

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Забайкальский государственный университет

В. В. Потапов
А. Н. Шенин
Е. Ю. Юдицких

ГЕОИНФОРМАТИКА

Учебно-методическое пособие

Чита
ЗабГУ
2022

УДК 551:004(075)

ББК 26.3:32я73

П 64

Рекомендовано к изданию учебно-методическим советом
Забайкальского государственного университета

Рецензенты

Д. Л. Авгулевич, канд. геол.-минерал. наук, главный инженер
проектов обособленного подразделения,
ООО «АйДи инжиниринг», г. Чита

В. В. Оленченко, канд. геол.-минерал. наук, доцент кафедры
геофизики, Новосибирский государственный университет,
г. Новосибирск

Потапов, Владимир Владимирович

П 64

Геоинформатика : учебно-методическое пособие /
В. В. Потапов, А. Н. Шеин, Е. Ю. Юдицких ; Забай-
кальский государственный университет. — Чита :
ЗабГУ, 2022. — 134 с.

ISBN 978-5-9293-2988-3

В учебно-методическом пособии изложены методологические основы геоинформатики, современные представления о системе спутниковой навигации, картографии и цифровых моделях рельефа. Приведённые темы наиболее актуальны для использования знаний геоинформатики на практике.

Издание предназначено для студентов специальности 21.05.03 *Технология геологической разведки*, специализация «Геофизические методы поиска и разведки месторождений полезных ископаемых», а также рекомендовано бакалаврам, магистрантам, аспирантам, использующим на практике геоинформационные системы или работающим с геопространственными данными.

УДК 551:004(075)

ББК 26.3:32я73

ISBN 978-5-9293-2988-3 © Забайкальский государственный
университет, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава 1. Основы геоинформатики и ГИС-технологий	7
1.1. Становление и этапы развития геоинформатики	7
1.2. Обзор базовых концепций геоинформатики, её задач и основных понятий	9
1.3. Базовые структуры данных в ГИС	15
1.4. Представление пространственных объектов в ГИС	21
1.5. Ввод данных в ГИС	23
1.6. Программное обеспечение ГИС	24
1.7. Тенденции развития ГИС	28
1.8. Понятие и функции ГИС	29
1.9. Состав ГИС	33
1.10. ГИС и интернет	37
1.11. Геоинформационные системы в России	41
1.12. Сферы применения ГИС	45
Глава 2. Системы глобального позиционирования	51
2.1. История создания GPS	53
2.2. История создания ГЛОНАСС	55
2.3. Основные элементы спутниковой системы навигации	61
2.4. Принцип работы системы навигации	62
2.5. Системы координат	64
2.6. Системы времени	64
2.7. Навигационные радиосигналы	65
2.8. Типы информации навигационного сообщения	66
2.9. Факторы, влияющие на снижение точности	68
2.10. Повышение точности навигации	69
2.11. Система GPS	70
2.12. Система ГЛОНАСС	75
2.13. О системе ГАЛИЛЕО	78
2.14. О системе BEYDOU	79
Глава 3. Системы координат в картографии	83
3.1. Некоторые понятия теории фигуры Земли	83
3.2. Понятие об эллипсоиде вращения	85
3.3. Система геодезических координат (DATUM)	89
3.4. Главный и относительный масштабы	90
3.5. Картографические проекции	91
3.6. СК-42	96
3.7. СК-42 и другие вопросы геопривязки	101

Глава 4. Цифровая модель рельефа: описание, типы, виды, построение	106
4.1. История развития и современность	106
4.2. Термины, определения и сокращения	107
4.3. Источники данных DEM	108
4.4. Виды цифровых моделей рельефа	109
4.5. Триангулированная нерегулярная сеть	110
4.6. Инструменты получения данных высот	111
4.7. Область применения метода	112
4.8. WorldDEM	114
4.9. NextMap World 10 и World 30	116
4.10. ALOS AW3D	118
4.11. SRTM	120
4.12. ASTER GDEM	122
4.13. ETOPO1	124
4.14. ArcticDEM	126
Заключение	130
Библиографический список	132

ВВЕДЕНИЕ

Геоинформатика – относительно молодое образование в науке и технике, которое сформировалось во второй половине XX в., в эпоху научно-технического прогресса в рамках картографии – методической сердцевины тысячелетнего древа географии, под влиянием процессов информатизации современного общества. В современном мире методы и технологии геоинформатики имеют колоссальное значение. Они используются в научных и прикладных разработках в географии, экологии, геологии, природопользовании, экономике, транспортной логистике, политологии, археологии, истории, градостроительстве и т. д. С их помощью осуществляются мониторинг и анализ пространственных данных, территориальное проектирование, планирование и прогнозирование в различных отраслях науки и деятельности человека в разнообразных целях (научных, хозяйственных, военных и др.).

Геоинформационные технологии относятся к ключевым технологиям, с помощью которых решается самая главная цель – обеспечение устойчивого развития страны, её социальной, экономической, экологической и военной безопасности в современном мире с его многочисленными и разнообразными проблемами. По этой причине геоинформационные технологии активно используются и развиваются во всём мире. За рубежом и в России осуществляется подготовка бакалавров, магистров, специалистов, докторантов в области геоинформатики. В учебные планы многих специальностей, связанных с анализом и обработкой пространственно-распределённой (географической) информации, включены соответствующие дисциплины.

В подготовке будущих специалистов-геофизиков, способных выполнять профессиональные задачи на современном уровне, методы геоинформатики имеют важнейшее значение.

Изучению и освоению геоинформационных методов посвящено данное учебно-методическое пособие, которое подготовлено в соответствии с программой учебной дисциплины «Геоинформатика».

Учебное издание состоит из введения, четырёх глав, заключения и библиографического списка.

В первой главе описываются методологические основы геоинформатики и геоинформационных систем (далее – ГИС). В ней приведён обзор концепций ГИС, показаны базовые структуры данных в ГИС, особенности представления пространственных объектов в ГИС, охарактеризованы особенности ввода данных в ГИС, раскрыты картографические основы ГИС-технологий. Кроме того, дана характеристика программного обеспечения ГИС, а также рассмотрены тенденции в развитии ГИС.

Вторая глава посвящена описанию систем глобального позиционирования, принципам их работы и точности определения координат. Охарактеризованы особенности систем GPS, ГЛОНАСС, BEYDOU и Galileo. Подробно рассказано об истории развития, современном состоянии и структуре систем GPS и ГЛОНАСС.

В третьей главе раскрыты современные понятия о фигуре Земли, особенностях различных эллипсоидов вращения, которые описывают поверхность Земли. Рассмотрены принципы использования различных датумов и систем координат при переносе на плоскую поверхность реального рельефа земной поверхности.

Четвёртая глава посвящена описанию истории, структуры и технологии разработки цифровых моделей рельефа (далее – ЦМР). Рассмотрены различные ЦМР, приведены их характеристики по сравнению друг с другом и области применения различных ЦМР в ГИС.

ГЛАВА 1

Основы геоинформатики и ГИС-технологий

1.1. Становление и этапы развития геоинформатики

В настоящее время проблема получения, хранения, обработки и использования информации о территориях выделилась в отдельную научно-технологическую дисциплину – геоинформатику. На этой науке базируются и совершенствуются картографические и новые геоинформационные методы исследований.

Геоинформатика предстаёт в виде системы, охватывающей науку, технику и производство. Учитывая особенности геоинформатики с точки зрения этих трёх систем, выделяют следующие подходы к трактовке геоинформатики и самих ГИС:

1) *научно-познавательный подход*. Геоинформатика – научная дисциплина, изучающая природные и социально-экономические системы (их структуру, связи, динамику, функционирование в пространстве и во времени) посредством компьютерного моделирования на основе баз данных и географических знаний. Основная цель геоинформатики как науки – это управление подобными системами в широком понимании, включая их инвентаризацию, оценку, прогнозирование, оптимизацию. ГИС – средство моделирования и познания таких систем;

2) *технологический подход*. Геоинформатика – это технология сбора, хранения, преобразования, отображения и распространения пространственно-координированной информации, имеющая цель обеспечить решение задач инвентаризации, оптимизации, управления геосистемами. ГИС – техническое средство накопления и анализа информации в процессе принятия решений;

3) *производственный подход*. Геоинформатика – производство (геоинформационная индустрия), имеющее целью изготовление аппаратных средств и программных продуктов, включая создание баз и банков данных, систем управления,

стандартных (коммерческих) ГИС разного целевого назначения и проблемной ориентации, формирование ГИС-инфраструктуры и организация маркетинга. ГИС – программная оболочка, реализующая геоинформационные технологии.

Основным назначением ГИС считается формирование знаний о процессах и явлениях на земной поверхности, а также применение этих знаний для решения практических задач во всех сферах человеческой деятельности.

Геоинформатика как область деятельности появилась во второй половине XX в. в связи с развитием электронно-вычислительной техники и появлением первых геоинформационных систем.

В истории геоинформационных систем выделяются четыре периода.

1. Пионерный период (конец 1950-х – начало 1970-х гг.): исследование принципиальных возможностей, пограничных областей знаний и технологий, наработка эмпирического опыта, первые крупные проекты и теоретические работы.

2. Период государственных инициатив (начало 1970-х – начало 1980-х гг.): развитие крупных геоинформационных проектов, поддерживаемых государством, формирование государственных институтов в области ГИС, снижение роли и влияния отдельных исследователей и небольших групп.

3. Период коммерческого развития (ранние 1980-е гг. – настоящее время): широкий рынок разнообразных программных средств, развитие настольных ГИС, расширение области их применения за счёт интеграции с базами непространственных данных, появление сетевых приложений, значительного числа непрофессиональных пользователей; поддерживающие индивидуальные наборы данных на отдельных компьютерах системы открывают путь системам, поддерживающим корпоративные и распределённые базы геоданных.

4. Пользовательский период (конец 1980-х гг. – настоящее время): повышенная конкуренция среди коммерческих производителей геоинформационных технологий услуг даёт преимущества пользователям ГИС, доступность и «открытость» программных средств позволяют пользователям самим

адаптировать, использовать и даже модифицировать программы, появление пользовательских клубов, телеконференций, территориально разобщённых, но связанных единой тематикой пользовательских групп, возросшая потребность в геоданных, начало формирования мировой геоинформационной инфраструктуры.

1.2. Обзор базовых концепций геоинформатики, её задач и основных понятий

А. М. Берлянт увязал задачи геоинформатики с моделированием геосистем. По его мнению, геоинформатика – научная дисциплина, изучающая природные и социально-экономические геосистемы (их структуру, связи, динамику, функционирование в пространстве-времени) посредством компьютерного моделирования на основе баз данных и географических знаний. Кроме того, он отмечает триединство геоинформатики как науки, техники и производства. С его точки зрения, геоинформатика – это наука, технология и производственная деятельность:

- по научному обоснованию, проектированию, созданию, эксплуатации и использованию географических информационных систем;
- по разработке геоинформационных технологий;
- по прикладным аспектам или приложениям ГИС для практических или геонаучных целей.

Предмет геоинформатики – пространственно-временные информационные потоки естественно-географической среды.

Метод геоинформатики – пространственно-временное моделирование территориально-распределённых (географических) эмпирических (объективно существующих) систем любой природы, с использованием соответствующих ГИС-технологий в различных научных и практических целях. Как наука, геоинформатика рассматривает управление геосистемами, включая их инвентаризацию, оценку, прогнозирование, оптимизацию и т. п. Как производство и технология, геоинформа-

тика (геоинформационная индустрия) рассматривает процессы изготовления аппаратуры, создания коммерческих программных продуктов и ГИС-оболочек, баз данных, систем управления, компьютерных систем.

Геоинформатика тесно связана с картографией (рис. 1.1). Их взаимосвязь проявляется в следующих аспектах:

1) тематические и топографические карты – главный источник пространственно-временной информации;

2) системы географических и прямоугольных координат и картографическая разграфка служат основой для координатной привязки всей информации, поступающей и хранящейся в ГИС;

3) карты – основное средство географической интерпретации и организации данных дистанционного зондирования и другой используемой в ГИС информации;

4) картографический анализ – один из наиболее эффективных способов выявления географических закономерностей, связей, зависимостей при формировании баз знаний, входящих в ГИС;

5) математико-картографическое и ЭВМ-картографическое моделирование – главное средство преобразования информации в процессе обеспечения принятия решений, управления, проведения экспертиз, составления прогнозов развития геосистем и т. п.;

6) картографическое изображение – целесообразная форма представления информации потребителям, а автоматическое изготовление оперативных и базовых карт, трёхмерных картографических моделей, дисплей-фильмов – одна из главных функций ГИС.

Геоинформатика изучает и разрабатывает принципы, методы и технологии сбора, накопления, передачи, обработки и представления данных для получения на их основе новой информации и знаний о пространственно-временных явлениях в геосистемах. Такие тесно взаимосвязанные понятия, как данные, информация и знания, имеют основополагающее значение для геоинформатики.



Рис. 1.1. Связь ГИС с научными дисциплинами и технологиями

Данные описывают явления реального мира или идей, которые представляются достаточно ценными для того, чтобы их сформулировать и точно зафиксировать.

Совокупность сведений о фактических данных, представленных в формализованном виде (цифровом, графическом и ином), пригодны для хранения, пересылки, интерпретации человеком и обработки компьютером, рассматриваются как объект обработки и получения информации, в которую заложена совокупность знаний о фактических данных и зависимостях между ними.

Сами же знания представляют собой отражение семантических аспектов реального мира человеком или технической системы (система искусственного интеллекта), интерпретацию информации об окружающих объектах и явлениях.

Фундаментальными понятиями геоинформатики являются пространственные данные и пространственный объект, с которыми неразрывно связано понятие «модель».

Понятие «геопространственные данные» (геоданные) означает информацию, которая идентифицирует географическое местоположение и свойства естественных или искусственно созданных объектов, а также их границ на земле. Эта информация может быть получена с помощью (помимо иных путей) дистанционного зондирования, картографирования и различных видов съёмки.

Географические данные содержат четыре интегрированных компонента: местоположение, свойства и характеристики, пространственные отношения, время.

Конкретизируя термины «данные», «информация», «знания» применительно к оперированию ими в информационной системе, можно отметить, что, имея много общего, эти понятия различаются по своей сути. Под данными понимается совокупность фактов, известных об объектах, либо результаты измерения этих объектов. Данные, используемые в ГИС, отличаются высокой степенью формализации. Данные, по А. М. Берлянту, – это как бы строительный элемент в процессе создания информации, поскольку она получается в процессе обработки данных.

Применительно к ГИС под информацией понимается совокупность сведений, определяющих меру наших знаний об объекте.

В таком контексте знания можно рассматривать как результат интерпретации информации. Приведём наиболее общее определение: знание – результат познания действительности, получивший подтверждение в практике. Научное знание отличается своей систематичностью, обоснованностью и высокой степенью структуризации.

Информационные системы можно рассматривать как эффективный инструмент получения знаний.

Различия между терминами «данные», «информация» и «знания» прослеживаются в истории развития технических систем. Так, вначале появились банки данных, позднее – информационные системы, затем – системы, основанные на знаниях А. М. Берлянта, – интеллектуальные системы (экспертные системы).

В настоящее время на рынке программных продуктов представлено несколько видов систем, работающих с пространственно распределённой информацией. К ним, в частности, относятся системы автоматизированного проектирования, автоматизированного картографирования и ГИС.

По сравнению с другими автоматизированными системами ГИС обладают развитыми средствами анализа простран-

ственных данных, открывают принципиально новые аналитические возможности.

Приведём типовые вопросы, на которые способна ответить ГИС.

1. Где находится А?
2. Как расположено А по отношению к В?
3. Сколько А расположено в пределах расстояния D от В?
4. Каково значение функции Z в точке X?
5. Как велико по размерам В?
6. Каков результат пересечения А и В?
7. Каков оптимальный маршрут от X до Y?
8. Что находится в X1, X2, ..., Xn?
9. Какие объекты следуют за теми, у которых наблюдается определённое сочетание определённых свойств?
10. Как изменится пространственное распределение объектов, если изменить существующую классификацию?
11. Что может случиться с А, если изменить В и его расположение относительно А?

Концептуальная схема организации данных в ГИС представлена на рис. 1.2.

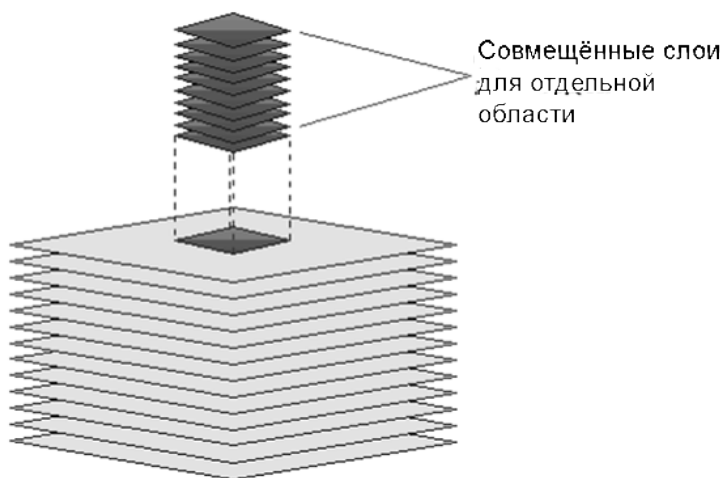


Рис. 1.2. Концептуальная схема организации данных в ГИС

Пространственная выборка (уточнение территории) приведена на рис. 1.3.

