *диапазон* допустимых значений (0 и 255) или (0 и 100) соответственно.

Домен яркости является конечным множеством целых чисел в диапазоне от 0 до 100, выражающих значение яркости в процентах (или от 0 до 1, или от 0 до 255). Значение 0 соответствует минимальному допустимому значению яркости, когда сигнатура не видна, а значение 100 – максимально возможному значению яркости. *Домен толщин* является подмножеством положительных вещественных чисел, имеющих наименьшее и наибольшее значение. Следовательно, значение толщины может указываться непосредственно как литерал.

Внутренняя организация доменов может быть различной. При хранении во внешней памяти все значения для графических переменных одного типа могут содержаться в одном файле. Выбор конкретной структуры домена должен решаться на этапе программной реализации. В одних случаях эффективной будет реализация домена в виде массива (вектора) значений, и тогда каждый элемент домена может однозначно идентифицироваться своим индексом. В других случаях это может быть список или многомерный массив.

По соображениям эффективности, видимо, разумнее создавать для некоторых доменов наборы файлов или блоки, в каждом из которых будут храниться подмножества допустимых предметных констант. Примером может служить домен сигнатур, поскольку на картах различного назначения (топографических, автодорожных, туристических, административных и т. п.) сформировался определенный набор условных знаков и, следовательно,

связанный с ними набор сигнатур. Кроме того, в качестве основания для деления домена сигнатур на блоки может служить их тип (точечные, линейные, полосные, площадные). Это означает, что класс «*Signatura*» является абстрактным классом по отношению к производным классам «*Signatura_1*», ..., «*Signatura_n*».

Множество толщин не является непрерывным, обычно используется несколько фиксированных значений; например, для топографических карт масштаба 1 : 10 000 используются толщины 0,10; 0,12; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,4; 0,45; 0,5; 0,6 и 0,7 мм. Поэтому домен толщин линий (сигнатур) для карт определенного вида и масштаба может рассматриваться как дискретное множество или перечислимый тип. Тогда домен толщин должен представляться с помощью перечисления допустимых значений, а при описании конкретных условных знаков для задания нужных значений толщины могут использоваться ссылки на них.

Аналогичным образом, то есть перечислением, могут определяться домены размеров, цветов и интенсивности. Перечисление более компактно, но, если не используются содержательные имена, менее наглядно. Поэтому картографу удобнее указывать значения этих графических констант в виде литералов, которые при вводе в компьютер программным путем должны преобразовываться в перечислимый тип. При выводе описания условного знака на языке картографического отображения должно осуществляться обратное преобразование и все графические константы должны представляться в явном виде, то есть как литералы.

Таким образом, для каждого типа карт может создаваться специальный набор доменов, каждому из которых необходимо давать уникальные имена. Тогда для указания значения конкретного типа, например сигнатуры, можно использовать составные имена вида *D.N.e*, где *D.N* идентифицируют тип данных (набор доменов) и конкретный домен в наборе доменов, а *e* – элемент домена.

Можно пойти дальше и компоновать домены «перо» (цвет + толщина + яркость) для каждого типа карт. Преимущество такого решения состоит в компактности внутримашинного представления описания условных знаков, а недостаток – в меньшей наглядности. Чтобы избавиться от указанного недостатка, можно реализовать работу программного обеспечения в режиме, когда при выводе описания условного знака вместо имени константы осуществляется подстановка ее значения, а вместо имени более сложного объекта (сигнатуры, элементарного условного знака...) производится подстановка тела его определения.

После формирования условного знака требуется установить соответствие между ним и определенным типом объектов местности. Совокупность правил, ставящих каждому типу объекта местности в соответствие определенный условный знак, – это и есть картографическое отображение, описываемое метаформулой (10.11). Каждое правило является имплицативным высказыванием вида $A \rightarrow B$, где \rightarrow – логический оператор импликации. Для

представления импликативных высказываний язык картографического отображения может содержать заимствованные из C++ условные выражения

$if(A) Z;$ и $if(A) Z1; else Z2;$

где A – некоторое истинностное выражение; Z , $Z1$ и $Z2$ – графические выражения. Тогда каждое правило, устанавливающее соответствие между объектом и его картографическим изображением, может быть описано с помощью условных выражений. Определение такого соответствия является едва ли не единственной причиной необходимости введения в язык картографического отображения условных выражений. Наряду с условными выражениями, в язык может быть введено выражение «переключатель», аналогичное оператору *switch* в C++.

Соответствие между некоторым типом объекта и элементарным условным знаком устанавливается с помощью выражений, имеющих следующую структуру:

$$(T == \tau_i \wedge D_{ij} == d_{ijk}) \rightarrow (S = s_k \wedge M = m_k \wedge O = o_k \wedge C = c_k \wedge I = i_k \wedge T = t_k), \quad (10.19)$$

где T – предметная переменная «тип объекта»; τ – константа, обозначающая некоторый фиксированный тип объекта; D – предметная переменная, обозначающая некоторое свойство; d – значение этого свойства; S , M , O , C , I и T – графические переменные сигнатура, масштаб, ориентация, цвет, яркость и толщина; s , m , o , c , i и t – соответствующие графические константы; $==$ – символ операции сравнения «равно», $=$ – операция присваивания.

На языке картографического отображения выражение (10.19) может иметь, например, такой вид:

```
if (TObj == "Пункт ГТС") // условный знак пункта ГТС
uz = {
    S = triangle + point;
    M = 2;
    O = 0;
    C = black;
    I = 100;
    T = 0.1;
}
```

или

```
if (TObj == "Пункт ГТС")
uz = {S = (triangle + point)*M(2)*O(0) *C(black) *I(100) *T(0.1)}
```

До сих пор, рассматривая выражение (10.11), мы ограничивались элементарными условными знаками. Но (10.11) является самым общим выражением, поэтому оно остается справедливым при использовании и таких изобразительных средств, как надписи.

Вначале рассмотрим, как более простой, случай, когда характеристики объекта представляются одной надписью. Тогда метаформулу (10.11) более подробно можно записать как импликативное высказывание или продукцию

$$(\tau == t_i \wedge D_{ij} == d_{ijk}) \rightarrow (S = s_l \wedge Q_{lm} = q_{lmn}), \quad (10.20)$$

где τ обозначает понятие или предметную переменную «тип объекта»;

t_i – конкретный тип объекта (предметная константа);

D_{ij} – название j -го свойства, присущего любому типу объекту t_i ;

d_{ijk} – значение свойства D_{ij} ;

S – графическая переменная «текст»;

s_l – значение, принимаемое переменной S ;

Q_{lm} – графическая переменная, характеризующая S ;

q_{lmn} – некоторое значение в виде константы, принимаемое переменной

Q_{lm} .