Математическая картография

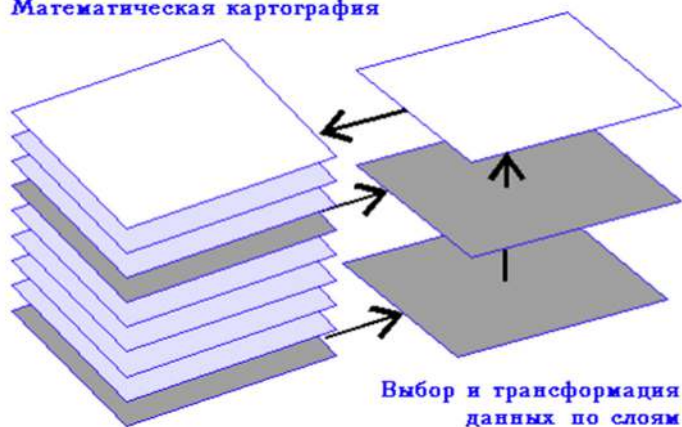


Рис. 1.3. Пространственная выборка (уточнение территории)

Тематическая проблемно-ориентированная выборка приведена на рис. 1.4.



ГИС как интегрирующая технология

Рис. 1.4. Тематическая проблемно-ориентированная выборка

Существующие области использования ГИС показаны на рис. 1.5.



Рис. 1.5. Существующие области использования ГИС

1.3. Базовые структуры данных в ГИС

Природа географических данных.

1. Географическое положение (размещение) пространственных объектов представляется 2, 3-мерными или 2-мерными координатами в географически соотнесённой системе координат (широта/долгота).

2. Свойства (атрибуты) являются описательной информацией определённых пространственных объектов. Они часто не имеют прямых указаний на пространственное размещение, поэтому нередко атрибуты называют непространственной информацией.

3. Пространственные отношения определяют внутренние взаимоотношения между пространственными объектами (например, направление объекта А в отношении объекта В, рас-

стояние между объектами А и В, вложенность объекта А в объект В).

4. Временные характеристики представляются в виде сроков получения данных и определяют их жизненный цикл, изменение местоположения или свойств пространственных объектов во времени.

Основополагающими элементами базы пространственных данных являются:

- элементы действительности, смоделированные в базе данных ГИС, имеют два тождества: реальный объект и смоделированный объект (объект БД);

- реальный объект – явление окружающего мира, представляющее интерес, которое не может быть более подразделено на явления того же самого типа;

- объект БД – элемент в том виде, в каком он представлен в базе данных. Объект БД является «цифровым представлением целого или части реального объекта;

- метод цифрового представления явления изменяется исходя из базового масштаба и ряда других факторов;

- модель базы пространственных данных;

- каждый тип реального объекта представляется определенными пространственными объектами базы данных;

- пространственные объекты могут быть сгруппированы в слои, также называемые оверлеями, покрытиями или темами;

- один слой может представлять одиночный тип объекта или группу концептуально связанных типов.

Общими подходами к представлению пространственных объектов в БД являются: растровый способ (ячейки, сетки); векторный способ (точки, линии, полигоны).

Растровая модель данных:

- разбивает всю изучаемую территорию на элементы регулярной сетки или ячейки;

- каждая ячейка содержит только одно значение;

- является пространственно заполненной, поскольку каждое местоположение на изучаемой территории соответствует ячейке растра, иными словами, растровая модель оперирует элементарными местоположениями.

Соглашениями, принятыми для растровой ГИС, являются:

1) разрешение – минимальная линейная размерность наименьшей единицы географического пространства, для которой могут быть приведены какие-либо данные. В растровой модели данных наименьшей единицей для большинства систем выступает квадрат или прямоугольник. Такие единицы известны как сетка, ячейка или пиксель. Множество ячеек образует решетку, растр, матрицу;

2) площадной контур (зона) – набор смежных местоположений одинакового свойства. Термин «класс» (или район) часто используется в отношении всех самостоятельных зон, которые имеют одинаковые свойства. Основными компонентами зоны являются её значение и местоположение;

3) значение – единица информации, хранящаяся в слое для каждого пикселя или ячейки. Ячейки одной зоны (или района) имеют одинаковое значение;

4) местоположение – наименьшая единица географического пространства, для которого могут быть приведены какие-либо характеристики или свойства (пиксель, ячейка). Такая частица картографического плана однозначно идентифицируется упорядоченной парой координат – номерами строки и столбца.

Свойствами векторной модели данных являются:

- 1) основана на векторах (направленных отрезках прямых);
- 2) базовым примитивом является точка;
- 3) объекты создаются путём соединения точек прямыми линиями или дугами;
- 4) площади определяются набором линий;
- 5) представляет собой объектно-ориентированную систему.

Векторная структура – это представление пространственных объектов в виде набора координатных пар (векторов), описывающих геометрию объектов. Пример векторного представления пространственных объектов приведён на рис. 1.6.

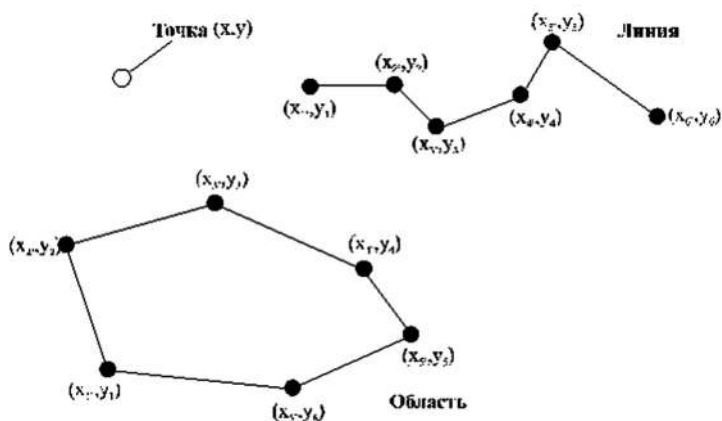


Рис. 1.6. Векторное представление пространственных объектов

Рассмотрим типы векторных объектов, основанные на определении пространственных размеров.

Безразмерные типы объектов:

- 1) точка – определяет геометрическое местоположение;
- 2) узел – топологический переход или конечная точка, также может определять местоположение.

Одномерные типы объектов:

- 1) линия – одномерный объект;
- 2) линейный сегмент – прямая линия между двумя точками;
- 3) строка – последовательность линейных сегментов;
- 4) дуга – геометрическое место точек, которые формируют определённую математическую функцию;
- 5) связь – соединение между двумя узлами;
- 6) направленная связь – связь с одним определённым направлением;
- 7) цепочка – направленная последовательность непересекающихся линейных сегментов или дуг с узлами на их концах;
- 8) кольцо – последовательность непересекающихся цепочек, строк, связей или замкнутых дуг.

Двумерные типы объектов:

- 1) область – ограниченный непрерывный объект, который может включать или не включать в себя собственную границу;

2) внутренняя область – область, которая не включает собственную границу;

3) полигон – область, состоящая из внутренней области, одного внешнего кольца и нескольких непересекающихся, не вложенных внутренних колец;

4) пиксель – элемент изображения, который является самым малым.

Пример слоёв, составленных из пространственных объектов линейного типа, приведён на рис. 1.7.

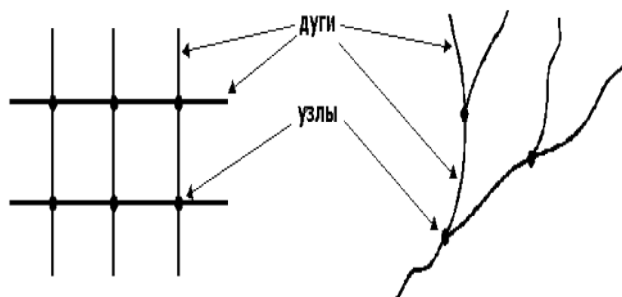


Рис. 1.7. Пространственные объекты линейного типа

Примеры слоёв, составленных из пространственных объектов полигонального типа, представлены на рис. 1.8.



Рис. 1.8. Пространственные объекты полигонального типа

Формами векторной модели данных являются:

- цельнополигональная структура (структура типа «спагетти»);
- линейно-узловая структура (топологическая структура);
- реляционная структура;
- нерегулярная триангуляционная сеть (TIN).

Топологическое представление векторных объектов приведено на рис. 1.9.

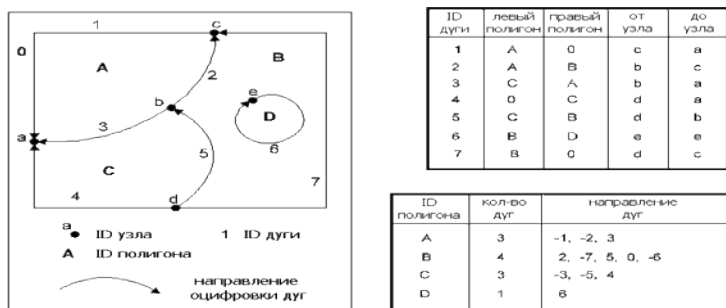


Рис. 1.9. Топологическое представление векторных объектов

Формирование топологии включает определение и кодирование взаимосвязей между точечными, линейными и площадными объектами.

Сопоставление растровой и векторной моделей данных представлено на рис. 1.10.

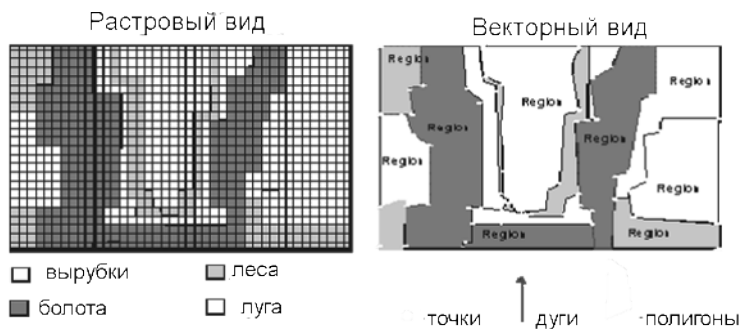


Рис. 1.10. Сопоставление растровой и векторной моделей данных

Рассмотрим преимущества растровой и векторной моделей данных.

Преимуществами растровой модели являются: простая структура данных; эффективные оверлейные операции; работа со сложными структурами; работа со снимками.

Преимуществами векторной модели являются: компактная структура; топология; качественная графика.

1.4. Представление пространственных объектов в ГИС

Представление пространственных объектов реальной действительности основано на следующих допущениях:

1) пространственные данные состоят из цифровых представлений реально существующих дискретных пространственных объектов. Свойства, показанные на карте, например озёра, здания, контуры, должны пониматься как дискретные объекты;

2) содержание карты может быть зафиксировано в базе данных путём превращения свойств карты в пространственные объекты;

3) многие свойства, которые показаны на карте, на самом деле являются виртуальными.

Например, контуры или границы реально не существуют, но здания и озёра – реальные объекты.

Содержание базы пространственных данных включает:

- цифровые версии реально существующих объектов (например, зданий);

- цифровые версии искусственно выделенных свойств карты (например, контуры);

- искусственные объекты, созданные специально для целей построения базы данных (например, пиксели).

Разновидность непрерывных свойств подразумевает, что некоторые свойства пространственных объектов существуют повсеместно, изменяются непрерывно над земной поверхностью (высота, температура, атмосферное давление) и не имеют реально представленных границ.

Непрерывная изменчивость может быть представлена в базе данных посредством:

- величин измерений в некоторых характерных пунктах (точках), например метеостанции и посты;
- описаний трансектов (профилей);
- разделения площади на контуры, зоны, принимая при этом, что некоторое значение свойства внутри контура (зоны) есть величина постоянная;
- построения изолиний, например горизонталей для отображения рельефа.

Каждый из этих способов создаёт дискретные объекты, которые могут быть зафиксированы в виде точек, линий, площадей.

Компонентами пространственных данных являются:

1) расположение: пространственные данные вообще часто называются данными о размещении;

2) пространственные отношения: взаимосвязи между пространственными объектами описываются как пространственные отношения между ними (например, А содержит В; смежен с С, находится к северу от D);

3) атрибуты: атрибуты фиксируют тематические описания, определяя различные характеристики объектов;

4) время: временная изменчивость фиксируется разными способами:

- интервалом времени, в течение которого существует объект;
- скоростью изменчивости объектов;
- временем получения значений свойств.

Источниками пространственных данных являются:

1) совокупность первичных данных (измерений и съёмов) по выборкам:

- произвольная выборка, каждое место или время одинаково вероятно, чтобы быть выбранным;
- систематическая выборка, которая проводится согласно правилу, например через каждый 1 км;
- упорядоченная (стратифицированная) выборка, когда известно, что генеральная совокупность содержит существенно различные подсовкупности;

2) совокупности вторичных данных, полученные из существующих карт, таблиц или других баз данных.

1.5. Ввод данных в ГИС

Ввод данных – процедура кодирования данных в компьютерночитаемую форму и их запись в базу данных ГИС.

Ввод данных включает три главных шага:

- 1) сбор данных;
- 2) их редактирование и очистка;
- 3) геокодирование данных.

Последние два этапа называются также преобработкой данных.

Информация о качестве данных включает в себя:

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

Типы систем ввода данных включают в себя:

- 1) вход с помощью клавиатуры:
 - главным образом, для атрибутивных данных;
 - редко используется для пространственных данных;
 - может быть совмещён с ручным цифрованием;
 - обычно более эффективно используется как отдельная операция;
- 2) координатная геометрия:
 - процедуры, используемые, чтобы ввести данные по земельным наделам;
 - очень высокий уровень точности, полученной за счёт полевых геодезических измерений;
 - очень дорогой;
 - используемый для земельного кадастра;
- 3) ручное цифрование:
 - наиболее широко используемый метод ввода пространственных данных с карт;

- эффективность зависит от качества программного обеспечения цифрования и умения оператора;

- требует много времени и допускает наличие ошибок;

4) сканирование:

- цифровое изображение карты, полученное сканером;

- размер ячейки, который можно отсканировать (минимальный фрагмент карты составляет около 20 микрон (0,02 мм);

- снимок нуждается в обработке и редактировании для улучшения качества;

- изображение должно преобразоваться в векторный формат:

- маркировка для обеспечения взаимосвязи с атрибутами;

- сканированные изображения могут непосредственно использоваться для производства карты;

- данные дистанционного зондирования;

5) ввод существующих цифровых файлов:

- наборы данных различных ведомств и организаций должны быть доступны;

- приобретение и использование существующих цифровых наборов данных является наиболее эффективным способом заполнения ГИС.

Проблемами цифрования карт являются:

1) уровень ошибок в базе данных ГИС непосредственно связан с уровнем ошибок исходных карт;

2) карты не всегда адекватно отображают информацию и не всегда точно передают данные о местоположении.

1.6. Программное обеспечение ГИС

На рынке программных продуктов предлагаются различные ГИС, отличающиеся по функциональным возможностям, требованиям к аппаратным ресурсам и другим характеристикам. Одна из широко распространённых в России ГИС – MapInfo Professional, разработанная фирмой MapInfo Corporation (США). В наших исследованиях особое внимание

уделяется одной из самых распространённых в мире и России ГИС – ArcView GIS, разработанной фирмой ESRI (США).

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

Программные обеспечения ГИС делятся на пять основных используемых классов.

Первый наиболее функционально полный класс программного обеспечения – это инструментальные ГИС. Они могут быть предназначены для самых разнообразных задач: организация ввода информации (как картографической, так и атрибутивной), её хранение (в том числе и распределённого, поддерживающего сетевую работу), отработка сложных информационных запросов, решение пространственных аналитических задач (коридоры, окружения, сетевые задачи и др.), построение производных карт и схем (оверлейные операции), подготовка к выводу на твёрдый носитель оригинал-макетов картографической и схематической продукции.

Как правило, инструментальные ГИС поддерживают работу как с растровыми, так и с векторными изображениями, имеют встроенную базу данных для цифровой основы и атрибутивной информации или поддерживают для хранения атрибутивной информации одну из распространённых баз данных: Paradox, Access, Oracle и др. Наиболее развитые продукты имеют системы *run time*, позволяющие оптимизировать необходимые функциональные возможности под конкретную задачу и удешевить тиражирование созданных с их помощью справочных систем.

Второй важный класс – ГИС-вьюеры (просмотрщики), т. е. программные продукты, обеспечивающие пользование созданными с помощью инструментальных ГИС базами данных. ГИС-вьюеры предоставляют пользователю (если предоставляют вообще) крайне ограниченные возможности пополнения баз данных. Во все ГИС-вьюеры включается инструментарий запросов к базам данных, которые выполняют операции позиционирования и суммирования картографических изображений. Вьюеры всегда входят составной частью в средние

и крупные проекты, позволяя сэкономить затраты на создание части рабочих мест, не наделённых правами пополнения базы данных.