В формуле (10.20) подвыражение $D_{ij} == d_{ijk}$, входящее в антецедент, является простым условием. В более сложных случаях условная часть правила представляет собой составное высказывание, полученное дизъюнкцией и/или конъюнкцией нескольких простых высказываний вида $D_{ij} @ d_{ijk}$, где $@$ – символ операции сравнения ($<$, \leq , $==$, \geq , $>$). Примеры сложных посылок подобных правил на естественном языке:

1. Если тип объекта $==$ поселок сельского типа \wedge число домов $> 99 \wedge$ число домов < 200 , то...

2. Если тип объекта $=$ город \wedge статус $==$ центр субъекта РФ \vee (население $> 99999 \wedge$ население $< 500\,000$), то...

Но структура посылки каждого правила зависит от того, каким образом мы мыслим отображаемые объекты и каким образом они представлены в базе топографических знаний и базах топографических данных, что можно показать на примере судоходной реки и многих других объектов.

При создании базы топографических знаний мы могли создать два типа объектов, являющихся разновидностями объекта «река»: «река судоходная» и «река несудоходная». Тогда в базе топографических данных (геоинформационной модели) могли бы присутствовать объекты двух указанных видов, а правило для картографического отображения судоходных рек необходимо было бы сформулировать следующим образом:

«Если тип объекта $==$ “река судоходная”, то текст = имя собственное \wedge шрифт = Академический курсив (А-431) \wedge размер = 6.0 \wedge цвет = голубой \wedge буквы = заглавные \wedge разрядка = нет \wedge подчеркивание = нет».

Но при создании базы топографических знаний мы могли поступить иначе и определить объект «река», обладающий свойством «судоходность». Тогда наше правило отображения судоходных рек мы должны представить как

«Если тип объекта $==$ “река” \wedge значение свойства “судоходность” $==$ “судоходная”, то текст = имя собственное \wedge шрифт = Академический курсив (А-431) \wedge размер = 6.0 \wedge цвет = голубой \wedge буквы = заглавные \wedge разрядка = нет \wedge подчеркивание = нет».

Из данного примера следуют два очевидных вывода:

1) содержание базы топографических данных должно соответствовать содержанию базы топографических знаний;

2) структура посылок правил картографического отображения определяется структурой базы топографических знаний.

Но программное обеспечение автоматизированной картографической или геоинформационной системы может быть разработано таким образом, что программа сможет выбрать нужный условный знак даже при условии неточного совпадения структур базы топографических знаний и базы картографических знаний на основе использования правил вывода. Так, если

1. в БД хранится объект «река», имеющий свойство «судоходность», значение которого равно «судоходная»,

2. и в базе картографических знаний существует правило для вычерчивания объектов типа «река судоходная»,

3. и в базе топографических знаний имеются сведения о том, что «река судоходная» является разновидностью объекта «река», у которого свойство «судоходность» имеет значение «судоходная», то в принципе в программе не столь сложно реализовать логический вывод, что позволит ей найти релевантное правило для вычерчивания условных знаков судоходных рек. Таким образом, интеллектуальные способности системы картографического отображения существенным образом зависят от функциональных возможностей системы управления базой топографических знаний, полноты и разнообразия топографических знаний.

В сложных правилах в принципиальном отношении ничего не изменяется, разве что сами правила становятся длиннее и сложнее для восприятия. В качестве не очень сложного правила приведем относительно полное правило для вычерчивания условного знака колодца с механическим подъемом воды [8]:

```
struct UZ;                                // объявление элементарного UЗ как
класса
{
    Signatura s;                          // сигнатура
    Size m;                               // размер условного знака
    Orient o;                             // ориентация
    Color c;                              // цвет
    Intensity i;                          // яркость
    Thickness t;                          // толщина линий
} // конец определения UЗ

struct TEXT                               // определение класса надписи
{
    Contents cont;                        // содержание
    Font fnt;                             // шрифт T-132
    float hsize;                          // высота шрифта
    float orient;                         // ориентация надписи
    Color clr;                             // цвет надписи
    int intens = 100;                     // яркость надписи
}
```

/ остальные параметры надписи (ширина символов, наличие разрядки, наклон и т. д.) опущены, так как предполагается, что они указаны при определении класса FONT*

**/*

} // конец определения класса TEXT

struct TEXT_AREA4

{ определение области надписей

float areax; // размер области надписей по оси X

float areay; // размер области надписей по оси Y

float arealoc; // расположение области относит. УЗ

float linex; // параметры гориз. черты

float liney;

float linel;

float f1x; // определение поля 1

float f1y;

Text f1t;

float f2x; //определение поля 2

float f2y;

Text f2t;

float f3x; // определение поля 3

float f3y;

Text f3t;

float f4x; // определение поля 4

float f4y;

Text f4t;

} конец определения области надписей

struct KUZ

{ UZ uz241; // элементарный УЗ 241

TEXT_AREA4 ta4; // область надписей

}

KUZ kuz241;

// определение УЗ “колодец с механическим подъемом воды”

if (TObj == “колодец” ^ подъем воды == “механический”) // посылка правила

{ // заключение

{// описание элементарного УЗ 241

kuz241.uz241.s = circle + point;

kuz241.uz241.m = 1.4;

kuz241.uz241.o = 0;

kuz241.uz241.c = голубой;

kuz241.uz241.i = 0.5;

kuz241.uz241.t = 0.1;

}// конец определения УЗ 241

```

{ // описание надписи t1
kuz241.t1.cont = отметка поверхности земли;
kuz241.t1.fnt = T132;           // шрифт T-132
kuz241.t1.hsize = 2.5;
kuz241.t1.orient = 0;
kuz241.t1.clr = черный;
kuz241.t1.intens = 100;
/* остальные параметры надписи (ширина символов, наличие разрядки,
наклон и т. д. опущены, так как предполагается их указание при определении
шрифтов
*/
} // конец определения t1

{ // описание надписи t2
kuz241.t2.cont = глубина до уровня воды в метрах;
kuz241.t2.fnt = T131;           // шрифт T-131
kuz241.t2.hsize = 2.0;
kuz241.t2.orient = 0;
kuz241.t2.clr = голубой;
kuz241.t2.intens = 100;
} // конец определения t2

{ // описание надписи t3
kuz241.t3.cont = глубина до дна в метрах;
kuz241.t3.fnt = T131;
kuz241.t3.hsize = 2.0;
kuz241.t3.orient = 0;
kuz241.t3.clr = голубой;
kuz241.t3.intens = 100;
} // конец определения t3

{ // описание надписи t4
kuz241.t4.cont = "насос";
kuz241.t4.fnt = T131;           // шрифт T-131
kuz241.t4.hsize = 2.0;
kuz241.t4.orient = 0;
kuz241.t4.clr = черный;
kuz241.t4.intens = 100;
} // конец определения t4

{ определение области надписей
kuz241.ta4.areax = 5.0
kuz241.ta4.areay = 10.0 ;
kuz241.ta4.arealoc = "справа";
kuz241.ta4.linex = 0;