Третий класс – это справочные картографические системы (далее – СКС). Они сочетают в себе хранение и большинство возможных видов визуализации пространственно-распределённой информации, содержат механизмы запросов по картографической и атрибутивной информации, но при этом существенно ограничивают возможности пользователя по дополнению встроенных баз данных. Их обновление (актуализация) носит циклический характер и производится поставщиком СКС за дополнительную плату.

Четвёртый класс программного обеспечения – средства пространственного моделирования. Их задача – моделировать пространственное распределение различных параметров (рельефа, зон экологического загрязнения, участков затопления при строительстве плотин и др.). Они опираются на средства работы с матричными данными и снабжаются развитыми средствами визуализации. Типичным является наличие инструментария, позволяющего проводить самые разнообразные вычисления над пространственными данными (сложение, умножение, вычисление производных и другие операции).

Пятый класс – это специальные средства обработки и дешифрирования данных зондирований Земли. Сюда относятся пакеты обработки изображений, снабжённые в зависимости от цены различным математическим аппаратом, позволяющим проводить операции со сканированными или записанными в цифровой форме снимками поверхности Земли. Это довольно широкий набор операций, начиная со всех видов коррекций (оптической, геометрической) через географическую привязку снимков вплоть до обработки стереопар с выдачей результата в виде актуализированного топоплана. Кроме упомянутых классов существует ещё разнообразные программные средства, манипулирующие с пространственной информацией. Это такие продукты, как средства обработки полевых геодезических наблюдений (пакеты, предусматривающие взаимодействие с GPS-приёмниками, электронными тахометра-

ми, нивелирами и другим автоматизированным геодезическим оборудованием), средства навигации и программного обеспечения для решения ещё более узких предметных задач (изыскания, экологии, гидрогеологии и пр.).

Возможны и другие принципы классификации программного обеспечения: по сферам применения, по стоимости, поддержке определённым типом (или типами) операционных систем, по вычислительным платформам (ПК, рабочие Unix-станции).

Если до середины 90-х гг. XX в. основной рост рынка был связан лишь с крупными проектами федерального уровня, то сегодня главный потенциал перемещается в сторону массового рынка. Это мировая тенденция: по данным исследовательской фирмы Daratech (США), мировой рынок ГИС для персональных компьютеров в настоящий момент в 121,5 раза опережает общий рост рынка ГИС-решений.

Массовость рынка и возникающая конкуренция приводят к тому, что потребителю за ту же или меньшую цену предлагается всё более качественный товар. Для ведущих поставщиков инструментальных ГИС стала уже правилом поставка вместе с системой и цифровой картографической основы того региона, где распространяется товар. Два – три года назад функции автоматизированной векторизации и справочных систем можно было реализовать только с помощью развитых и дорогостоящих инструментальных ГИС (Arc/Info, Intergraph). Сегодня даже пакеты, обслуживающие какой-либо технологический этап, например векторизаторы, можно приобрести как в полном, так и в сокращённом наборе модулей, библиотек символов.

Такие продукты, как GeoDraw/GeoGraph, Sinteks/Tri, GeoCAD, EasyTrace, обладают не только значительным количеством пользователей, но и всеми атрибутами рыночного оформления и поддержки. В российской геоинформатике есть некая критичная цифра работающих инсталляций – пятьдесят. Как только вы её достигли, дальше есть только два пути: резко вверх, наращивая число своих пользователей; уход с рынка из-за невозможности обеспечить необходимую поддержку и раз-

витие своему продукту. Все упомянутые программы обслуживают нижний ценовой уровень. Другими словами, в них найдено оптимальное соотношение между ценой и напором функциональных возможностей именно для российского рынка.

1.7. Тенденции развития ГИС

ГИС-технология продолжает расти и развиваться. Её эволюция будет основываться на ряде фундаментальных ГИС-характеристик с учётом трендов развития вычислительной техники и интернет-технологий. Приведём некоторые важные факторы:

1) концептуально ГИС развивается от технологии для работы с базой данных и обмена данными в направлении, основой которого являются накопление и получение знания. ГИС – это намного больше, чем обычная база данных. Помимо наборов ГИС-данных пользователи ГИС работают с картами и глобусами (глобальными представлениями), моделями геообработки и рабочих процессов, многоцелевыми конфигурациями базы данных ГИС (отраслевыми и прочими моделями данных). Все эти прикладные функциональные возможности документируются с использованием метаданных, что обеспечивает эффективную публикацию и обмен географическим знанием;

2) ГИС-системы становятся федеративными, поддерживающими обмен географическим знанием через Web. Пользователи также могут обмениваться обновлениями между своими системами и синхронизировать их, а интернет-ГИС позволяет расширить масштабы накопленного географического знания и сферы его использования. Неотъемлемой частью ГИС-платформы всё в большей мере становятся средства создания распределённых ГИС;

3) сравнительно недавно появились порталы с ГИС-каталогами, предоставляющие централизованный доступ к распределённым информационным наборам из разных организаций.

Со временем ГИС-порталы также помогут интеграции управления распределёнными ГИС-данными и их использования;

4) индивидуальные ГИС-системы всё в большей степени объединяются в глобальной сети (Web) по принципу нежёстких связей. Интернет быстро становится общей структурой для совместного доступа к географическому знанию, которое продолжает создаваться, поддерживаться и публиковаться на многих независимых ГИС-узлах. В последнее десятилетие это видение было описано и частично уже реализовано как Национальные и Глобальная инфраструктуры пространственных данных (SDI). Интеграционные технологии для широкого внедрения такого подхода постоянно развиваются;

5) по своей сути ГИС-системы являются распределёнными. При обмене и использовании информации пользователи полагаются на совместно накапливаемые знания и опыт. Распределённые ГИС – это намного больше, чем распределённые базы ГИС-данных и копии наборов данных. Речь также идёт о распределённом сотрудничестве при решении разнообразных ГИС-задач. Помимо публикации и обмена данными ГИС пользователи всё шире используют интернет для сбора, структурирования, применения и управления географическим знанием.

1.8. Понятие и функции ГИС

Функциональные возможности ГИС определяются: понятиями ввода, предобработки и хранения данных; геоанализом и моделированием; визуализацией данных.

Под данными следует понимать совокупность фактов и сведений, представленных в каком-либо формализованном виде (в количественном и качественном выражении) для их использования в науке или других сферах человеческой деятельности. Слово «данные» происходит от латинского *datum*, буквально означающего «факт». Под данными в среде ГИС понимают «вещи, известные об объектах реального мира; результаты наблюдений и измерений этих объектов».

Практическое понимание информации сегодня в основном включает: процессы обмена разнообразными сведениями между людьми, человеком и автоматом – актуальная информация, процессы взаимодействия объектов неживой природы – потенциальная информация, степень сложности, организованности, упорядоченности той или иной системы.

Информационная система представляет собой коммуникационную систему по сбору, передаче, переработке информации об объекте, снабжающую работника любой профессии информацией для реализации функции управления. Другими словами, информационная система – это упорядоченная совокупность документированной информации и информационных технологий.

Понятие «географические информационные системы» появилось в 60-х гг. XX в. в Канаде и США, когда достижения техники и возросший объём запросов к географической информации обусловили переворот в средствах накопления, обработки и выдачи информации. Однозначное и краткое определение ГИС дать невозможно, т. к. термин трудноопределим и представляет собой объединение многих предметных областей.

Несмотря на то, что единого, общепринятого определения ГИС нет, существует большое количество определений, каждое из которых описывает ГИС с разных сторон. Приведём некоторые из них.

1. Географическая информационная система или геоинформационная система (ГИС) – информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, анализ и отображение пространственных данных и связанных с ними непространственных, а также получение на их основе информации и знаний о географическом пространстве.

2. ГИС – возможность нового взгляда на окружающий нас мир.

3. ГИС – инструменты для обработки и управления пространственной информацией, привязанной к некоторой части земной поверхности.

4. ГИС – информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распростра-

нение пространственных данных. ГИС содержит данные о пространственных объектах в форме их цифровых представлений (векторных, растровых, квадратомерических и иных)¹.

Если обойтись без обобщений и образов, то ГИС – это современная компьютерная технология для картирования и анализа объектов реального мира, а также событий, происходящих на нашей планете. Эта технология объединяет традиционные операции работы с базами данных, такими как запрос и статистический анализ с преимуществами полноценной визуализации и географического (пространственного) анализа, которые предоставляет карта. Эти особенности отличают ГИС от других информационных систем и обеспечивают уникальные возможности для её применения в широком спектре задач, связанных с анализом и прогнозом явлений и событий окружающего мира, осмыслением и выделением главных факторов и причин, а также их возможных последствий, планированием стратегических решений и текущих последствий предпринимаемых действий.

Считается, что географические или пространственные данные составляют более половины объёма всей циркулирующей информации, используемой организациями, занимающимися разными видами деятельности, в которых необходим учёт пространственного размещения объектов.

Географическая информационная система ориентирована на обеспечение возможности принятия оптимальных управленческих решений на основе анализа пространственных данных.

По мнению многих психологов, большинство людей эффективнее мыслят, если интересующая их проблема представлена в виде картинки, графика, чертежа, диаграммы, иллюстрирующей результаты анализа или творческой деятельности. Более 80 % всей информации в мире составляют пространственные данные или геоданные, т. е. данные, которые являются не просто абстрактными, безличными, но и имеющими своё определённое место на карте, схеме, плане и т. д.

Создание карт, планов, схем и географический анализ не являются чем-то абсолютно новым. Однако технология ГИС

¹ Данное определение дано на сайте ГИС-ассоциации (www.gisa.ru).

предоставляет новый, современный, более эффективный, удобный и быстрый подход к анализу проблем и решению задач, стоящих перед человечеством в целом и конкретной организацией или группой людей в частности. Она автоматизирует процедуру анализа и прогноза. До начала применения ГИС лишь немногие обладали искусством обобщения и полноценного анализа геопространственной информации с целью обоснованного принятия оптимальных решений, основанных на современных подходах и средствах.

В настоящее время ГИС – это многомиллионная индустрия, в которую вовлечены сотни тысяч людей во всем мире. ГИС изучают в школах, колледжах и университетах. Эту технологию применяют практически во всех сферах человеческой деятельности, будь то анализ таких глобальных проблем, как перенаселение, загрязнение территории, сокращение лесных угодий, природные катастрофы, решение частных задач, таких как поиск наилучшего маршрута между пунктами, подбор оптимального расположения нового офиса, поиск дома по его адресу, прокладка трубопровода на местности, различные муниципальные задачи и землепользование.

Ключевыми словами в определении ГИС являются анализ пространственных данных или пространственный анализ.

Современные ГИС расширили использование карт за счёт хранения графических данных в виде отдельных тематических слоёв, а качественных и количественных характеристик составляющих их объектов – в виде баз данных.

Большинство современных ГИС осуществляют комплексную обработку информации.

Обобщёнными функциями ГИС-систем являются:

- 1) ввод и редактирование данных;
- 2) поддержка моделей пространственных данных;
- 3) хранение информации;
- 4) преобразование систем координат и трансформация картографических проекций;
- 5) растрово-векторные операции;
- 6) измерительные операции;
- 7) полигональные операции;

- 8) операции пространственного анализа;
- 9) различные виды пространственного моделирования;
- 10) цифровое моделирование рельефа и анализ поверхностей;
- 11) вывод результатов в разных формах.

1.9. Состав ГИС

Географическая информационная система включает пять основных составляющих:

- 1) технические средства;
- 2) программное обеспечение;
- 3) данные;
- 4) пользователи;
- 5) методы и алгоритмы манипулирования данными.

Технические средства – это платформа, на которой установлена и функционирует ГИС. В настоящее время ГИС работают на различных типах компьютерных платформ – от централизованных серверов до отдельных или связанных сетью настольных персональных компьютеров.

Технические средства – это комплекс аппаратных средств, применяемых при функционировании ГИС: рабочая станция или персональный компьютер; устройства ввода-вывода информации; устройства обработки и хранения данных; средства телекоммуникации.

Рабочая станция или ПК является ядром любой информационной системы. Они предназначены для управления работой ГИС и выполнения процессов обработки данных, основанных на вычислительных или логических операциях. Современные ГИС способны оперативно обрабатывать огромные массивы информации и визуализировать результаты.

Ввод данных реализуется с помощью разных технических средств и методов: непосредственно с клавиатуры, с помощью дигитайзера или сканера, через внешние компьютерные системы. Пространственные могут быть получены электронными геодезическими приёмами, непосредственно с по-

мощью дигитайзера и сканера, электронными геодезическими анализами почв и других факторов природной среды.

Устройства для обработки и хранения данных сконцентрированы в системном блоке, включающем в себя центральный процессор, оперативную память, внешние запоминающие устройства и пользовательский интерфейс.

Внешние запоминающие устройства подключаются к компьютеру. Для архивации данных служат оптические и магнитные диски CD-ROM и DVD-ROM с ёмкостью от 650 Мбайт до 9,0 Гбайт, или flash- и ssd-диски.

Устройства вывода данных должны обеспечивать наглядное представление результатов, прежде всего на мониторе, а также в виде графических оригиналов, получаемых на принтере или плоттере (графопостроителе), кроме того, обязательна реализация экспорта данных во внешние системы.

Программное обеспечение ГИС содержит функции, алгоритмы и инструменты, необходимые для хранения, анализа и визуализации географической (пространственной) информации. Ключевыми компонентами программ являются:

- инструменты для ввода и оперирования географической информацией: система управления базой данных;
- инструменты поддержки пространственных запросов, анализа и визуализации (отображения);
- графический пользовательский интерфейс для лёгкого доступа к инструментам.

Программные средства – совокупность программных средств, реализующих функциональные возможности ГИС, и программных документов, необходимых при их эксплуатации.

Структурно программное обеспечение ГИС включает базовые и прикладные программные средства.

Базовые программные средства включают: операционные системы, программные среды, сетевое программное обеспечение и системы управления базами данных. Операционные системы (далее – ОС) предназначены для управления ресурсами ЭВМ и процессами, использующими эти ресурсы. На настоящее время основными ОС являются Windows и Unix. Прикладные программные средства предназначены для решения специализированных задач в конкретной предметной области

и реализуются в виде отдельных модулей (приложений) и утилит (вспомогательных средств).

Информационное обеспечение – совокупность массивов информации, систем кодирования и классификации информации. Информационное обеспечение составляют реализованные решения по видам, объёмам, размещению и формам организации информации, включая поиск и оценку источников данных, набор методов ввода данных, проектирование баз данных, их ведение и метасопровождение. Особенность хранения пространственных данных в ГИС – их разделение на слои. Многослойная организация электронной карты, при наличии гибкого механизма управления слоями, позволяет объединить и отобразить гораздо большее количество информации, чем на обычной карте. Данные о пространственном положении (географические данные) и связанные с ними табличные могут подготавливаться самим пользователем либо приобретаться. Для такого обмена данными важна инфраструктура пространственных данных.

Инфраструктура пространственных данных определяется нормативно-правовыми документами, механизмами организации и интеграции пространственных данных, а также их доступностью разным пользователям.

Инфраструктура пространственных данных включает три необходимых компонента: базовую пространственную информацию, стандартизацию пространственных данных, базы метаданных и механизм обмена данными.

Любая ГИС работает с данными двух типов данных: пространственными и атрибутивными, следовательно, программное обеспечение должно включить систему управления базами тех и других данных (далее – СУБД), а также модули управления средствами ввода и вывода данных, систему визуализации данных и модули для выполнения пространственного анализа.

Данные – наиболее важный компонент ГИС. Данные о пространственном положении (географические данные) и связанные с ними табличные данные могут собираться и подготавливаться самим пользователем либо приобретаться у поставщиков. В процессе управления данными ГИС интегриру-

ет пространственные данные с другими типами и источниками данных, а также может использовать СУБД, применяемую многими организациями для упорядочивания и поддержки имеющихся в их распоряжении данных.

В качестве источников данных для формирования ГИС служат:

1) картографические материалы (топографические и общегеографические карты, карты административно-территориального деления, кадастровые планы и др.). Сведения, получаемые с карт, имеют территориальную привязку, поэтому их удобно использовать в качестве базового слоя ГИС. Если нет цифровых карт на исследуемую территорию, графические оригиналы карт преобразуются в цифровой вид;

2) данные дистанционного зондирования (далее – ДДЗ), которые всё шире используются для формирования баз данных ГИС. К ДДЗ, прежде всего, относят материалы, получаемые с космических носителей. Для дистанционного зондирования применяют разнообразные технологии получения изображений и передачи их на Землю, а носители съёмочной аппаратуры (космические аппараты и спутники) размещают на разных орбитах, оснащают разной аппаратурой. Благодаря этому получают снимки, отличающиеся разным уровнем обзорности и детальности отображения объектов природной среды в разных диапазонах спектра (видимый и ближний инфракрасный, тепловой инфракрасный и радиодиапазон). Всё это обуславливает широкий спектр экологических задач, решаемых с применением ДДЗ. К методам дистанционного зондирования относятся аэро- и наземные съёмки, а также другие неконтактные методы, например гидроакустические съёмки рельефа морского дна. Материалы таких съёмок обеспечивают получение как количественной, так и качественной информации о различных объектах природной среды;

3) результаты полевых обследований территорий включают геодезические измерения природных объектов, выполняемые нивелирами, теодолитами, электронными тахеометрами, GPS-приёмниками, а также результаты обследования территорий с применением геоботанических и других методов, на-

пример исследования по перемещению животных, анализ почв и др.;

4) статистические данные содержат данные государственных статистических служб по самым разным отраслям народного хозяйства, а также данные стационарных измерительных постов наблюдений (гидрологические и метеорологические данные, сведения о загрязнении окружающей среды и т. д.);

5) литературные данные (справочные издания, книги, монографии и статьи, содержащие разнообразные сведения по отдельным типам географических объектов).