```

```

kuz241.ta4.liney = 2.5;
kuz241.ta4.linel = 5.0;
kuz241.ta4.f1.x = 2.7;           // поле 1
kuz241.ta4.f1.y = 0.0;
kuz241.ta4.f1.t = t1;
kuz241.ta4.f2.x = 0.0;           // поле 2
kuz241.ta4.f2.y = 0.0;
kuz241.ta4.f2.t = t2;
kuz241.ta4.f3.x = 0.0;           // поле 3
kuz241.ta4.f3.y = 2.7;
kuz241.ta4.f3.t = t3;
kuz241.ta4.f4.x = 2.5;           // поле 4
kuz241.ta4.f4.y = 5.0;
kuz241.ta4.f4.t = t4;
} конец определения области надписей
} конец заключения
} // конец правила.

```

В данном примере можно обнаружить, что отношения между классами организованы иначе (рис. 10.28).

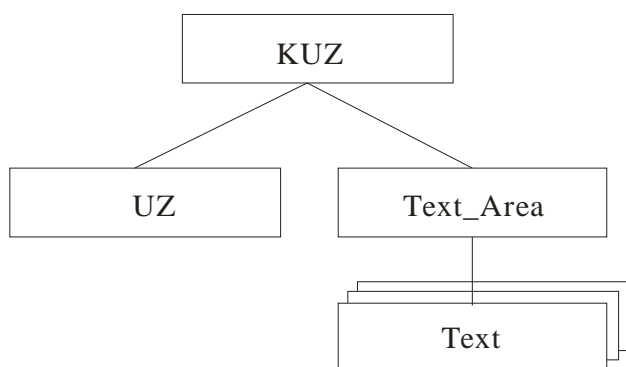


Рис. 10.28. Отношение агрегации между классами

Особенностью приведенного правила является его независимость от других правил и определений, за исключением типов, определяемых пользователем и имеющих имена *Signatura*, *Text* и т. п. Слабая зависимость от других правил и определений является положительной стороной данного определения, но, если внимательно изучить вышеприведенный текст определения условного знака колодца с механическим подъемом воды, то можно прийти к выводу, что оно достаточно сложно и длинно и может

быть упрощено.

Чтобы достичь сокращения не только данного определения, но и других, переменные типов «область надписей», «поле надписи» и «надпись» должны трактоваться как частные случаи сигнатуры. После некоторых размышлений данное утверждение становится достаточно очевидным. Тогда становится излишним такой объект как поле надписи, а к переменным типов «надпись» и «область надписей» могут применяться все операции над сигнатурами.

Шрифт можно рассматривать как домен элементарных сигнатур, из которого выбираются значения конкретных сигнатур, соответствующие вполне определенным символам: буквам, цифрам, знакам препинания, знакам

математических операций и т. п. Тогда надписи и области надписей должны трактоваться как составные сигнатуры.

С наделением перечисленных типов объектов свойствами сигнатуры и сигнатурными операциями:

- описание картографических объектов становится более компактным и единообразным, для чего требуется построить иерархию классов, корнем которой является абстрактный класс «сигнатура»;

- теория формальной картографии приобретает более стройный вид и последовательность.

10.16. Представление картографических знаний

Используемые в ГИС и системах автоматизированного картографирования данные и знания естественным образом разделяются на топографические (или географические) и картографические. Топографические знания необходимы для решения различных задач на земной поверхности и представляют собой знания о предметной области. Они описывают абстрактные объекты земной поверхности, их свойства и отношения вне зависимости от того, изображаются реальные (индивидуальные) объекты на картах или нет. Топографические (или географические) данные описывают конкретный фрагмент географического пространства.

Очевидно, что эффективное представление картографических изображений зависит от воспринимающего их субъекта. Если таким субъектом является человек, то ему удобнее всего воспринимать картографическое изображение в непосредственном виде, а не его представление в виде некоторого описания. Но мы вынуждены использовать формализованное описание (модель) картографического изображения как более строгое и компактное.

Картографические знания необходимы для представления содержания топографических данных в виде, удобном для восприятия человеком, и содержат описание картографического отображения – требования к представлению объектов земной поверхности, их свойств и отношений с помощью доступных картографу изобразительных средств. Таким образом, топографические знания и данные описывают предметную область, а картографические знания представляют собой знания об определенном способе представления топографических данных.

Самым важным вопросом в представлении знаний является выбор модели картографических знаний, поскольку последняя определяет эксплуатационные характеристики любой системы, основанной на обработке знаний. Выбор конкретной модели знаний определяется спецификой предметной области. Самыми важными критериями при выборе модели знаний считаются однородность представления и простота понимания. Однородность представления создает предпосылки для упрощения механизма управления знаниями и упрощения логического вывода. Требование простоты понимания имеет своей целью снижение затрат на создание системы экспертами и ее изучение и применение пользователями. Важным свойством является

обозримость модели, поскольку труднообозримую совокупность знаний столь же трудно понять. Решением проблемы сложности представления картографических знаний может служить их фрагментация на относительно независимые и однородные блоки знаний. На самом верхнем уровне такими блоками являются сигнатуры, условные знаки и правила картографического отображения.

Описанная выше база топографических знаний представляет собой разработку модели знаний на семантических сетях. Проблема выбора из четырех указанных типов моделей знаний модели для представления картографических знаний, по нашему мнению, решается однозначно – в качестве таковых, вне всяких сомнений, должны быть использованы продукционные модели.

Специфика автоматизированных систем картографирования и ГИС такова, что в них должен использоваться прямой вывод. Кроме того, среди продукционных систем системы с прямым выводом являются (как уже отмечалось выше) основополагающими. Очевидно, что при выводе картографического изображения не рационально перебирать условные знаки в надежде, что в базе топографических данных найдется объект соответствующего типа.

Картографические системы, основанные на правилах, должны включать четыре обязательных компонента:

- базу знаний о предметной области;
- базу топографических данных, содержащую множество фактов из предметной области;
- базу картографических знаний;
- интерпретатор, осуществляющий построение (описание) картографического изображения на основе логического вывода с использованием набора правил (см. рис. 10.26).

(Мы даже можем считать, с некоторыми оговорками, что в базе топографических данных хранится картографическое изображение, но представленное на другом языке или в другой системе условных знаков.)

В системах, основанных на знаниях, базу данных называют также рабочей областью, рабочей памятью или памятью для временного хранения. В процессе логического вывода результаты вывода замещают исходные данные – посылки. Но в интеллектуальных картографических системах топографические данные должны сохраняться, как имеющие самостоятельную ценность. Поэтому база данных должна разбиваться на две части: топографические и картографические данные (описание изображения), полученные в результате вывода.

База картографических знаний должна содержать три компонента: описания сигнатур, описания условных знаков и систему правил картографического отображения. Совокупность правил представляет собой систему продукций вида «если..., то...». Интерпретатор правил реализует механизм логического вывода. Направление потоков данных и знаний в процессе построения картографического изображения показано на рис. 10.26.

Построение (логический вывод) картографического изображения выполняется в виде многократного повторения процедуры «понимание – выполнение». Понимание в каждом цикле сводится к отождествлению состояния части данных, выбираемых из базы топографических данных и представляющих собой объект некоторого типа и его свойства, с левой частью одного из правил. Если в некотором цикле отождествление произошло успешно, то осуществляется формирование условного знака. По завершении логического вывода содержимое рабочей области оказывается в частично готовом состоянии. Для его приведения к окончательному виду требуется разрешить конфликты и выполнить взаимное согласование сигнатур условных знаков.

Таким образом, проблема получения картографического изображения в основанных на знаниях системах автоматизированного картографирования и геоинформационных системах сводится к решению двух задач: представлению картографических знаний и реализации механизма логического вывода, создающего описание картографического изображения конкретного участка земной поверхности. Такая организация подсистем картографического отображения позволяет придать им гибкость, а уже на ее основе достичь определенной универсальности, поскольку с одним и тем же механизмом логического вывода могут использоваться различные наборы правил, в результате чего появляется возможность автоматически создавать карты различного назначения и тематического содержания.

Задача представления картографических знаний и картографических изображений распадается на две подзадачи: внутреннее представление в системах геомоделирования и внешнее представление, основной целью которого является распространение и межсистемный обмен картографическими знаниями и изображениями.

Внутреннее представление картографических знаний является проблемой разработчиков систем геомоделирования. В данный момент мы можем абстрагироваться от некоторых деталей внутреннего представления картографических знаний и рассмотреть вопрос о принципиальной стороне их представления как совокупности имплицативных высказываний. В обычной речи любое высказывание является повествовательным предложением. Картографические знания, как и любые другие, в ЭВМ также могут быть представлены в виде предложений естественного языка. Но такое их представление, называемое в обработке данных неструктурированным, крайне неэффективно. Во-первых, избыточность естественных языков общеизвестна. Во-вторых, для извлечения специальных знаний из каждого предложения потребуется его общий грамматический разбор. Однако, грамматический анализ предложений естественного языка является достаточно сложной задачей, решения которой можно вообще избежать при выборе другой формы представления картографических знаний.

Для эффективного представления данных и эффективного решения задач на ЭВМ любая предметная область подвергается структуризации. Частным и наиболее общеупотребительным случаем структурированного представления

данных является их организация в виде таблиц. Таблицы были придуманы задолго до появления ЭВМ и всегда используются человеком для представления более или менее значительных объемов однородной информации. В ЭВМ представление данных в виде таблиц также достаточно эффективно.

Каждому отображаемому на карте или плане типу объектов может быть поставлено в соответствие одно или несколько правил в базе знаний. Мы можем принять соглашение, в соответствии с которым все объекты некоторого типа, для которого в базе знаний нет ни одного правила, на карте не отображаются. Каждое правило, представляющее собой, как отмечалось выше, имплицативное высказывание, можно разделить прежде всего на два простых высказывания: антецедент и консеквент. После этого внутреннее представление каждого простого высказывания (как посылки, так и заключения) может быть выполнено на основе субъектно-предикатной структуры высказываний, что является наиболее разумным и естественным решением.

Антецедент каждого простого правила может быть представлен в виде отношения

$$A(s, x, o, z),$$

где s – субъект высказывания – тип топографических объектов (в более общем случае – объектов предметной области);

x – наименование свойства объекта;

o – оператор отношения ($<$, \leq , $=$, \neq , $>$, \geq , \in – оператор принадлежности множеству, \notin);

z – значение свойства.

Некоторые примеры антецедентов приводятся в табл. 10.6.

Таблица 10.6. Простые посылки правил картографического отображения

Номер правила	Субъект	Название свойства	Оператор	Значение свойства
1	Населенный пункт	Количество жителей	$<$	1 000
2	Река	Ширина русла	$>$	6 м
3	Дорога	Материал покрытия	$=$	Бетон
4	Лес	Расстояние между деревьями		

В табл. 10.6 все понятия даны в текстовом виде исключительно в иллюстративных целях. Реальная таблица, хранимая в памяти компьютера, должна содержать не наименования объектов, свойств и текстовых значений, а их коды. Из таблицы также следует, что условие может отсутствовать (последняя строка). Отсутствие оператора сравнения следует понимать как то, что данная характеристика выводится всегда и не влияет на вид условного знака.

Выше посылка каждого правила рассматривалась как простое высказывание, что не всегда имеет место. В действительности посылки картографических правил часто являются сложными (составными) высказываниями, представляющими собой дизъюнкцию или конъюнкцию. Примером дизъюнктивного высказывания может служить посылка «Если материал постройки здания – кирпич или материал постройки здания – камень

или материал постройки здания – бетон». В качестве примера конъюнктивного высказывания может служить антецедент правила «Если число жителей населенного пункта $> 1\,000$ и число жителей $\leq 10\,000$ ».

Таким образом, возникает проблема представления в базе картографических знаний сложных высказываний, являющихся дизъюнктивными или конъюнктивными высказываниями. В теории искусственного интеллекта она известна как проблема представления И/ИЛИ-деревьев. Примером такого дерева служит рис. 10.29. В общем случае число уровней может быть сколь угодно большим. В системах картографического отображения реальное число уровней едва ли будет больше трех.

На рис. 10.29 дуга, стягивающая две или более ветвей, обозначает конъюнкцию соответствующих высказываний. Дерево, изображенное на рис. 10.29, в символьном виде может быть представлено как сложное высказывание

$$A = B \wedge C \vee D \vee E.$$

В общем случае каждое из высказываний B, C, D, \dots может быть сколь угодно сложным. В данном примере сложным является высказывание D

$$D = F \vee G \wedge H,$$

которое будет истинным, если истинным является высказывание F или конъюнкция высказываний G и H . Тогда высказывание A в символьном виде записывается как

$$A = B \wedge C \vee (F \vee G \wedge H) \vee E,$$

где все высказывания являются элементарными. Для представления сколь угодно сложных высказываний в ЭВМ может использоваться символьная запись, с той разницей, что вместо символов A, B, C, \dots должны указываться номера правил.