В ГИС редко используется только один вид данных, чаще всего это сочетание разнообразных данных на какую-либо территорию.

Пользователи. Широкое применение технологии ГИС невозможно без людей, которые работают с программами и разрабатывают планы их использования при решении реальных задач. Пользователями ГИС могут быть как технические специалисты, разрабатывающие и поддерживающие систему, так и сотрудники различных уровней (конечные пользователи), которым ГИС помогает решать текущие задачи.

Методы и алгоритмы. Успешность и эффективность (в том числе экономическая) применения ГИС во многом зависят от правильно составленного плана, правил, методов и алгоритмов работы, которые определяются в соответствии со спецификой задач каждой организации.

1.10. ГИС и интернет

Интернет (Internet) – это всемирная информационная сеть. Иногда интернет называют просто и уважительно – Сеть. Это направление компьютерной технологии сейчас стремительно развивается.

Официальное определение интернета (Internet) дано в Резолюции Федерального комитета по сетевому взаимодействию США (USA Federal Networking Committee) от 24 октя-

бря 1995 г. Оно гласит, что «интернет» означает глобальную информационную систему, которая:

1) логически взаимосвязана путём использования уникального адресного пространства, основанного на IP (Internet Protocol) или его последующих модификациях;

2) в состоянии поддерживать сетевое взаимодействие, используя набор Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) или его последующие модификации и/или иные IP-совместимые протоколы;

3) обеспечивает и делает доступным как для общественных, так и для частных нужд высокий уровень информационных услуг, налагаемых поверх описанного здесь сетевого взаимодействия и соответствующей инфраструктуры.

В настоящее время персональные компьютеры (далее – ПК) и интернет составляют не менее важную инфраструктуру, чем пути сообщения или электрическая сеть. Что даёт людям эта новая инфраструктура?

1. *Доступ к информации.* Сегодня коммуникации и интернет нужны для успешной работы в любой отрасли индустрии, торговле, транспорте, образовании, науке. Соответственно, страны, использующие высокотехнологичные производства и информационные технологии, закладывают фундамент развития всей своей экономики.

2. *Образование.* Любая нация, которая заботится о своём будущем, создаёт информационную среду непрерывного образования. Оно направлено на формирование новой информационной культуры населения, вхождение российского образования в мировую образовательную систему.

3. *Мощь информационных технологий.* Информационные технологии развиваются в несколько раз быстрее любых других технологий. В странах Западной Европы, США и Японии информационные технологии – главная инфраструктура, способствующая росту экономики, создающая новые рабочие места. Персональные компьютеры и интернет-технологии – ключ к успеху в любом деле. США и другие развитые страны отрасли, взявшие на вооружение информационные технологии, значительно увеличили производительность и стали бо-

лее конкурентоспособными. Информационные технологии способствуют уменьшению накладных расходов и снижают порог вхождения в рынок. Снижение расходов очень важно, но ещё важнее то, что информационные технологии дают людям возможность, избавившись от рутинной работы, генерировать новые идеи и претворять их в жизнь.

4. *«Электронная нервная система»*. Хорошо налаженная система электронной почты, совершенная система групповой работы – это не просто удобный способ общения, а электронная нервная система современного предприятия, которая (как и нервная система живого организма) обладает способностью мгновенно реагировать на любые изменения в окружающем мире, анализировать ситуации и помогать принимать быстрые и правильные решения.

5. *Интеллектуальное богатство*. Страна, для которой важны интеллектуальные возможности её людей, должна ценить и защищать интеллектуальную собственность. Имея строгие законы о патентном и авторских правах, государство должно обеспечить нормальную работу производителя программного обеспечения, средств и систем информатики. Пиратство в этой области снижает национальный доход страны в целом.

Работать в сети Интернет и не использовать все её ресурсы – просто неразумно. Благодаря развивающимся с огромной скоростью технологиям интернета, информационные ресурсы сети связываются всё теснее. Если раньше компьютерные сети в основном служили для обмена письмами по электронной почте, то сегодня мы рассматриваем интернет как единую систему ресурсов: это и комнаты для бесед – чаты, и телеконференции, и сетевые новости, и форумы, и служба пересылки файлов FTP, и электронная почта, и IP-телефония, и даже электронная коммерция.

«Всемирная паутина» – WWW (World Wide Web) – это всемирное хранилище информации, в котором информационные объекты связаны структурой гипертекста. Гипертекст – это, прежде всего, система документов с перекрёстными ссылками, способ представления информации при помощи связей

между документами. Поскольку система WWW позволяет включить в эти документы не только тексты, но и графику, звук и видео, гипертекстовый документ превратился в гипермедиа-документ.

Гипертекст или гипертекстовые ссылки являются «ключевой фигурой» в способе представления информации в WWW.

В сети Интернет поиск обеспечивают специальные поисковые службы. Результат поиска всегда един: клиент получает список рекомендованных гиперссылок.

Интернет замечателен тем, что сеть и её сервисы стали широко распространены в жизни общества. Они оказались так хороши, что река информации потекла руслом интернета.

Интернет не решил проблему хранения и упорядочения информации, но решил проблему её передачи, дал возможность получить любую информацию где угодно, когда угодно и сколько угодно. Он предоставил замечательную возможность свободного общения без границ.

Интернет как «сеть сетей» стал занимать доминирующее положение в вопросах информационного обмена, превратившись к настоящему времени в неотъемлемую часть глобальной культуры и продолжая охватывать всё новые и новые области деятельности. Одной из таких областей стало создание и использование ГИС и геопространственных данных. Сегодня интернет объективно рассматривается как средство экспоненциального роста эффективности распространения, получения и использования географической информации во всех её формах, включая карты, графику, тексты и т. д.

В настоящее время новое направление развития геоинформатики и ГИС, связанное с интернет-приложениями, уже сформировалось. Произошло это стремительно и масштабно благодаря именно интернет-технологиям. Действительно, в течение короткого периода времени была создана принципиально новая технологическая база развития телекоммуникаций, ориентированная на широкое привлечение непрофессиональных пользователей к формированию и развитию единой глобальной информационной сети. Эта технологическая база сыграла роль катализатора, в результате чего в ещё более ко-

роткие сроки, а точнее в последние три – четыре года, заложены основы создания многочисленных ГИС-интернет-приложений. Появились и закрепились новые направления исследований, стала складываться новая терминология, например картографический интернет-сервер (Internet Map Server – IMS), распределённая географическая информация (Distributed Geographic Information – DGI), сформировался рынок специализированных программных продуктов.

Конечно, и для интернета появление интерактивных картографических ресурсов также имело большое значение, поскольку они повысили долю так называемого «серьёзного» контента глобальной сети.

Симбиоз ГИС- и интернет-технологий стал исключительно полезен именно для первых. Впервые появилась реальная возможность организации и поддержки глобального обмена географической информацией. В свою очередь, такой обмен способствует популяризации и профессионализации применения традиционных ГИС, вовлечению в активное использование накопленных и производству новых геоинформационных ресурсов. Перечень того, что дала интеграция ГИС- и интернет-технологий геоинформационной индустрии, можно было бы продолжить. Самым значительным стало то, что благодаря интернету геоинформатика существенно расширила рамки своего присутствия в повседневной жизни общества.

1.11. Геоинформационные системы в России

В настоящее время в ряде регионов (краёв, областей) отсутствует соответствующая современным требованиям система обеспечения органов управления информацией, необходимой для эффективного управления территориальным развитием. Существующие в настоящее время ведомственные системы сбора и анализа данных по отдельным видам объектов управления организационно и методически разрознены, что не позволяет эффективно взаимодействовать при принятии и обосновании конкретных управленческих решений по разви-

тию территорий. Кроме того, низкий уровень автоматизации по сбору, обработке и передаче информации, наличие ведомственных барьеров крайне затрудняют своевременное получение информации в объёмах, необходимых для органов государственной власти.

Для эффективного управления регионами необходимо владеть достоверной и комплексной информацией об экономическом состоянии и потенциале, в том числе о наличии и размещении полезных ископаемых, лесных, водных и земельных ресурсов, об экономическом развитии территорий, о размещении предприятий промышленности и сельского хозяйства, расселении населения, развитии дорожной сети, средств связи и других компонентов инфраструктуры, об экологическом состоянии территорий, а также другой информацией, необходимой для обоснованного принятия решений.

Концепция создания ГИС для органов государственной власти региона (области) предусматривает выполнение мероприятий по внедрению в органы управления современных геоинформационных технологий для комплексного анализа многоаспектной, разнородной информации при решении задач управления развитием региона (области) и её территорий.

В России в настоящее время обстановка существенно отличается от технически развитых стран, работающих с ГИС уже на протяжении ряда лет. В результате в России не решена до конца основная проблема – сбор первичных данных для ГИС и разработка технологии обновления данных.

Любой проект ГИС, разработанный на районном, городском или региональном уровне, сталкивается с необходимостью существенных затрат по сбору первичных данных. Для большинства пользователей ГИС затраты на сбор данных являются чрезмерно большими (до 80 % от общего объёма затрат), что ставит под вопрос само существование ГИС-проекта. Концепция создания ГИС области и проект программы создания ГИС дают решение указанного вопроса.

Решение вопроса – в создании комплексных ГИС-проектов, рассчитанных на целый ряд пользователей. Для реализации этого решения требуется очень чёткий, согласованный

проект, который обеспечивает стандартные средства для хранения и обновления данных. В настоящее время эта проблема до конца не решена, но концепция и проект программы создания ГИС предусматривают механизм решения этой проблемы. Программа предусматривает интеграцию существующих баз данных структурных подразделений администрации области, федеральных органов власти Российской Федерации, действующих на территории области, а также предприятий и организаций, владеющих общезначимой информацией. Метод интеграции состоит в территориальной привязке информации баз данных, а именно: в существующие информационные базы данных вносятся дополнительные сведения о географических координатах объектов базы данных.

Учитывая неполноту существующих баз данных, программа предусматривает добавление в базы данных отсутствующих объектов карты с последующим добавлением сведений об этих объектах. В результате органы управления областью будут иметь полный кадастр объектов управления, территориально привязанный к карте, а также у них будет возможность доступа к полной информации о каждом объекте.

Вторая проблема, которая на данный момент пока не проявилась во всей своей сложности, – отсутствие реальных технологий обновления данных. Следует отметить, что обновление данных также требует существенных материальных затрат, однако без развитой системы обновления данных любая ГИС нежизнеспособна. Поэтому, создавая ГИС, необходимо тщательно отработать технологию обновления данных. В связи с этим уже началось серьезное развитие секторов рынка, связанных с получением и использованием данных зондирования (в основном пока космоснимков высокого разрешения) и систем спутникового определения координат (GPS). Сегодня специалистам ясно, что дальнейшее развитие геоинформатики без этих технологий просто нереально из-за огромных затрат на ввод и актуализацию данных при ведении ГИС-проектов с помощью альтернативных технологий. Более того, сегодня многие уже реализованные крупные информационные проекты, которые пока не содержат даже элементов ГИС-техноло-

гий, обращают на них внимание как на технологию автоматизированной актуализации данных.

Очень серьёзной проблемой и причиной многих других проблем в цифровом картографировании является отсутствие национальных стандартов на классификацию и кодирование топографической информации, форматы обмена цифровыми топографическими данными. Некоторые фирмы занимаются цифровым картографированием незаконно, не имея необходимых лицензий и квалифицированных специалистов. Их заказчиками в большинстве случаев выступают различные административные органы, не подозревающие, что в будущем необходимость интеграции их данных с государственным цифровым картографическим фондом может потребовать серьёзных дополнительных затрат. Чтобы ограничить изготовление и распространение цифровых топографических карт и планов сомнительного свойства, в концепции ГИС области предлагается нормативным образом ввести в практику использование единой топографо-геодезической основы цифровых карт всеми организациями вне зависимости от их ведомственной принадлежности.

Программа состоит из следующих мероприятий:

- 1) создание рабочих мест ГИС с картами области и программными средствами привязки баз данных к картам;
- 2) разработка пилотных проектов ГИС;
- 3) разработка нормативно-правовой основы информационного обмена;
- 4) создание информационной сети ГИС;
- 5) согласованное участие структурных подразделений администрации области и федеральных органов власти, действующих на территории области, в выполнении программы создания ГИС.

Состав рабочих мест ГИС определится с учётом следующих требований: наиболее развитые и эффективно функционирующие системы структурных подразделений органов управления увеличивают число рабочих мест ГИС до требуемого пилотным проектом данного подразделения объёма, при

необходимости в список участников создания ГИС добавляются другие структурные подразделения органов управления.

Программа должна предусматривать развитие методов и средств сетевого взаимодействия ведомственных ГИС и ГИС администрации области, формирование единого геоинформационного пространства. Разветвлённая сеть должна связывать базы данных единой системой управления, позволяющей эффективно осуществлять сбор сведений с территорий и доводить материалы в органы управления, своевременно получать обновлённые данные от организаций – изготовителей (держателей) баз данных, получать функциональные сведения от смежных подразделений для проведения комплексного анализа. Для реализации данного пункта программы необходимо решение двух самостоятельных задач:

- 1) создание системы каналов связи для передачи данных ГИС;

- 2) интеграция существующих и создаваемых ГИС, принадлежащих и управляемых различными структурными подразделениями органов власти, предприятиями и организациями области.

1.12. Сферы применения ГИС

На протяжении столетий географические карты были для людей важнейшим инструментом в исследовании и заселении территорий, планировании их развития, борьбе за них. В США карты стали неотъемлемой составляющей планирования и выполнения государственных, частных и некоммерческих проектов на всех уровнях: местном, региональном, федеральном и международном.

Карты говорят нам, где мы находимся. Они помогают нам разбираться в нашем окружении, находить в нём оптимальные маршруты. Грамотное и разумное применение карт может быть средством решения споров, а некомпетентный подход порождает конфликты. Карты преобразуют неизвестное в известное, существенно облегчая нам поиск ответа на вопрос «Что делать?».

Как и многие другие стороны нашей жизни, карты значительно изменились благодаря компьютерам и средствам связи. В былые времена карты были рисунками, сейчас карты – это данные. Сегодня карты создаются с помощью ГИС, средств дистанционного зондирования, сложных алгоритмов и методов передачи сюжета. Постоянное снижение стоимости хранения, обработки и распространения информации позволило создавать карты с практически неограниченным объёмом данных и аналитическими возможностями.

В приведённых изменениях – корень двух важных взаимосвязанных тенденций. Во-первых, улучшаются качество, эффективность и продуктивность действий органов государственной власти. Во-вторых, возникла новая профессия – проектировщик геоинформационных систем, обеспечивающая десятки тысяч людей хорошо оплачиваемой работой как в частном, так и в государственном секторе. Возникают новые предприятия, предлагающие всё больше новых продуктов и услуг благодаря чрезвычайной полезности геоинформационных систем для человеческой деятельности.

Сегодня правительство США на федеральном уровне активно использует цифровые картографические данные и ГИС-технологии практически в каждом министерстве и ведомстве – от управления чрезвычайными ситуациями и обеспечения национальной безопасности до изучения окружающей среды, охраны природы и здравоохранения.

Многие из этих применений ГИС были сфокусированы на конкретном проекте. Однако по мере того, как администрации городов, округов и штатов расширяли использование этой технологии, вырисовывалась необходимость реализации всеобъемлющего, корпоративного подхода и создания национальной системы.

Такая система должна интегрировать управление ключевыми наборами географических данных страны и обеспечивать различные правительственные агентства геоинформационными услугами и приложениями на их основе. Попытки создать такую систему уже предпринимались, однако они так и не достигли главной цели – создания работоспособной системы.

Современный уровень развития компьютерной техники – программного и аппаратного обеспечения, сетей связи – позволяет серьёзно рассматривать задачу создания ГИС для всей нации. Такая система предоставляла бы исчерпывающее и авторитетное описание географических знаний нашей нации. Она также поддерживала бы целый ряд прикладных задач федерального уровня, требующих связывания географической информации, поступающей из множества источников, например таких как реагирование на чрезвычайные ситуации. Информация в такой системе может поддерживаться уже действующими бизнес-процессами в существующих сегодня правительственных агентствах, а её интеграция может периодически выполняться специальной организацией в составе федеральных органов власти.