Кроме того, решение проблемы представления произвольных И/ИЛИ-деревьев может быть получено путем их замены эквивалентными двоичными деревьями. Для этого каждое сложное высказывание представляется в виде дизъюнкции или конъюнкции двух высказываний. Представление дерева, изображенного на рис. 10.29, в виде двоичного дерева показано на рис. 10.30. Каждое двоичное дерево И/ИЛИ легко может быть представлено с помощью таблиц (табл. 10.7). Нетрудно видеть, что двоичное дерево соответствует тому же выражению

$$A = B \wedge C \vee (F \vee G \wedge H) \vee E.$$

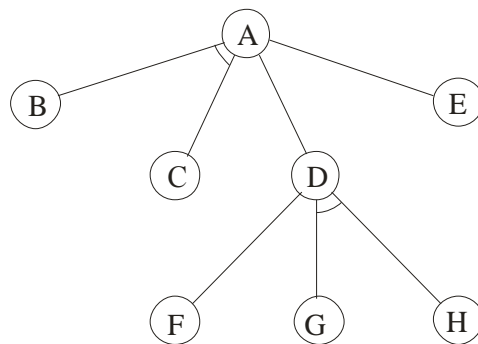


Рис. 10.29 Пример
И/ИЛИ-дерева

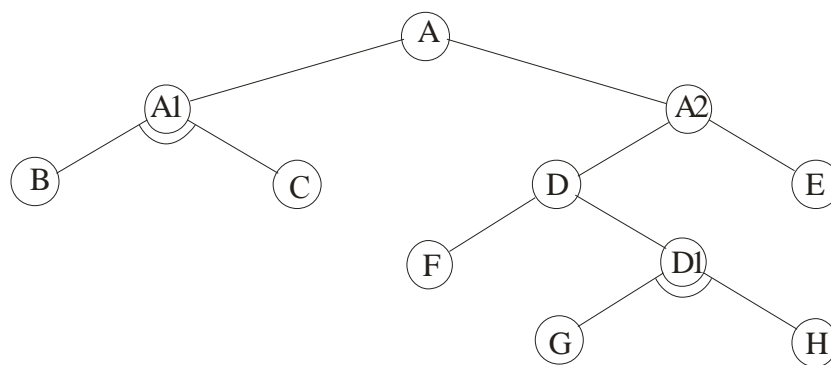


Рис. 10.30. Двоичное И/ИЛИ-дерево

Таблица 10.7. Представление двоичного дерева И/ИЛИ

Узел	Левый узел	Оператор	Правый узел
A	A1	∨	A2
A1	B	∧	C
A2	D	∨	E
D	F	∨	D1
D1	G	∧	H

Представление консеквента каждого правила картографического отображения осуществляется намного проще. Каждой посылке правила соответствует только одно заключение. Представление структуры консеквентов правил картографического отображения дано в табл.10.8.

Таблица 10.8. Представление заключений картографических правил в табличном виде

Номер правила	S	L	B	O	C	I	T
1	123	1	1	0	синий	1	0.12
2	333	1.5	1.5	90	черный	0.5	0.3

Каждая строка данной таблицы может рассматриваться как высказывание о параметрах немасштабного условного знака. Посылка и заключение каждого правила могут трактоваться как имплицативное высказывание о том, что если отображаемый объект имеет такой-то тип и такие-то характеристики, то его условный знак имеет такие-то параметры. Структура высказываний о картографическом отображении линейных, полосных и площадных объектов сложнее, но с принципиальной точки зрения эти отличия не существенны.

Как ни удобны сами по себе таблицы, следует признать, что их использование для внутреннего представления картографических знаний мало пригодно, так как выражения языка картографического отображения могут быть слишком сложными для того, чтобы любое из них можно было бы поместить в такого рода таблицы. Поэтому для внутреннего представления правил картографического отображения эффективнее использовать списки. Каждое правило в таком случае представляется в виде дерева (поддерева), корень которого помечается меткой И или ИЛИ, и все дочерние вершины которого являются вершинами одного типа.

Что касается внешнего представления правил картографического отображения, то табличные языки (самые удобные из всех языков) и таблицы для этой цели также малопригодны. Возможно, что самое большее, что можно сделать, – это использовать таблицы с двумя графами, левая часть которых содержит посылку правила, а правая – заключение, а посылки и заключения представляются в них в символьном виде.

10.17. Использование знаний в системах картографического отображения

Очевидный способ использования знаний – это создание программой-интерпретатором описания картографического изображения, соответствующего содержанию базы топографических данных. Мы здесь намерены рассмотреть не столь прямолинейные и очевидные способы применения знаний в системах картографического отображения.

Создание баз топографических и картографических знаний не является самоцелью. Они разрабатываются для повышения эффективности систем картографического отображения. Некоторые преимущества использования топографических знаний, в частности – возможность минимизации объема семантических данных, были рассмотрены выше. Теперь мы можем рассмотреть другие преимущества интеллектуализации систем геомоделирования, их функционирования как систем, основанных на обработке знаний.

Использование картографических знаний базируется на применении формального аппарата логики, в которой выделяют два принципиально различных способа вывода: дедуктивный и индуктивный.

10.17.1. Использование дедуктивного вывода

Рассмотрим дедуктивный вывод, совместно использующий базу топографических знаний, описанную в главе 9, и картографические знания на примере родовидовых отношений. Пусть в базе картографических знаний среди прочих в том или ином виде хранятся следующие правила:

1. Линейный объект гидрографии вычерчивается синим цветом.
2. Площадной объект гидрографии вычерчивается голубым цветом (заливка).
3. Граница площадного объекта гидрографии вычерчивается синим цветом.

Пусть межобъектное родовидовое отношение в базе топографических знаний представлено в виде двойки $R(r,w)$, где r – термин, обозначающий родовой объект, а w – термин, указывающий на разновидность родового объекта. Фрагмент межобъектного родовидового отношения представлен в табл. 10.9.

Таблица 10.9. Фрагмент родовидового отношения между объектами

№	Квантор	Субъект	Предикат
...
<i>i</i>	\forall	Луг	Объект растительности
<i>j</i>	\forall	Водоем	Объект гидрографии
<i>k</i>	\forall	Водоток	Объект гидрографии
	
<i>l</i>	\forall	Река	Водоток
<i>m</i>	\exists	Река	Река судоходная
<i>n</i>	\forall	Ручей	Водоток
...