Общенациональная ГИС должна включать:

- серию стандартных наборов географических данных (слои базовых пространственных данных (далее – БПД)), организованных в базы данных и доступных для обеспечения поддержки множества приложений в государственном, научном, частном секторах. На федеральном уровне уже заметен прогресс в определении, построении и назначении ответственности в управлении некоторыми из этих ключевых слоёв БПД;

- серию бизнес-процессов, поддерживающих (обновляющих) эти наборы данных, как часть различных уже функционирующих государственных бизнес-процессов. Идея здесь состоит в том, чтобы национальная ГИС поддерживалась напрямую путём участия и сотрудничества существующих ведомств. Такая система должна интегрировать информацию из многих источников на основе использования стандартных моделей данных. Результатом должен стать стандартизованный, гармонизированный и внутренне согласованный массив знаний о стране.

Создание подобной большой системы не может обойтись без проблем, связанных с интеграцией всех её составляющих в единое целое. Одной из наиболее сложных проблем в создании национальной ГИС является интеграция наборов данных, ведение которых осуществляет множество организаций. Эта

проблема возникает вследствие того, что в разных ведомствах данные обычно создаются независимо друг от друга и всюду — с целью решения своей частной задачи (почвы — для земледелия, гидрология — для водных ресурсов и др.). Часто это значит, что данные не подготовлены к интеграции с другими слоями общей карты. Хотя общее координатное пространство является естественной основой интеграции, возникает множество нюансов при попытке совместить эти слои (иными словами, имеет место семантическая и геометрическая несогласованность). Кроме того, различия в разрешении, точности, масштабе и методах сбора данных также препятствуют интеграции данных.

Дополнительной сложностью в этом контексте является то, что для определённых видов данных необходимо смешивать (гармонизировать) мозаику из региональных и местных наборов данных в слои национального уровня (как, например, данные земельного кадастра). Хотя для этого уже существуют научные и технические решения, по целому ряду причин на национальном уровне таких попыток не предпринималось (в основном из-за недостатка организующей структуры, финансирования и поддержки большинства).

Возможно, наиболее важно создать общепризнанный набор интегрированных моделей данных для использования на всех уровнях власти. Если удастся добиться такого признания, научно-методические проблемы интеграции данных будут минимальны. Эти модели данных должны быть стандартизованы на федеральном уровне и связаны с различными программами целевого финансирования по всей стране. Кроме того, в них должны быть отражены назначение и использование на всех уровнях государственного управления. Они должны вместе функционировать как единая модель географической реальности.

В ближайшей перспективе должна быть создана национальная система, собирающая федеральные, региональные и местные данные в общую мозаику с помощью общей модели интеграции. Хотя этот подход имеет ограничения, он вполне реализуем и в последние годы активно использовался. Этот

процесс называется Spatial ETL от английских названий процессов Извлечения, Преобразования и Загрузки слоёв данных из множества источников в интегрированную базу данных на основе общей семантической модели данных.

Условиями, необходимыми для успеха работ по созданию национальной ГИС, являются:

1) наличие высококвалифицированных специалистов, т. е. лидеров, способных реализовать ГИС-систему, которым доверяют и за кем готовы следовать другие;

2) демонстрированное длительное действие, поскольку возобновляемость данных ГИС очень важна;

3) чёткое определение того, чем национальная ГИС является, и программы её реализации;

4) поддержка со стороны органов власти;

5) хорошее информирование. Оно необходимо для передачи всем не только видения системы, но и плана реализации, текущего состояния и результатов;

6) готовность сотрудничать и идти на компромиссы на всех уровнях власти. Это нужно для того, чтобы свести к минимуму дублирование усилий везде, где это возможно, чтобы было легче поддерживать и развивать базы данных;

7) ресурсы (кадры, инвестиции, пропаганда идей, обучение и др.);

8) эксплуатирующая организация;

9) процесс финансирования и упрощённых поставок для межправительственного сотрудничества;

10) рост понимания политиками преимуществ ГИС-технологии.

Помимо разработки всей системы, для федерального правительства есть ещё две важные роли. Для определённых слоёв данных авторитетным источником могут быть только организации федерального уровня (государственная геодезическая сеть, гидрография, модели рельефа и др.). Эти наборы данных должны вестись федеральными органами власти.

Необходимо создать процесс интеграции данных из разных источников и управлять им. Федеральное правительство должно подготовить программу и систему создания этой ин-

фраструктуры постоянной интеграции. Это потребует установления партнёрств соответствующего вида, связанных с обменом данными и предоставлением доступа к ним, а также программы длительного финансирования.

Кроме того, необходимо создать высокопроизводительную и надёжную техническую среду для размещения национальной ГИС вместе с поддерживающей организационной инфраструктурой. Эта инфраструктура будет не только начальной базой для сервисов данных, но и платформой для широкого спектра приложений, поддерживающих деятельность федеральных органов власти. Она будет включать постоянное хранилище, в которое любой сможет обратиться за получением данных для различных видов использования.

Контрольные вопросы

1. Чем отличаются геопространственные данные от других типов данных?
2. С изменением и развитием каких технологий связаны основные четыре этапа развития ГИС?
3. С какими научными дисциплинами связано использование ГИС?
4. Каковы основные функции ГИС?
5. Что входит в состав ГИС?
6. Какие российские ГИС вы знаете и используете?

ГЛАВА 2

Системы глобального позиционирования

Все современные ГИС оперируют координированными пространственно-временными данными. Наиболее современные и уже очень широко используемые определения координат основаны на использовании глобальных систем позиционирования (далее – ГСП). Суть их работы заключается в следующем: летящие по строго заданным орбитам спутники, мгновенные координаты которых точно известны, непрерывно излучают радиосигналы, регистрируемые специальными спутниковыми приёмниками на Земле. Это позволяет с помощью радиотехнических средств измерять расстояния (дальности) от приёмника до спутников и определять местоположение приёмника (его координаты), или находить вектор между двумя приёмниками (разности координат их положения).

К основным задачам, решаемым спутниковыми системами, относят:

- развитие геодезических сетей, служащих основой для определения координат любых объектов;
- производство нивелирных работ, выполняемых вплоть до III и даже II классов точности;
- распространение единой высокоточной шкалы времени;
- исследование геодинамических процессов;
- мониторинг состояния окружающей среды;
- координатное обеспечение кадастровых, землеустроительных, сельскохозяйственных и других работ;
- координатное обеспечение полевых тематических съёмок и инженерно-географических работ с помощью спутниковых приёмников, соединённых со специализированным датчиком (эхолотом, anerоидом, магнитометром, цифровой видеокамерой, аэрофотокамерой и др.);
- создание и обновление баз данных ГИС на основе комплексов спутниковых приёмников со специализированными полевыми компьютерами, цифровыми видеокамерами, электронными тахеометрами и инерциальными навигационными системами.

Интеграция ГСП и ГИС является особенно важной. Рядом фирм выпускаются спутниковые приёмники и программное обеспечение, специально ориентированное на сбор данных для ГИС. Наблюдатель, перемещаясь по местности с таким приёмником, вводит в накопитель пространственные и атрибутивные данные. Они сохраняются в соответствующих форматах и могут быть выведены на экран в целях визуализации и контроля. Большинство GPS-приёмников, предназначенных для ГИС, позволяют использовать цифровые данные из сети Интернет. Всё большее внимание привлекает возможность комплексирования ГИС, ГСП и материалов ДЗ. Технологии ГСП и ДЗ весьма удачно дополняют друг друга.

Преимуществами применения спутниковых методов позиционирования для ГИС являются:

- оперативность, всепогодность, оптимальная точность и эффективность. В отличие от традиционных геодезических методов, не нужна видимость между определяемыми пунктами;

- глобальность – возможность получения данных в единой или во взаимосвязанных системах координат в любой точке Земли;

- чёткая временная привязка данных;

- минимизация влияния человеческого фактора;

- цифровая форма записи;

- применение стандартных форматов записи;

- возможность классификации данных на стадии их полевого сбора;

- возможность сбора данных в различных картографических проекциях;

- сбор больших объёмов данных.

Применение спутниковых методов позиционирования рассматривается как один из самых значительных прорывов в ГИС-индустрии, позволяющих проводить привязку, сбор и обработку данных с невиданной ранее скоростью и качеством.

На данный момент в мире существует несколько полноценно работающих систем глобального позиционирования. Далее будет рассказано об их особенностях, истории создания и принципах работы.

2.1. История создания GPS

История создания Global Positioning System (далее – GPS) ведёт своё начало с 1973 г. (рис. 2.1), когда Управление совместных программ, входящее в состав Центра космических и ракетных исследований США, получило указание Министерства обороны США разработать, испытать и развернуть навигационную систему космического базирования. Результатом данной работы стала система, получившая первоначальное название NAVSTAR (NAVigation System with Time And Ranging), из которого прямо следовало, что система предназначена для решения двух главных задач – навигации, т. е. определения мгновенного положения и скорости потребителей, и синхронизации шкал времени. Поскольку инициатором создания GPS являлось Министерство обороны США, то в качестве первоочередных задач предусматривалось решение задач обороны и национальной безопасности. Отсюда ещё одно раннее название системы – оборонительная система спутниковой навигации (Defense Navigation Satellite System – DNSS).

Разработка концепции построения и архитектуры GPS заняла примерно 5 лет, и уже в 1974 г. фирма Rockwell получила заказ на изготовление первых восьми КА Block I для создания демонстрационной системы. Первый КА был запущен 22 февраля 1978 г., и в том же году Rockwell получила контракт на создание ещё четырёх КА.

Первоначально предполагалось, что орбитальная группировка GPS будет насчитывать 24 КА в трёх орбитальных плоскостях высотой 20200 км и наклоном 63° . К моменту начала серийного производства в 1989 г. КА модификации *Block II* было принято решение об изменении параметров орбиты GPS, в частности наклонение было изменено на 55° , а количество орбитальных плоскостей увеличено до 6.

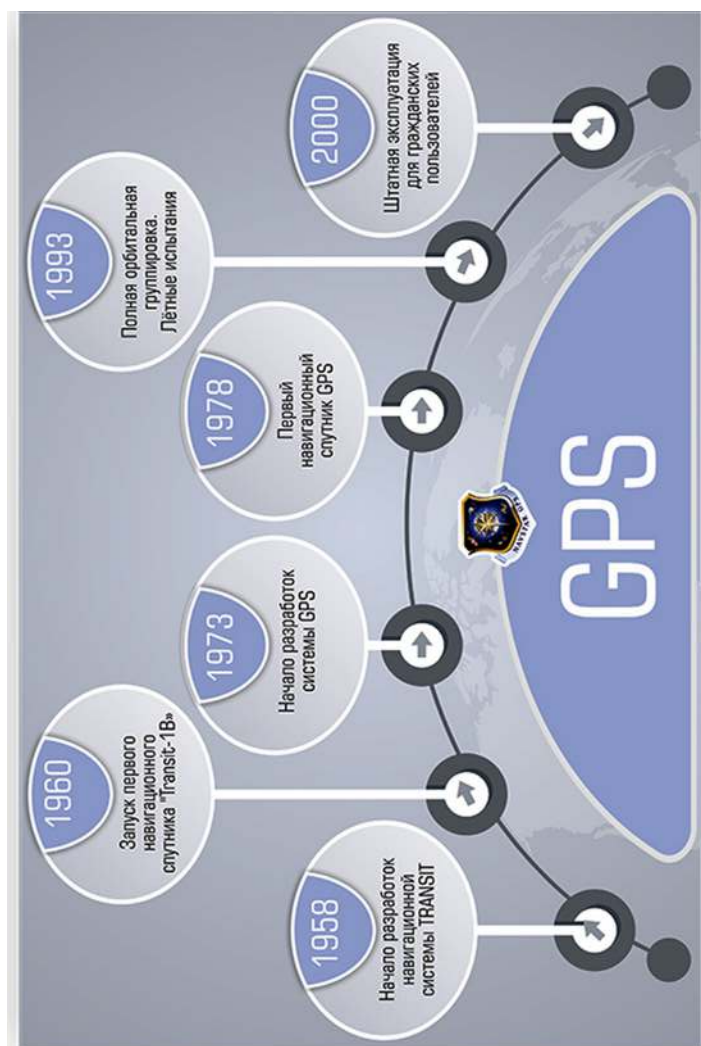


Рис. 2.1. Хронология создания системы GPS

Выделяют два важных этапа развёртывания системы GPS – фазу первоначальной работоспособности (IOC) и фазу полной работоспособности (FOC). Этап IOC начался в 1993 г., когда в составе ОГ насчитывалось 24 КА различных модификаций (Block I/II/IIA), готовых к использованию по целевому назначению. Переход в режим FOC состоялся в июле 1995 г., после завершения всех лётных испытаний, хотя фактически система начала предоставлять услуги в полном объёме с марта 1994 г. Таким образом, GPS является полностью работоспособной уже в течение более чем двух десятилетий, при этом на протяжении всей своей истории GPS постоянно модернизировалась с целью удовлетворения требований различных категорий как гражданских, так и военных потребителей.

При проектировании GPS предполагалось, что точность навигационных определений при использовании C/A-кода будет в пределах 400 м. Реальная точность измерений по C/A-коду оказалась в 10 и более раз выше – 15–40 м (СКО) по координатам и доли метра в секунду по скорости. Возможность получения такой точности измерений с помощью несложной коммерческой АП вызвала в США опасения, что сигналы GPS могут быть использованы потенциальным противником, в том числе в системах высокоточного оружия. В качестве защитной меры, начиная с КА Block II, в GPS были реализованы два метода преднамеренной деградации (загрубления) точности навигационно-временного обеспечения гражданских потребителей – селективный доступ, а также одновременно принятые меры по защите от так называемых уводящих помех. Деактивация режима селективного доступа была осуществлена 2 мая 2000 г. около 4:00 (UT). Точность автономной навигации возросла почти в 10 раз, что дало гигантский импульс к развитию прикладных навигационных технологий.

2.2. История создания ГЛОНАСС

Впервые использовать спутники для навигации предложил профессор В. С. Шебшаевич в 1957 г. Такая возможность была открыта им при исследовании приложений радиоастро-

номических методов в самолётовождении. После этого в ряде советских институтов были проведены исследования, посвящённые вопросам повышения точности навигационных определений, обеспечения глобальности, круглосуточного применения и независимости от погодных условий. Данные исследования были использованы в 1963 г. при проведении опытно-конструкторских работ над первой отечественной низкоорбитальной системой «Цикада». Первый навигационный отечественный спутник «Космос-192», который обеспечивал непрерывное излучение радионавигационного сигнала на частотах 150 и 400 МГц в течение всего времени активного существования, был выведен на орбиту в 1967 г.

Система «Цикада» была сдана в эксплуатацию в составе четырёх спутников в 1979 г. Она позволяла потребителю в среднем через каждые 1,5–2 ч входить в радиокontakt с одним из спутников и определять плановые координаты своего места при продолжительности навигационного сеанса до 5–6 мин. Потребители КНС «Цикада» и «Цикада-М» после 2008 г. были переведены на обслуживание системой ГЛОНАСС, эксплуатация этих систем прекратилась. Выполнить требования большого числа потребителей низкоорбитальные системы в силу принципов, заложенных в основу их построения, не могли.

Успешная эксплуатация низкоорбитальных спутниковых навигационных систем морскими потребителями привлекла широкое внимание к спутниковой навигации, что обусловило необходимость создания универсальной навигационной системы, удовлетворяющей требованиям подавляющего состава потенциальных потребителей.

На основе проведённых многосторонних исследований отечественными специалистами была выбрана штатная орбитальная группировка (далее – ОГ) ГЛОНАСС из 24 спутников, расположенных на средневисотных околокруговых орбитах с номинальными значениями высоты – 19 100 км, наклона – 64,8°, периода – 11 ч 15 мин 44 с. Значение периода позволило создать устойчивую орбитальную систему, не требующую, в отличие от орбит спутников GPS, для своего поддержания корректирующих импульсов практически в течение всего сро-

ка активного существования. Номинальное наклонение обеспечивает стопроцентную доступность навигации на территории РФ даже при условии выхода из ОГ нескольких КА.

При этом были решены две проблемы создания высокоорбитальной навигационной системы. Первая проблема – взаимная синхронизация спутниковых шкал времени с точностью до миллиардных долей секунды (наносекунд), которая была решена с помощью установки на спутниках высокостабильных бортовых цезиевых стандартов частоты с относительной нестабильностью 10^{-13} и наземного водородного стандарта с относительной нестабильностью 10^{-14} , а также создания наземных средств сличения шкал с погрешностью 3–5 наносекунд. Вторая проблема – высокоточное определение и прогнозирование параметров орбит навигационных спутников, которая была решена в результате проведения научных работ по учёту факторов второго порядка малости, таких как световое давление, неравномерность вращения Земли, движение её полюсов и т. п.

Лётные испытания высокоорбитальной отечественной ГНСС, получившей название ГЛОНАСС, были начаты в октябре 1982 г. (рис. 2.2) запуском спутника «Космос-1413». Система ГЛОНАСС была принята в опытную эксплуатацию в 1993 г., а в 1995 г. развёрнута ОГ полного состава (24 КА «ГЛОНАСС» 1-го поколения) и начата штатная эксплуатация системы. Большим недостатком в то время было практически отсутствие гражданской навигационной аппаратуры и, соответственно, гражданских потребителей системы, что требовало серьёзного внимания.

К сожалению, позднее ОГ ГЛОНАСС, как и система в целом, в связи с экономическими проблемами в 90-е гг. XX в. достаточно быстро деградировала. Орбитальная группировка системы ГЛОНАСС к 2002 г. насчитывала только 7 КА, что не могло обеспечить территорию России навигационными сигналами системы ГЛОНАСС хотя бы с умеренной доступностью. Точностные характеристики уступали более чем на порядок системе GPS, а срок активного существования КА составлял 3–4 года.



Рис. 2.2. Хронология создания системы ГЛОНАСС

Ситуацию с деградацией системы ГЛОНАСС удалось переломить за счёт разработки и открытия в 2002 г. федеральной целевой программы, в ходе реализации которой были достигнуты следующие основные цели:

1) система ГЛОНАСС сохранена, прошла этап модернизации и развёрнута до штатного состава, в который входят КА «Глонасс-М». В мире в настоящее время имеются четыре штатно функционирующие глобальные навигационные системы: GPS, ГЛОНАСС, БЕЙДОУ и ГАЛИЛЕО;

2) проведена модернизация наземного комплекса управления, который обеспечивает управление ОГ. В совокупности с КА ОГ он обеспечивает точностные характеристики системы на уровне, сопоставимом с системой GPS;

3) проведены существенные модернизации средств государственного эталона времени, частоты и средств определения параметров вращения Земли;

4) созданы опытные образцы функциональных дополнений глобальных навигационных систем, разработано большое количество образцов базовых приёмоизмерительных модулей, навигационно-временной аппаратуры и систем на их основе.

В настоящее время существует широкий спектр задач навигационного и координатно-временного обеспечения, условий и областей применения спутниковых навигационных технологий, требующих дальнейшего совершенствования системы ГЛОНАСС, включая навигационную аппаратуру потребителей. В первую очередь, это относится к высокоточным применениям системы ГЛОНАСС, для реализации которых необходимо обеспечение дециметрового и сантиметрового уровней точности в реальном масштабе времени, а также к применениям, связанным с обеспечением безопасности при эксплуатации авиационного, морского и наземного транспорта. Требуется повышение оперативности навигационных решений и устойчивости системы ГЛОНАСС к воздействию помех. Существует значительное количество применений, где предъявляются требования обеспечения миниатюризации и высокой чувствительности навигационной приёмной аппаратуры.

Для обеспечения решения новых задач в рамках новых условий, в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 3 марта 2012 г. № 189, в 2012 г. запущена федеральная целевая программа «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 гг.» (далее – Программа).

Система развивается в рамках данной Программы с 2012 г. и предусматривает:

- поддержание системы ГЛОНАСС с гарантированными характеристиками навигационного поля на конкурентоспособном уровне;

- развитие системы ГЛОНАСС в направлении улучшения её тактико-технических характеристик с целью достижения её паритета с иностранными системами навигационного обеспечения, лидирующих позиций Российской Федерации в области спутниковой навигации;

- обеспечение использования системы ГЛОНАСС как на территории Российской Федерации, так и за рубежом.

Уровень совершенства тактико-технических характеристик системы определяется рядом направлений развития системы, основными из которых являются:

- 1) развитие структуры орбитальной группировки ГЛОНАСС в части её расширения и создания дополнений на других орбитах;

- 2) переход к использованию навигационного космического аппарата нового поколения «ГЛОНАСС-К2» с повышенными тактико-техническими характеристиками;

- 3) развитие наземного комплекса управления системы ГЛОНАСС, включая совершенствование эфемеридно-временного комплекса системы ГЛОНАСС;

- 4) создание и развитие функциональных дополнений:

- широкозонной системы дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ-КФД) навигационных полей ГНСС, создаваемой в рамках ОКР «КФД-В»;

- глобальной дополняющей системы высокоточного определения навигационной и эфемеридно-временной информа-

ции (СВО ЭВИ) в реальном времени для гражданских потребителей, создаваемой в рамках ОКР «Сигал».

Развитие системы ГЛОНАСС в целях обеспечения постоянно растущих требований потребителей и конкурентоспособности системы в основном определяется тактико-техническими характеристиками космического сегмента ГЛОНАСС.

2.3. Основные элементы спутниковой системы навигации

Космический сегмент – состоит из навигационных спутников и представляет собой совокупность источников радионавигационных сигналов, передающих одновременно значительный объём служебной информации. Основные функции каждого спутника – формирование и излучение радиосигналов, необходимых для навигационных определений потребителей и контроля бортовых систем спутника.

Наземный сегмент – в его состав входят космодром, командно-измерительный комплекс и центр управления. Космодром обеспечивает вывод спутников на требуемые орбиты при первоначальном развёртывании навигационной системы, а также периодическое восполнение спутников по мере их выхода из строя или выработки ресурса. Главными объектами космодрома являются техническая позиция и стартовый комплекс. Техническая позиция обеспечивает приём, хранение и сборку ракет-носителей и спутников, их испытания, заправку и состыковку. В число задач стартового комплекса входят: доставка носителя с навигационным спутником на стартовую площадку, установка на пусковую систему, предполётные испытания, заправка носителя, наведение и пуск.

Командно-измерительный комплекс служит для снабжения навигационных спутников служебной информацией, необходимой для проведения навигационных сеансов, а также для контроля и управления ими как космическими аппаратами.

Центр управления, связанный информационными и управляющими радиопередачами с космодромом и командно-

измерительным комплексом, координирует функционирование всех элементов спутниковой навигационной системы.

Пользовательский сегмент – в него входит аппаратура потребителей, предназначенная для приёма сигналов от навигационных спутников, измерения навигационных параметров и обработки измерений. Для решения навигационных задач в аппаратуре потребителя предусматривается специализированный встроенный компьютер. Разнообразие существующей аппаратуры потребителей обеспечивает потребности наземных, морских, авиационных и космических (в пределах ближнего космоса) потребителей.

2.4. Принцип работы системы навигации

Современная спутниковая навигация основывается на использовании принципа беззапросных дальномерных измерений между навигационными спутниками и потребителем. Это означает, что потребителю в составе навигационного сигнала передаётся информация о координатах спутников. Одновременно (синхронно) производятся измерения дальностей до навигационных спутников. Способ измерений дальностей основывается на вычислении временных задержек принимаемого сигнала от спутника по сравнению с сигналом, генерируемым аппаратурой потребителя.

Схема определений местоположения потребителя с координатами x , y , z на основе измерений дальности до четырёх навигационных спутников приведена на рис. 2.3. Цветными толстыми линиями показаны окружности, в центре которых расположены спутники. Радиусы окружностей соответствуют истинным дальностям, т. е. истинным расстояниям между спутниками и потребителем. Цветные тонкие линии – это окружности с радиусами, соответствующими измеренным дальностям, которые отличаются от истинных и поэтому называются псевдодальностями. Истинная дальность отличается от псевдодальности на величину, равную произведению скорости света на уход часов b , т. е. величину смещения часов

потребителя по отношению к системному времени. На рисунке 2.3 показан случай, когда уход часов потребителя составляет больше нуля, т. е. его часы опережают системное время, поэтому измеренные псевдодальности меньше истинных дальностей.

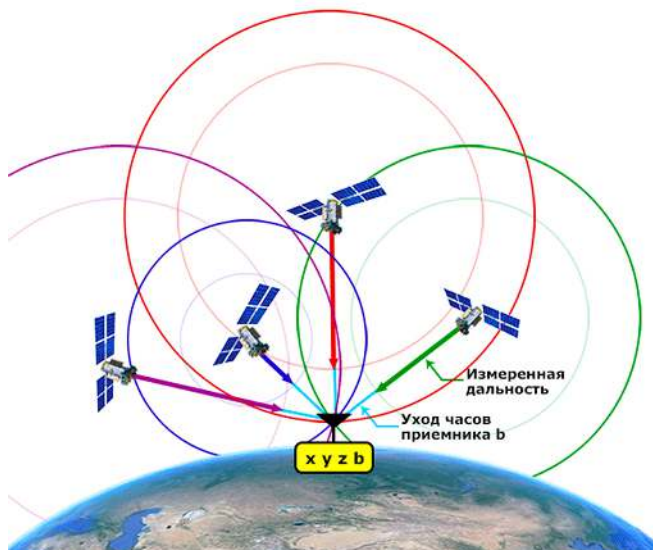


Рис. 2.3. Схема определений местоположения потребителя с координатами x, y, z

В идеальном варианте, когда измерения производятся точно и показания часов спутников и потребителя совпадают, для определения положения потребителя в пространстве достаточно произвести измерения до трёх навигационных спутников.

В действительности показания часов, которые входят в состав НАП, отличаются от показаний часов на борту навигационных спутников. Тогда для решения навигационной задачи к неизвестным ранее параметрам (три координаты потребителя) следует добавить ещё один – смещение между часами потребителя и системным временем. Отсюда следует, что в общем случае для решения навигационной задачи потребитель должен «видеть», как минимум, четыре навигационных спутника.

2.5. Системы координат

Для функционирования навигационных спутниковых систем необходимы данные о параметрах вращения Земли, фундаментальные эфемериды Луны и планет, данные о гравитационном поле Земли, моделях атмосферы, а также высокоточные данные об используемых системах координат и времени.

Геоцентрические системы координат – системы координат, начало которых совпадает с центром масс Земли. Их ещё называют общеземными или глобальными.

Для построения и поддержания общеземных систем координат используются четыре основных метода космической геодезии:

- 1) радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой (РСДБ);
- 2) лазерная локация КА(SLR);
- 3) доплеровские измерительные системы (DORIS);
- 4) навигационные измерения КА ГЛОНАСС и других ГНСС.

Международная земная система координат ITRF является эталоном земной системы координат.

В современных навигационных спутниковых системах используются различные, как правило национальные, системы координат.

2.6. Системы времени

В соответствии с решаемыми задачами используются два типа систем времени: астрономические и атомные.

Системы астрономического времени основаны на суточном вращении Земли. Эталоном для построения шкал астрономического времени служат солнечные или звёздные сутки, в зависимости от точки небесной сферы, по которой производится измерение времени.

Всемирное время UT (Universal Time) – среднее солнечное время на гринвическом меридиане.

Всемирное координированное время UTC синхронизировано с атомным временем и является международным стандартом, на котором базируется гражданское время.

Атомное время (TAI) – время, в основу измерения которого положены электромагнитные колебания, излучаемые атомами или молекулами при переходе из одного энергетического состояния в другое. На Генеральной конференции мер и весов в 1967 г. было принято, что атомная секунда представляет собой переход между сверхтонкими уровнями $F = 4$, $M = 0$ и $F = 3$, $M = 0$ основного состояния $2S_{1/2}$ атома цезия-133, не возмущённого внешними полями, и что частоте этого перехода приписывается значение $9\,192\,631\,770$ Гц.

Спутниковая радионавигационная система является пространственно-временной системой с зоной действия, охватывающей всё околоземное пространство, и функционирует в собственном системном времени. Важное место в ГНСС отводится проблеме временной синхронизации подсистем, которая важна и для обеспечения заданной последовательности излучения сигналов всех навигационных спутников. Она обуславливает возможность применения пассивных дальномерных (псевдодальномерных) методов измерений. Наземный командно-измерительный комплекс обеспечивает синхронизацию шкал времени всех НКА путём их сверки и коррекции (непосредственной и алгоритмической).

2.7. Навигационные радиосигналы

При выборе типов и параметров сигналов, используемых в спутниковых радионавигационных системах, учитывается целый комплекс требований и условий. Сигналы должны обеспечивать высокую точность измерения времени прихода (задержки) сигнала и его доплеровской частоты, высокую вероятность правильного декодирования навигационного сообщения. Сигналы должны иметь низкий уровень взаимной корреляции для того, чтобы сигналы разных НКА надёжно различались НАП. Кроме того, сигналы ГНСС должны максимально

эффективно использовать отведённую полосу частот при малом уровне внеполосного излучения, а также иметь высокую помехоустойчивость.

Почти все существующие навигационные спутниковые системы, за исключением индийской системы NAVIC, используют для передачи сигналов диапазон L (рис. 2.4). Система NAVIC будет излучать сигналы дополнительно и в S диапазоне.

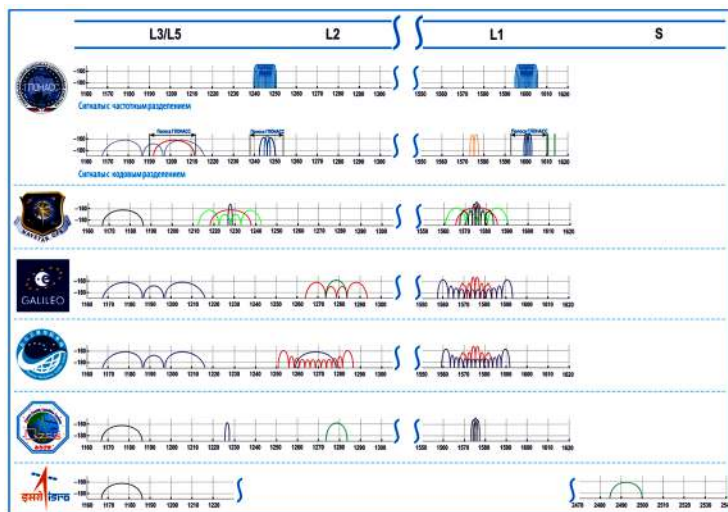


Рис. 2.4. Диапазоны, занимаемые различными навигационными спутниковыми системами

2.8. Типы информации навигационного сообщения

Каждый спутник принимает с наземных станций управления навигационную информацию, которая передаётся обратно пользователям в составе навигационного сообщения. Навигационное сообщение содержит разные типы информации, необходимые для того, чтобы определить местоположение пользователя и синхронизовать его шкалу времени с национальным эталоном:

1) эфемеридная информация, необходимая для вычисления координат спутника с достаточной точностью;

2) погрешность расхождения бортовой шкалы времени относительно системной шкалы времени для учёта смещения времени КА при навигационных измерениях;

3) расхождение между шкалой времени навигационной системы и национальной шкалой времени, для решения задачи синхронизации потребителей;

4) признаки пригодности с информацией о состоянии спутника для оперативного исключения спутников с выявленными отказами из навигационного решения;

5) альманах с информацией об орбитах и состоянии всех аппаратов в группировке для долгосрочного грубого прогноза движения спутников и планирования измерений;

6) параметры модели ионосферы, необходимые одностотным приёмникам для компенсации погрешностей навигационных измерений, связанных с задержкой распространения сигналов в ионосфере;

7) параметры вращения Земли для точного пересчёта координат потребителя в разных системах координат.

Признаки пригодности обновляются в течение нескольких секунд при обнаружении отказа. Параметры эфемерид и времени, как правило, обновляются не чаще, чем один раз в полчаса. При этом период обновления для разных систем сильно отличается и может достигать 4 ч, в то время как альманах обновляется не чаще, чем один раз в день.

По своему содержанию навигационное сообщение подразделяется на оперативную и неоперативную информацию и передаётся в виде потока ЦИ. Сейчас в большинстве сигналов используется гибкая строковая структура. В этой структуре навигационное сообщение формируется в виде переменного потока строк различных типов. Каждый тип строки имеет свою уникальную структуру и содержит определённый тип информации (указаны ранее). Из потока НАП выделяет очередную строку, определяет её тип, в соответствии с которым выделяет информацию, содержащуюся в этой строке.

Гибкая строковая структура навигационного сообщения позволяет гораздо эффективнее использовать пропускную

способность канала передачи данных. Главным достоинством навигационного сообщения с гибкой строковой структурой является возможность её эволюционной модернизации при соблюдении принципа обратной совместимости. Для этого в ИКД для разработчиков НАП специально указывается, что если НАП в навигационном сообщении встречает строки неизвестных ей типов, то она должна их игнорировать. Это позволяет добавлять в процессе модернизации ГНСС к ранее существовавшим типам строк строки с новыми типами. Выпущенная ранее НАП игнорирует строки с новыми типами и, следовательно, не использует те новации, которые вводятся в процессе модернизации ГНСС, но при этом её работоспособность не нарушается. Сообщения сигналов ГЛОНАСС с кодовым разделением имеют строковую структуру.

2.9. Факторы, влияющие на снижение точности

На точность определения потребителем своих координат, скорости движения и времени влияет множество факторов, которые можно разделить на три категории:

1) *системные погрешности, вносимые аппаратурой космического комплекса.* Погрешности, связанные с функционированием бортовой аппаратуры спутника и наземного комплекса управления ГНСС обусловлены в основном несовершенством частотно-временного и эфемеридного обеспечения;

2) *погрешности, возникающие на трассе распространения сигнала от КА до потребителя.* Погрешности обусловлены отличием скорости распространения радиосигналов в атмосфере Земли от скорости их распространения в вакууме, а также зависимостью скорости от физических свойств различных слоёв атмосферы;

3) *погрешности, возникающие в аппаратуре потребителя.* Аппаратурные погрешности подразделяются на систематическую погрешность аппаратурной задержки радиосигнала в АП и флуктуационные погрешности, обусловленные шумами и динамикой потребителя.