Каждую строку (кортеж) данной таблицы можно трактовать как простое категорическое высказывание. Например, строку *l* можно считать сжатой формой высказывания «Любая река является водотоком», а строку *m* – высказыванием «Некоторые реки являются судоходными».

Пусть требуется вычертить условный знак ручья. Однако в нашей базе картографических знаний отсутствуют правила вычерчивания условного знака ручья. В результате анализа родовидового отношения интеллектуальная система определит, что ручей является водотоком. Но применить какое-либо из трех приведенных выше правил система по-прежнему не может, поскольку в них также ничего не говорится о вычерчивании водотоков. Поэтому система продолжит поиск нужного правила и, в конце концов, установит, что водоток является линейным объектом гидрографии и может быть применено правило 1.

Таким образом, основными способами дедуктивного вывода в системе картографического отображения будут силлогизмы и правило модус поненс. Другой особенностью системы картографического отображения является совместное использование картографических знаний и семантической сети топографических знаний.

Совокупность картографических знаний могла бы быть организована иначе. Можно указать значения предметных констант для каждой предметной переменной в каждом правиле. Так, можно указать правила использования толщины, цвета, яркости, ... для отображения *каждого* элементарного объекта, в частности для реки, ручья, для каждого типа горизонтали: утолщенной, основной, дополнительной, вспомогательной и т. д., что приведет к определенному увеличению объема вводимых картографических знаний. Такой способ применялся выше в примерах описания условных знаков и сигнатур на языке картографического отображения.

Объем знаний является одним из факторов, определяющих не только возможности интеллектуальной системы, но и время, необходимое для наполнения базы знаний правилами. При увеличении объема *вводимых* знаний возрастает вероятность внесения ошибки пользователем при наполнении или корректировке базы знаний. Поэтому возрастание объема вводимых

картографических знаний следует считать крайне нежелательным и стремиться к их формулировке в наиболее общем виде.

На этом проблемы с определением представления картографических знаний не заканчиваются. Любая техническая система характеризуется множеством критериев оценки ее качества. Система критериев по своей природе является противоречивой: оптимизация одного критерия, как правило, приводит к ухудшению других показателей. Поэтому любое решение при проектировании и создании технических систем является результатом некоторого «разумного» компромисса между различными требованиями к системе.

Следовательно, предложенное выше решение о представлении картографических знаний требует некоторых оговорок. Представление картографических знаний в наиболее общем виде приведет к снижению быстродействия системы, поскольку ей будет требоваться время для логического вывода, извлечения знаний, представленных в базе знаний в неявном виде. Дать какую-либо количественную оценку степени снижения быстродействия априори не представляется возможным в силу сложности такой задачи. Но можно предложить решение, которое позволит сохранить как управляемость базы знаний, так и быстродействие системы картографического отображения.

Такое решение основано на принципе, который назовем принципом разделения знаний на общие и частные (или исходные и производные). *Общими знаниями* будем называть знания, формулируемые пользователем явно и в наиболее общем виде. *Частные знания* являются производными от общих знаний и представляют собой применение общих знаний к каждому типу отображаемых объектов. Общие знания формулируются картографом. Частные знания создаются системой автоматически и заблаговременно на основе общих картографических знаний и анализа межобъектного родовидового отношения базы топографических знаний. Поясним формирование частных знаний на примере. Пусть пользователь ввел общее правило «Объекты естественного рельефа отображаются коричневым цветом». Система, анализируя содержание межобъектного родовидового отношения, выбирает все разновидности объектов естественного рельефа (горизонталы, овраги, промоины, обрывы и т. п.) и каждому условному знаку для соответствующего объекта присваивает цвет «коричневый».

Отношения, представленные в базе топографических знаний, также могут рассматриваться как высказывания. Например, родовидовое отношение между объектами. Отношение – содержание высказывания, а само высказывание – форма представления некоторого содержания. Любой кортеж родовидового отношения между объектами есть высказывание о том, что объект *X* является разновидностью объекта *Y*. Можно считать, что эти высказывания являются квантифицированными, переменные в них связаны с помощью *квантора общности*. Так, *все озера* являются разновидностями водоемов; *все водоемы* являются объектами гидрографии, а *некоторые реки* являются судоходными.

Отметим еще одно обстоятельство. Известно, что в производственных системах существует проблема, значение которой столь велико, что некоторые авторы считают ее грандиозной. Это проблема поиска нужного правила из множества применимых правил, называемого *конфликтным набором*. Время выбора нужного правила (разрешения конфликта) зависит от объема знаний и самым непосредственным образом влияет на эффективность функционирования производственной системы в целом. В реальных производственных системах число правил может составлять от нескольких сотен до нескольких тысяч.

Такого же объема базы знаний необходимо создавать и в системах картографического отображения. Но в нашем случае можно значительно сузить область поиска необходимого правила, если базу знаний организовать не как в табл. 10.9, а иначе, определенным образом упорядочив правила. С этой целью будем считать, что номер (идентификатор) каждого правила является двухуровневым. На первом уровне номер правила принимается равным коду типа объектов. Тогда все правила, относящиеся к одному типу объектов, на первом уровне будут иметь один и тот же номер правила. На втором уровне осуществляется начинающаяся с 1 внутренняя нумерация правил, относящихся к одному типу. Все правила в базе картографических знаний должны храниться в упорядоченном виде, например, по возрастанию кодов объектов. Предлагаемая организация базы картографических знаний позволит резко сократить время выбора нужных правил и повысить эффективность функционирования систем автоматизированного картографирования и ГИС.

10.17.2. Использование индуктивного вывода

Индуктивные умозаключения не носят столь принципиального характера, как дедуктивный вывод, но и они могут дать в дальнейшем определенные преимущества, поскольку появляется возможность машинного «творчества» в области картографии. Разумеется, что в ближайшее время это «творчество» будет в основном сводиться к копированию решений, принятых человеком или другим компьютером. В лучшем случае это будет подражание, как сегодня компьютеры сочиняют музыку в стиле того или иного композитора.

Функционирование программы, использующей индуктивный вывод для создания картографических произведений, может быть следующим. Система, способная на индуктивные умозаключения, может проанализировать содержание и условные знаки карт определенного назначения, например, автодорожных. Это могут быть карты одного назначения, но разных масштабов, и/или карты, разработка которых осуществлялась разными людьми. В результате программа может составить перечень объектов и их свойств, подлежащих отображению на картах заданного типа. Таким же образом программа может осуществить выбор условных знаков, используемых для их отображения. При этом могут быть выданы рекомендации относительно использования изобразительных средств для отображения каждого свойства всех типов объектов.