Кроме того, на точность навигационно-временного определения существенно влияет взаимное расположение навигационных спутников и потребителя. Количественной характеристикой погрешности определения местоположения и поправки показаний часов, связанной с особенностями пространственного положения спутника и потребителя, служит так называемый *геометрический фактор* Γ_{Σ} или коэффициент геометрии. В англоязычной литературе используется обозначение GDOP – Geometrical delusion of precision.

Геометрический фактор Γ_{Σ} показывает, во сколько раз происходит уменьшение точности измерений. Он зависит от следующих параметров:

1) Γ_{Π} – геометрический фактор точности определения местоположения потребителя ГНСС в пространстве. Соответствует PDOP – Position delusion of precision;

2) Γ_{Γ} – геометрический фактор точности определения местоположения потребителя ГНСС по горизонтали. Соответствует HDOP – Horizontal delusion of precision;

3) $\Gamma_{\text{в}}$ – геометрический фактор точности определения местоположения потребителя ГНСС по вертикали. Соответствует VDOP – Vertical delusion of precision;

4) $\Gamma_{\text{т}}$ – геометрический фактор точности определения поправки показаний часов потребителя ГНСС. Соответствует TDOP – Time delusion of precision.

2.10. Повышение точности навигации

Существующие в настоящее время ГНСС GPS и ГЛОНАСС позволяют удовлетворить потребности многих людей в навигационном обслуживании. Однако существует ряд задач, которые требуют высоких точностей навигации: взлёт, заход на посадку и посадка самолётов, судовождение в прибрежных водах, навигация вертолётов, автомобилей и др.

Классическим методом повышения точности навигационных определений является использование дифференциального (относительного) режима определений.

Дифференциальный режим предполагает использование одного или более базовых приёмников, размещённых в точках с известными координатами, которые одновременно с приёмником потребителя (подвижным, или мобильным) осуществляют приём сигналов одних и тех же спутников.

Повышение точности навигационных определений достигается за счёт того, что ошибки измерения навигационных параметров потребительского и базовых приёмников являются коррелированными. При формировании разностей измеряемых параметров большая часть таких погрешностей компенсируется.

В основе дифференциального метода лежит знание координат опорной точки – ККС или системы опорных станций, относительно которых могут быть вычислены поправки к определению псевдодальностей до навигационных спутников. Если эти поправки учесть в аппаратуре потребителя, то точность расчёта, в частности координат, может быть повышена в десятки раз.

Для обеспечения дифференциального режима для большого региона, например для России, стран Европы, США, передача корректирующих дифференциальных поправок осуществляется при помощи геостационарных спутников. Системы, реализующие такой подход, получили название «широкозонные дифференциальные системы».

2.11. Система GPS

Система GPS предоставляет два вида услуг:

- 1) услугу стандартного позиционирования (Standard Positioning Service – SPS), доступную для всех потребителей;
- 2) услугу точного позиционирования (Precise Positioning Service – PPS), доступную для санкционированных потребителей.

Каждый КА излучает навигационные сигналы на нескольких несущих частотах. Квадратурные составляющие сигналов, передаваемых на каждой из несущих частот, под-

вергаются фазовой манипуляции различными дальномерными псевдослучайными последовательностями (далее – ПСП). Структура некоторых из этих ПСП опубликована, соответственно, данный сигнал может приниматься всеми потребителями. Структура другой части ПСП закрыта, поэтому данный сигнал доступен для приёма только санкционированным потребителям, которым структура ПСП известна.

Услуга стандартного позиционирования SPS и временной синхронизации доступна для всех категорий потребителей безвозмездно и глобально, реализуется посредством излучения всеми космическими аппаратами GPS навигационных радиосигналов, модулированных дальномерным кодом C/A (Coarse/Acquisition – грубый приём). Код C/A представляет собой ПСП Голда длительностью 1 023 символа с тактовой частотой 1,023 МГц. Таким образом, ПСП C/A-кода имеет период повторения $T = 1$ мс, что соответствует интервалу однозначного измерения псевдодальности около 300 км. Программа развития GPS предусматривает предоставление гражданским потребителям услуги SPS с помощью сигналов L2C, L5 и L1C.

Услуга точного позиционирования PPS реализуется посредством излучения всеми КА ОГ GPS навигационных радиосигналов в диапазонах L1 и L2, модулированных дальномерным P(Y)-кодом. Услуга PPS предназначена для использования исключительно вооружёнными силами США, федеральными агентствами США и вооружёнными силами некоторых союзников.

Штатная орбитальная группировка GPS (рис. 2.5) состоит из 32 основных КА, расположенных на шести круговых орбитах, обозначаемых латинскими буквами от А до F. Дополнительно на некоторых орбитах может находиться один или два резервных КА, предназначенных для сохранения параметров системы при выходе из строя основных КА. Наклонение орбитальных плоскостей 55° , долгота восходящих узлов различаются на 60° . Высоте орбит 20 200 км соответствует период обращения 11 ч 58 мин, т. е. орбиты КА GPS являются синхронными.

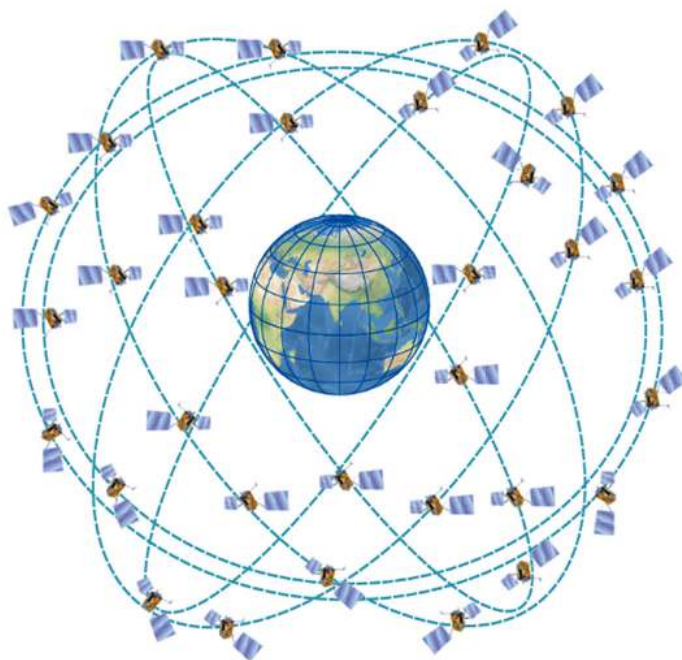


Рис. 2.5. Орбитальная группировка GPS

Параметры орбитальной группировки GPS приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Параметры орбитальной группировки GPS

<i>Орбитальная группировка GPS</i>	
Количество штатных КА	24+
Высота орбиты	20 200 км
Количество плоскостей	6
Большая полуось	26 560 км
Период	11 ч 58 мин
Наклонение	55°

Текущее состояние ОГ GPS можно посмотреть по следующей ссылке: <http://www.glonass-iac.ru/gps/sostavOG>.

Управление ОГ GPS осуществляет 2-я оперативная космическая эскадрилья Космического командования BBC США, расположенная на базе BBC Шривер (штат Колорадо, США), под оперативным командованием Стратегического командования США (USSTRATCOM) со штаб-квартирой на базе BBC Оффут (штат Небраска, США). Оперативное командование осуществляется непосредственно Командующим космическими войсками объединённого командования на базе BBC Ванденберг (штат Калифорния, США).

В настоящее время управление ОГ GPS осуществляет 2-е поколение НКУ, обозначаемое Operational Control Segment (OCS) GPS и включающее в себя (рис. 2.6):

- главный центр управления (Master Control Station – MCS) на базе BBC Шривер;
- резервный центр управления (Alternate Master Control Station – AMCS) на базе BBC Ванденберг;
- глобальную сеть из четырёх командно-измерительных и закладочных станций;
- семь станций сети управления КА BBC США (Air Force Satellite Control Network – AFSCN), привлекаемых дополнительно для обеспечения точности, гибкости и надёжности управления НКА;
- глобальную сеть из 16 станций мониторинга, объединяющую шесть станций мониторинга НКУ GPS, принадлежащих BBC США, и 10 станций мониторинга.

НКУ GPS реализует беззапросную технологию ЭВО, а глобальная сеть командно-измерительных станций позволяет производить закладку информации на борт с периодичностью 4–6 ч.

В результате, в настоящее время погрешность ЭВИ составляет 0,8 м (СКП), при этом НКА GPS IIF предоставляют услуги навигационно-временного с погрешностью ЭВИ 0,39 м (СКП).



Рис. 2.6. Наземное управление орбитальной группировкой GPS: главный центр управления системой GPS (база ВВС Шривер)  резервный центр управления системой GPS (база ВВС Ванденберг)  станции мониторинга NGA , командно-измерительные и закладочные станции и станции мониторинга GPS ВВС США 

Новый НКУ создаётся в четыре этапа. Промежуточный этап предполагает модернизацию существующего НКУ OCS в рамках плана развития архитектуры (Architecture Evolution Plan – AEP).

Наземный комплекс управления ОСХ позволит повысить оперативность управления НКА с одного сеанса приёма телеметрической информации продолжительностью 45–90 мин до непрерывного, в том числе через сеть управления КА BBC США (AFSCN), непрерывно передающую данные на главный центр управления по криптозащищённому каналу в S-диапазоне в формате SGLS/USB.

Программное обеспечение ЭВО НКА в ОСХ будет основано на разработках Лаборатории реактивного движения NASA (Jet Propulsion Laboratory – JPL), используемых в системе дифференциальной коррекции GDGPS NASA, разработанной для обеспечения растущих потребностей в НВО в реальном времени. Наземная сеть GDGPS включает более 100 пунктов Агентства NASA и неправительственных организаций, оборудованных многочастотной НАП. Данные GDGPS будут использоваться BBC США и для мониторинга всех сигналов GPS, поскольку в контуре управления системой в настоящее время мониторинг гражданских сигналов не осуществляется.

2.12. Система ГЛОНАСС

Развитие системы ГЛОНАСС в целях обеспечения постоянно растущих требований потребителей и конкурентоспособности системы в основном определяется тактико-техническими характеристиками космического сегмента ГЛОНАСС (рис. 2.7). История развития КА системы ГЛОНАСС, а также характеристики в настоящее время и ближайшую перспективу приведены в табл. 2.2.

Данные на дату: 11:09 (UTC+3) 15.11.21 г.

✓1-я плоскость ✓2-я плоскость ✓3-я плоскость



Рис. 2.7. Орбитальная группировка ГЛОНАСС

Таблица 2.2

Параметры орбитальной группировки ГЛОНАСС

Характеристики	КА «ГЛОНАСС»	КА «ГЛОНАСС-М»	КА «ГЛОНАСС-К»	КА «ГЛОНАСС-К2»
Годы развёртывания	1982–2005	2003–2016	2011–2018	После 2017
Состояние	Выведен из эксплуатации	В эксплуатации	В разработке на основе проведённых ЛИ	В разработке
Параметры орбиты (рассматриваются вопросы развития ОГ ГЛОНАСС после 2020 г.)	Круговая высота – 19100 км, наклонение – 64,8, период обращения – 11 ч 15 мин 44 с			
Количество КА в ОГ (по целевому назначению)	24			
Количество орбитальных плоскостей	3			
Количество КА в каждой плоскости	8			
Используемые средства выведения	РН «Союз-2.1б», РН «Протон-М»			
Гарантированный срок активного существования, лет	3,5	7	10	10
Суточная нестабильность БСУ, в соответствии с ТЗ / фактическая	$5 \times 10^{-13} / 1 \times 10^{-13}$	$1 \times 10^{-13} / 5 \times 10^{-14}$	$1 \times 10^{-13} / 5 \times 10^{-14}$	$1 \times 10^{-14} / 5 \times 10^{-15}$
Наличие межспутниковых линий связи:				
– радио;	—	+	+	+
– оптическая	—	—	—	+
Наличие системы поиска и спасания	—	—	+	+

2.13. О системе ГАЛИЛЕО

Глобальная навигационная спутниковая система ГАЛИЛЕО создана Европейским союзом для обеспечения независимости стран членов в сфере координатно-временного и навигационного обеспечения.

Европейская программа по созданию ГНСС официально была утверждена в 1994 г., когда Европейский совет потребовал от Европейской комиссии предпринять шаги по развитию информационных технологий, включая и спутниковую навигацию. Было принято решение развивать два направления. Первое из них – создание систем функциональных дополнений существующих ГНСС GPS и ГЛОНАСС. Эта программа получила название European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS). Второе направление заключалось в создании собственной ГНСС, предназначенной для гражданского применения и построенной на принципах государственно-частного партнёрства. Европейский проект по созданию ГНСС в 1999 г. получил условное название ГАЛИЛЕО в честь итальянского астронома Галилео Галилея.

Экспериментальные спутники GIOVE-A и GIOVE-B были запущены на орбиту 28 декабря 2005 г. и 27 апреля 2008 г. соответственно. Основная задача GIOVE-A состояла в оценке точностных характеристик навигационных радиосигналов ГАЛИЛЕО во всех частотных диапазонах, а GIOVE-B – в тестировании навигационной полезной нагрузки.

Два первых навигационных КА были запущены 20 октября 2011 г. с помощью ракеты «Союз-СТБ» с космодрома в Куру. Технология выведения КА ГАЛИЛЕО предполагает групповые запуски по два КА на российской ракете-носителе «Союз» и по четыре КА на европейской ракете «Ариан-5».

Орбитальное построение ГАЛИЛЕО предполагает, что на орбите будет 30 КА на трёх круговых орбитах высотой 23 222 км, периодом обращения 14 ч, наклонением 56°. По целевому назначению используются 24 КА, по 2 КА в каждой орбитальной плоскости являются резервными.

2.14. О системе BEYDOU

Идея создания китайской национальной региональной навигационной системы предложена в 1983 г. Концепция системы, использующей два геостационарных КА (рабочее название системы – Twinsat), прошла экспериментальную проверку в 1989 г. (рис. 2.8). Эксперимент проводился на базе двух связанных космических аппаратов DFH-2/2A, уже находившихся на орбите.

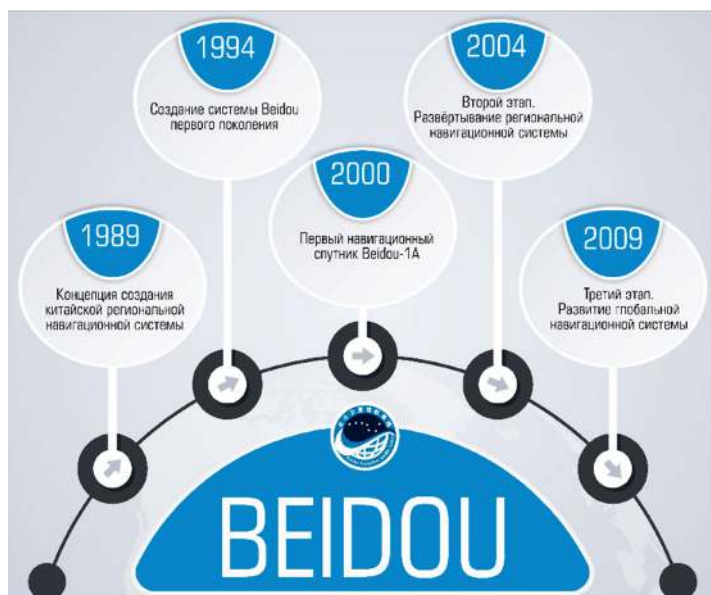


Рис. 2.8. Хронология создания системы BEYDOU

Первый этап создания системы BEYDOU или БЭЙДОУ (BEIDOU – Северный Ковш – китайское название созвездия Большой Медведицы) был начат в 1994 г. Два геостационарных спутника – КА BEIDOU-1A (30 октября 2000 г.) и BEIDOU-1B (20 декабря 2000 г.) – были запущены в 2000 г. Аппараты системы BEIDOU-1 построены на базе связанной геостационарной платформы DFH-3. Китайская система БЭЙДОУ первого поко-

ления была сдана в эксплуатацию 15 декабря 2003 г. Запуск третьего геостационарного спутника BEIDOU-1C в 2003 г. улучшил эксплуатационные характеристики системы.

Развитие системы БЭЙДОУ второго поколения БЭЙДОУ-2 началось в 2004 г. К концу 2012 г. было запущено ещё 14 спутников (5 геостационарных спутников, 5 спутников на наклонной геосинхронной орбите (ГСНО) и 4 спутника на средних орбитах), что позволило завершить развёртывание ОГ. БЭЙДОУ-2 была разработана по принципу совместимости с БЭЙДОУ-1, с применением схемы пассивного позиционирования, что позволяло ей обеспечить пользователей в странах Азиатско-Тихоокеанского региона услугами определения местоположения, скорости, времени, широкодиапазонных дифференциальных поправок и отправки коротких сообщений.