Такое поведение программы не слишком отличается от действий картографа, перед которым поставлена задача создания карты определенного

типа. При отсутствии нормативных документов на ее создание человек в первую очередь изучает созданные его предшественниками аналогичные карты и размышляет. Картограф может переосмыслить содержание карты. Он может добавить типы объектов или их характеристики, которые, по его мнению, будут представлять интерес для пользователей данного вида карты, либо исключить некоторые из них, такового не представляющие. Равным образом он может внести корректировки в систему используемых условных знаков.

Именно в таких размышлениях принципиальная разница между программой и картографом. Но и сами эти размышления картографа возможны только потому, что он обладает большим запасом знаний о реальном мире, нежели компьютер. Если мы введем в базу картографических знаний знания о том, что

- любой человек нуждается в отдыхе, пище, медицинском обслуживании и т. п. и обладает любопытством (потребностью в усвоении новой информации);

- для удовлетворения соответствующих потребностей человека служат гостиницы, разного рода предприятия общественного питания, медицинские учреждения, музеи и т. п.;

- автомобиль требуется периодически заправлять бензином, а для этого служат заправочные станции;

- автомобиль может нуждаться в ремонте или техническом обслуживании, что может осуществляться на станциях технического обслуживания;

- для передвижения автомобиля предпочтительны дороги;

- различного типа дороги характеризуются тем или иным удобством (или скоростью, стоимостью) передвижения;

- препятствиями для автомобильного движения являются леса, болота, реки ..., то будет не слишком трудно разработать программу, которая определит содержание карты.

Однако такие умозаключения картографа (или программы) являются по своей сути дедуктивными. Несколько упрощая ситуацию, можно сказать, что картограф, осмысливая содержание карты, пользуется одним наиболее общим, универсальным правилом логического вывода: «Если объект (или его характеристика) представляет интерес для пользователя карты, то он (или она) включается в содержание карты». Квалификация картографа характеризуется умением изучать проблемную область, определяя содержание карты – состав объектов и их характеристик, и передавать его с помощью изобразительных средств.

Перечисленные выше в качестве примера знания о фрагменте реального мира (передвижении на автомобиле) представляют собой глубинные знания, содержанием которых являются каузальные (причинно-следственные) отношения отображаемого мира. Мы же сейчас рассматриваем вопрос об индуктивных умозаключениях. Индуктивные умозаключения о содержании карты определенного типа, основанные на анализе других карт этого типа, – это рассуждения по аналогии, действия на основе прецедентов. Знания

подобного рода можно считать поверхностными. Программа, рассуждающая индуктивным образом, по аналогии, не может понимать, почему некоторые объекты или их характеристики включены в содержание карты. Впрочем, иногда этого может не понимать и начинающий картограф.

Но если картограф должен действовать осмысленно, то от программы этого не требуется (в той мере, в какой это требуется от человека). Можно считать, что на своем уровне компетентности программа действует вполне рассудочно. Человек также может действовать вполне здраво, не совсем понимая причинно-следственные связи реального мира. Так, древние греки задолго до открытия болезнетворных бактерий считали воду вредной для здоровья и на этом основании даже рабам выдавали вино. Можно признать, что они действовали если не разумно, то, по крайней мере, вполне осмысленно.

Таким образом, вопрос о разумности поведения достаточно сложен. И определение признаков разумного поведения целью настоящей работы не является. Отметим только, что разумность поведения определяется не только самой способностью к умозаключениям, но и объемом знаний, необходимых человеку (или программе) для решения задач в конкретной проблемной области.

Для нас важна не столько сама по себе степень разумности программы проектирования карт, сколько ее способность повышать производительность, пропускную способность человеко-машинной системы. Коэффициент интеллектуальности системы картографического отображения может повышаться постепенно, путем наполнения базы знаний более глубокими знаниями. Данное обстоятельство является предпосылкой эволюции автоматизированных картографических систем.

На первых порах будет достаточно того, что наряду с предлагаемыми решениями программа будет выводить некоторый коэффициент доверия к ним, например, относительную частоту использования в других базах знаний. Разумеется, что в начальный период (если не всегда) разработка содержания и условных знаков карт будет интерактивной. Окончательное решение относительно использования рекомендаций программы будет оставаться за картографом. Но для реализации индуктивного вывода должен быть накоплен некоторый критический объем картографических знаний. И в этом также их значение.

10.18. Оценка предложения

На протяжении последних примерно 30 лет в топографическом картографировании наблюдается устойчивая тенденция к обеднению картографического изображения, сокращению числа используемых шрифтов и условных знаков и упрощению их начертания. Этой тенденции можно было дать рациональное объяснение при неавтоматизированном получении карт. Но парадокс здесь в том, что инициаторами выхолащивания картографического изображения выступали разработчики программных продуктов.

Формализация картографического отображения, наряду с другими перспективами, дает надежду на преодоление указанной тенденции.

Настоящая работа – не первая попытка создания формализованного картографического языка. Возможно, что впервые такой язык был предложен А.С. Васмутом в 1983 г. Наличие только общих сведений, представленных в [2], и отсутствие четкости послужили препятствием для его распространения. Указанная работа не создает впечатления завершенности и более или менее детальной проработки всех аспектов картографического языка. Скорее, это – только декларация о намерениях.

Вторая причина того, что предложения А.С. Васмута не получили заслуживающего внимания, – отсутствие формальной теории. Условные знаки в [2] рассматриваются в большей степени с позиций инженерной психологии, чем в аспекте автоматизированного получения карт и планов. При описании формальной модели картографического условного знака А.С. Васмут обращался к физиологической природе восприятия картографического изображения и рассматривал остроту зрения, порог контрастной чувствительности, двигательную реакцию глаза и такие свойства картографических условных знаков, как различимость, лаконичность и компактность композиционного решения и т. п. Эти вопросы имеют чрезвычайно важное значение при *проектировании* картографических условных знаков, но не играют практически никакой роли при разработке программного обеспечения автоматизированных картографических систем.

Вторая попытка описания картографического языка была предпринята в 1998 г. С.В. Шайтурой [9]. Однако главу «Машинный картографический язык» в указанной работе нельзя назвать даже минимальными требованиями к такому языку, настолько мал ее объем. Глава содержит некоторые предложения по грамматике формального языка картографических условных знаков и правила вывода машинно-ориентированных условных знаков в векторной и растровой (?) форме. Приложение 1 «Правила вывода объектов местности в формальной грамматике картографических условных знаков» к указанной работе нельзя назвать правилами вывода. По существу под этим названием скрывается некоторое упорядочивание объектов геопространства с использованием нотации Бэкуса – Наура. Вот самый краткий пример из упомянутого приложения:

<математические элементы, элементы плановой и высотной основы> ::=
<астрономические пункты> | <пункты ГГС> | <отметки высот>,

что следует понимать как «математические элементы или элементы плановой и высотной основы по определению есть либо астрономические пункты, либо пункты ГГС, либо отметки высот». Если называть вещи своими именами, то это – содержание одного из разделов условных знаков топографических карт, но никак не *правила картографического отображения*. По определению правила содержат посылки и заключения и имеют форму имплицативного высказывания «если ..., то ...». Кроме того, описание машинного картографического языка дано практически без использования изобразительных средств.

При всех их недостатках работы [2] и [9] служат подтверждением актуальности и сложности проблемы создания языка картографического отображения. Каких-либо более серьезных результатов в области формальной картографии со времени опубликования указанных работ получено не было. Разработка такого языка, вероятно, не будет единовременным актом, этому учат как история формирования современной математической символики (более 2 000 лет), так и история языков программирования. Первый из них появился более 50 лет назад. Сегодня количество языков программирования уже трудно поддается определению, по некоторым источникам оно превысило 10 000. Многие из них уже стали мертвыми, и их место заняли более совершенные языки. Некоторые языки сохраняются, постоянно эволюционируя в сторону расширения своих возможностей. Не исключено, что нечто подобное будет происходить и с языком картографического отображения.

Наше предложение представляет собой формальную систему – систему символов, элементами которой являются: 1) алфавит; 2) правила построения формул из символов алфавита; 3) аксиомы; 4) правила вывода из аксиом доказуемых формул. Аксиомами в нашем случае служат данные геоинформационной системы. Правила вывода – это совокупность правил картографического отображения и правил разрешения конфликтов.

Теория, основы которой здесь представлены, может быть названа алгеброй (анализом, исчислением) картографических изображений или формальной картографией. Но по своей сути она представляет собой именно алгебру картографических изображений. Основанием для такого утверждения служит современное понимание алгебры как науки «...о системах объектов той или иной природы, в которых установлены операции, по своим свойствам более или менее схожие со сложением и умножением чисел» [4, с. 47]. При этом предметом ее изучения являются свойства операций, а не свойства объектов, которые по своей природе могут быть какими угодно.

Данная глава является попыткой изложить основные принципы формализации в картографии без мистики и определить направление, в котором нужно двигаться. Это всего лишь общий план действий, а не отчет о языке картографического отображения, поэтому некоторые его аспекты здесь даже не упомянуты. Но разработка такой теории и языка необходимы, если мы хотим добиться качественных изменений в области автоматизации картографирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бертен Ж. Визуальное восприятие и картографическая транскрипция // Сб. перевод. статей. Картография. Вып. 1. Зарубежные концепции и направления исследований. – М.: Изд-во «Прогресс», 1983. – С. 76–94.
2. Васмут А.С. Моделирование в картографии с применением ЭВМ. – М.: Недра, 1983. – 200 с.
3. ГОСТ Р 50828–95. Геоинформационное картографирование. Пространственные данные, цифровые и электронные карты. Общие требования.
4. Математический энциклопедический словарь. – М.: Сов. энциклопедия, 1988. – 847 с.
5. Дьюхарст С., Старк К. Программирование на C++. – Киев: Диасофт, 1993. – 272 с.
6. C++. Язык программирования. – М.: И.В.К.-СОФТ, 1991. – 315 с.
7. Условные знаки для топографических карт масштабов 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000. – М.: ВТУ ГШ, 1983. – 91 с.
8. Условные знаки для топографической карты масштаба 1 : 10 000. – М.: Недра, 1977. – 143 с.
9. Шайтура С.В. Геоинформационные системы и методы их создания. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 1998. – 252 с.
10. Эллис М., Строуструп Б. Справочное руководство по языку программирования C++ с комментариями (Проект стандарта ANSI). – М.: Мир, 1992. – 445 с.
11. Кравченко Ю.А. Об исчислении картографических изображений и языке картографического отображения // Геодезия и картография. – 2002. – № 10. – С. 34–46.
12. Кравченко Ю.А. Использование знаний в системах картографического отображения // Геодезия и картография. – 2004. – № 12. – С. 36–44.

ПОСЛЕСЛОВИЕ

Одна из особенностей информационного моделирования геопространства (среды обитания человека) заключается в многообразии связей с другими областями знаний. Вторая его особенность – высокие темпы развития в настоящее время и, как следствие, быстрое старение «геоин-формационных» знаний.

Содержание книги необходимо рассматривать с учетом указанных факторов. В ней содержатся решения наиболее общих проблем представления, возникающих при создании систем информационного геомоделирования: геопространства в целом, реальной физической (топографической) поверхности Земли, дискретных объектов геопространства, картографических изображений. Таким образом, проблема информационного геомоделирования сводится к проблеме представления, что закономерно, поскольку любое моделирование, в том числе – информационное, или знаковое, неразрывно связано с некоторой презентацией определенных объектов. Свойства используемого представления определяют эффективность систем геомоделирования и качество получаемых с их помощью моделей: область применения, адекватность, точность и т. п.

Решение проблемы представления геопространства в целом достаточно очевидно – таковым должен быть эллипсоид вращения. Сложность при этом заключается в получении такой системы точных и замкнутых формул для решения задач на данной поверхности, которая делала бы возможным применение идей концептуального программирования.

Проблема представления реальной физической поверхности Земли, возможно, является наиболее разработанной в теоретическом отношении, поскольку ее решения базируются на традиционных математических методах. Поэтому она сводится, по существу, к поиску оптимальных решений из всего многообразия известных и/или возможных, выбору экономичных структур данных и разработке эффективных алгоритмов построения моделей.

Сложность проблемы создания информационных моделей дискретных объектов геопространства заключается в многообразии типов таких объектов и их свойств. Указанная проблема разделяется на относительно самостоятельные подпроблемы: представление семантической информации и представление пространственного положения объектов. Книга содержит описание представления семантической информации, основанное на моделировании человеческого мышления, и предложения по топологическому описанию положения дискретных объектов в геопространстве.

Проблема создания картографических изображений автоматом требует разработки теории формальной картографии. Последняя глава содержит наброски такой теории в виде алгебры картографических изображений. Семантизация, или интеллектуализация, информационного геомоделирования и формализация картографии в настоящее время являются наиболее перспективными направлениями, заслуживающими адекватного отношения, дальнейших исследований и определенных инвестиций.

Как представляется автору, содержание книги может быть положено в основу учебников по информационному геомоделированию. Автор также надеется, что она окажется полезной при решении проблемы создания долгожданного единого геоинформационного пространства в России, под которым понимается разработка решений по унификации и стандартизации в области информационного геомоделирования.