Третий этап – создание системы третьего поколения БЭЙДОУ-3, который начался в 2009 г. Основными целями являются предоставление основных услуг для пользователей, находящихся на территории и акватории обоих Шёлковых путей (сухопутного и водного), а также соседних регионов, и завершение развёртывания ОГ из 35 КА, предназначенной для обеспечения глобальных услуг пользователей.

После развёртывания ОГ БЭЙДОУ-3 система будет предоставлять следующие услуги:

- глобальную базовую навигационную услугу;
- услугу широкозонной системы функционального дополнения;
- услугу передачи коротких сообщений;
- услугу высокоточной навигации;
- услугу поиска и спасания.

Космический сегмент БЭЙДОУ представляет собой ОГ смешанного типа, состоящую из 30 и более КА на орбитах трёх типов (средняя круговая орбита, геостационарная орбита, геосинхронная наклонная высокая орбита) (рис. 2.9).

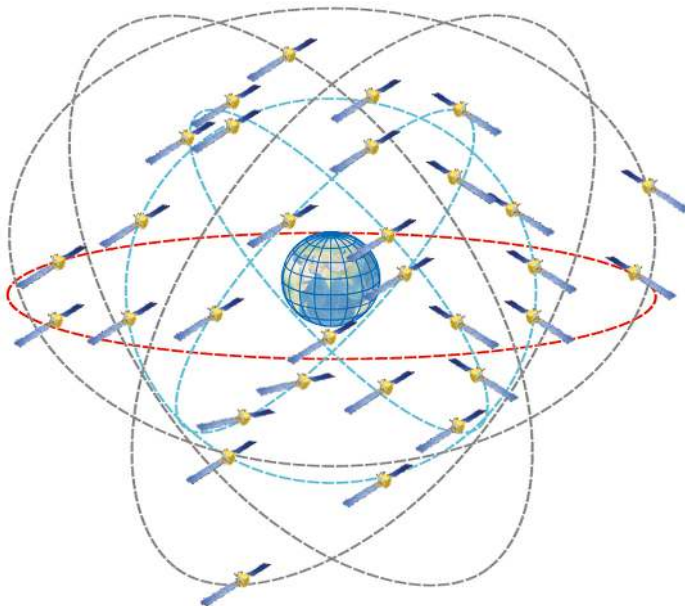


Рис. 2.9. Орбитальная группировка BEYDOU

Параметры орбитальной группировки BEYDOU приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Параметры орбитальной группировки BEYDOU

<i>Орбитальная группировка BEYDOU</i>		
3 КА на геостационарной орбите (ГСО)	точки	58,75° в. д., 80° в. д., 110,5° в. д., 140° в. д., 160° в. д.
	высота	35 786 км
24 КА на средних круговых орбитах (СВО)	количество плоскостей	3
	наклонение	55°
	высота	21 528 км
	период	12 ч 53 мин 24 с
3 КА на наклонной геосинхронной орбите (ГСНО)	пересечение экватора подспутниковой трассой в точке 118° в. д.	
	наклонение	55°
	высота	35 786 км

Контрольные вопросы

1. Какие задачи решают спутниковые системы позиционирования?
2. Какие выделяются преимущества и недостатки у спутниковых систем позиционирования?
3. Какова точность позиционирования систем GPS и ГЛОНАСС?
4. Могли бы вы описать принцип определения местоположения приёмника сигналов глобальной системы позиционирования? Какое минимальное количество спутников необходимо для расчёта координат?
5. Какие факторы влияют на снижение точности определения координат?
6. Какая точность определения координат выше: по горизонтали или по вертикали? Почему?
7. Какие современные полностью функционирующие системы глобального позиционирования вы могли бы назвать?

ГЛАВА 3

Системы координат в картографии

Функционирование ГИС подразумевает под собой использование различного рода изображений реальной земной поверхности. Однако экран монитора – это плоскость, а земная поверхность далека от плоскости. В первом приближении она представляет собой шар, но чем более подробно бы хотим отобразить её, тем сложнее она становится.

Процесс переноса реальной земной поверхности на плоскость карты представляет собой довольно сложный и витиеватый путь, который выполняется в несколько шагов:

1) нерегулярная форма Земли (геоид) аппроксимируется некоторой регулярной поверхностью (такой, которую можно описать одной формулой);

2) выбранная поверхность фиксируется относительно тела Земли и становится поверхностью относимости (называемой также референц-поверхностью). Этим задаётся система геодезических (географических) координат;

3) поверхность относимости масштабируется (уменьшается) соответственно главному масштабу карты;

4) изображение географических объектов с уменьшенной поверхности относимости строгими математическими методами отображается (проецируется) на плоскость или развёртываемую без искажений поверхность.

Рассмотрим все эти шаги по очереди.

3.1. Некоторые понятия теории фигуры Земли

В теории фигуры Земли используется понятие об уровне поверхности, которая определяется как непрерывная поверхность, во всех точках нормальная направлению отвесных линий (направлению силы тяжести).

Очевидно, мысленно можно представить бесчисленное множество уровенных поверхностей, огибающих Землю. По-

верхность Мирового океана, находящаяся в состоянии покоя, тоже является уральной поверхностью. Она называется средней уральной поверхностью, или поверхностью геоида.

Поверхность геоида не является стабильной и, претерпевая непрерывные изменения во времени, может быть зафиксирована только для определённого момента. Изменения поверхности (колебания уровня Мирового океана и суши) обусловлены лунно-солнечным притяжением, вызывающим морские приливы, и различными геологическими и метеорологическими факторами, математическое описание которых затруднено, а зачастую и невозможно. Поэтому фиксация поверхности геоида может быть произведена только приближенно, на основании результатов длительного наблюдения уровня океана. В России в качестве начальной точки, лежащей на поверхности геоида, принят нуль Кронштадского футштока, фиксирующий средний уровень Балтийского моря.

Использование геоида как характеристики фигуры Земли затруднено ещё и тем, что для изучения поверхности геоида недостаточно знать гравитационное поле Земли, а необходимо привлекать данные о распределении по плотности масс Земной коры. Строение Земной коры изучено ещё недостаточно полно, что делает невозможным точное определение поверхности геоида и вынуждает решать эту задачу приближенно, прибегая к тем или иным гипотезам и предположениям.

В настоящее время для исследования фигуры Земли, а также для решения геодезических задач используется так называемый квазигеоид (рис. 3.1). Преимущество квазигеоида состоит в том, что его поверхность может быть изучена только на основании гравиметрических данных, без привлечения данных о структуре Земной коры.

Поверхности геоида и квазигеоида совпадают на территории Мирового океана, на равнинах различаются не более чем на несколько сантиметров, в горных районах различие достигает 2 м (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Нерегулярная поверхность геоида, аппроксимирующаяся регулярным эллипсоидом¹

Поверхности геоида и квазигеоида не являются математически правильными неизменными во времени и поэтому для обработки геодезических измерений нужно использовать стабильную и более простую поверхность сравнения. В картографии в качестве таковой используют поверхность эллипсоида вращения.

Здесь мы вынуждены сделать небольшое отступление от общего повествования для тех, кто не имеет понятия об эллипсоидах вращения, и о том, каким образом они могут представлять поверхность Земли.

3.2. Понятие об эллипсоиде вращения

Подобно тому как сфера основана на круге, эллипсоид основан на эллипсе. В общем случае рассматривают трёхосный эллипсоид. В зависимости от соотношения длин его осей возможно три случая: сфера (все три оси равны); эллипсоид вращения (две оси равны); трёхосный эллипсоид (все оси – разные) (рис. 3.2).

Сфера используется только для мелкомасштабных карт (мельче 1:1000000). При этих масштабах невозможно заме-

¹ Для каждого участка геоида (каждой страны или региона) может быть подобран свой оптимальный эллипсоид. Для Земли в целом используется общеземной эллипсоид.

тить на карте разницу между сферой и эллипсоидом. Однако для поддержки точности карт более крупного масштаба Землю следует рассматривать как эллипсоид.

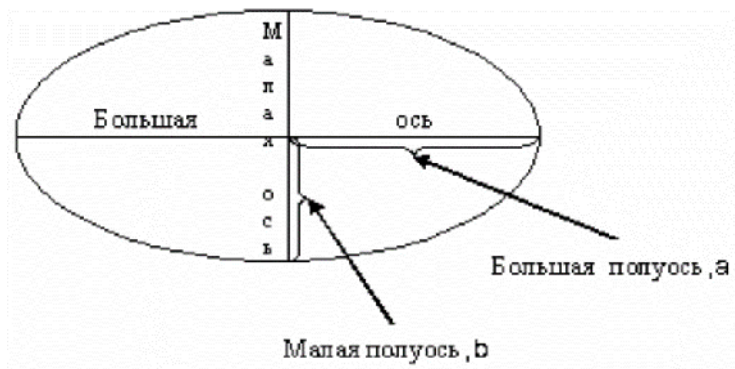


Рис. 3.2. Параметры эллипса

Трёхосный эллипсоид используется практически только для представления небесных тел неправильной формы. Для представления земной поверхности в ГИС он не актуален, а используется только в особо точных геодезических измерениях.

Для построения топографических карт в большинстве случаев выбирают эллипсоид вращения. Так же, как вращение круга вокруг оси, определяемой его диаметром, образует сферу, вращение эллипса вокруг его большой или малой оси образует эллипсоид.

Эллипс задаётся двумя параметрами – длинами двух полуосей a и b (рис. 3.2), или (более распространённый случай) длиной большой полуоси a и коэффициентом сжатия $f = (a-b)/a$. Значения сжатия находятся в диапазоне от 0 до 1. Сжатие 0 означает, что обе оси равны, т. е. мы имеем дело с кругом. Сжатие 1 означает фигуру только с одной осью, выглядящую как отрезок прямой, длина которого равна длине большой оси. В общем случае большие значения сжатия описывают узкие эллипсы, а малые значения сжатия описывают почти круглые эллипсы.

Эллипсоид, который почти напоминает сферу, называется «сфероид» (рис. 3.3). Эллипсоид, почти напоминающий форму Земли, образован вращением вокруг малой оси.

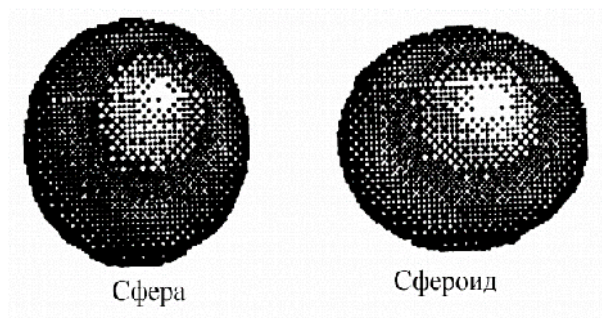


Рис. 3.3. Сфера и сфероид

Эллиптичность сферы равна 0, в то время как эллиптичность Земли составляет примерно 0,003353.

Явление сжатия наблюдается на полюсах, а расширение происходит на экваторе. Соответственно, большая полуось описывает экваториальный радиус, а малая полуось представляет полярный радиус.

Размеры эллипсоида и его ориентировка в теле Земли должны быть такими, чтобы поверхности эллипсоида и квазигеоида являлись по возможности близкими друг другу. Наилучшим образом этому удовлетворяет общеземной эллипсоид (World ellipsoid), у которого:

- центр совпадает с центром тяжести Земли, а плоскость экватора – с плоскостью земного экватора;
- сумма квадратов отклонений по высоте поверхности эллипсоида от поверхности квазигеоида является минимальной.

В настоящее время задачи определения параметров общеземного эллипсоида решаются путём проведения измерений с помощью спутниковых геодезических систем. Использование спутниковых технологий позволило обнаружить несколько эллиптических отклонений, например южный полюс находится ближе к экватору, чем северный полюс. Общеземной эллипсо-

ид аппроксимирует поверхность Земли в целом. В США в настоящий момент используется общеземной эллипсоид WGS-84 (World Geodetic System 1984), в России – ПЗ-90 (Параметры Земли 1990 г.). Задачи определения размеров общеземного эллипсоида и его ориентирования в теле Земли должны решаться совместно. Однако точное выполнение указанных условий невозможно без детальной изученности поверхности квазигеоида в целом.

До создания спутниковых геодезических систем параметры эллипсоидов определялись в результате вычислительной обработки данных государственных и региональных геодезических сетей. При этом задача установления эллипсоида обычно разбивается на две части: первоначально, используя результаты геодезических и гравиметрических работ, определяют размеры эллипсоида, а затем ориентируют эллипсоид в Земле. Полученный таким способом эллипсоид называется референц-эллипсоидом.

Поскольку геодезические сети создавались на разных континентах, разными средствами и с разным уровнем точности, на настоящий момент имеется более двух десятков референц-эллипсоидов, каждый из которых оптимален лишь для определённой части Земли. Для территории России таким эллипсоидом является эллипсоид Красовского, рассчитанный в 1940 г.

Таким образом, эллипсоиды бывают двух типов: общеземные, аппроксимирующие поверхность Земли в целом, и референц-эллипсоиды, наиболее точно представляющие поверхность Земли на некоторой ограниченной территории, например в пределах отдельной страны.

Следует отметить, что в справочных расчётах сфероиды, определённые с помощью спутниковых технологий, начинают вытеснять сфероиды, определённые в результате наземных измерений. Фактом, который необходимо учитывать перед тем, как внести изменения в справочный сфероид, является воздействие такого изменения на все предварительно измеренные величины. Из-за сложности измерения сфероидов те из них, которые были получены в результате наземных изме-

рений, всё ещё используются и представляют собой ценный справочный материал. Названия некоторых сфероидов, размеры осей и географические местоположения, к которым они могут применяться, перечислены в табл. 3.1. Вы заметите, что значения действительно варьируют, но лишь в небольших размерах по отношению к размерам Земли.

Таблица 3.1

Большие и малые полуоси сфероидов

<i>Название</i>	<i>Дата, год</i>	<i>Большая полуось, м</i>	<i>Малая полуось, м</i>	<i>Использование</i>
Эйри	1830	6377563,396	6356256,91	Великобритания
Австралийская национальная	1837	6378160	6356774,719	Австралия
Бессель	1841	6377397,155	6356078,963	Большинство областей Центральной Европы, Чили
Кларк	1866	6378206,4	6356583,8	Североамериканский континент и Филиппины
Кларк	1880	6378249,145	6356514,86955	Франция и большая часть Африки
Эверест	1830	6377276,3452	6356075,4133	Индия, Бирма, Цейлон, Малайзия
CP380	1980	6378137	6356752,31414	Северная Америка
Хельмерт	1907	6378200	6356818,17	Египет
Красовский	1940	6378245	6356863,0188	СССР и некоторые страны Восточной Европы
WGS84	1984	6378137	63565752,31	Во всём мире

3.3. Система геодезических координат (DATUM)

Следующим этапом является задание системы геодезических координат на поверхности эллипсоида. В качестве координат используются криволинейные координаты, известные как широта и долгота. Хотя начало координат определяется как точка на пересечении экватора и Гринвичского меридиана, в действительности для задания отсчёта координат использу-

ется косвенный метод, когда для некоторой точки на реальной поверхности Земли (так называемого начального пункта) фиксируются значения широты и долготы, производится совмещение нормали к поверхности референц-эллипсоида и отвесной линии в данной точке, а плоскость меридиана исходного пункта устанавливается параллельно оси вращения Земли. Эти исходные данные, называемые также геодезическими данными (datum), жёстко фиксируют систему геодезических координат относительно тела Земли. Для эллипсоида Красовского такая точка задана в Пулково (центр круглого зала обсерватории), чем задаётся основа Системы координат 1942 г. (СК-42).

3.4. Главный и относительный масштабы

Упрощённо процесс проецирования можно представить двумя этапами: в начале преобразуем Земной шар в промежуточный сфероид в зависимости от выбранного масштаба, затем этот сфероид проецируется на плоскую поверхность. Численный масштаб первого преобразования называется главным масштабом: он равен отношению радиуса промежуточного сфероида к радиусу Земли.

Теперь рассмотрим ещё одно новое понятие – масштабный коэффициент. Масштабный коэффициент, называемый также относительным масштабом, определяется как отношение местного масштаба на карте к главному масштабу. По определению масштабный коэффициент на промежуточном сфероиде равен 1. Когда же мы переходим от его сферической поверхности к двумерной карте, местный масштаб не будет равен главному, поскольку плоская и сферическая поверхности не совместимы (рис. 3.4). Следовательно, масштабный коэффициент в общем случае не равен 1 и будет различным в разных частях карты. Чем больше масштабный коэффициент отличен от 1, тем сильнее искажения на карте.



Рис. 3.4. Трёхмерные элементы, сжимающиеся для того, чтобы их можно было поместить на плоскую поверхность

3.5. Картографические проекции

Глобус – традиционный способ отображения формы Земли. Хотя глобусы в целом передают форму Земли и показывают пространственные очертания объектов размером с континент, на практике они не применяются. Глобус даже очень мелкого масштаба (1:1000000000) будет очень велик. На практике для проведения полевых работ и анализа полученных данных мы используем значительно более крупные масштабы – от 1:1000000 до 1:5000, в зависимости от уровня детализации. Картографы разработали набор методов, называемых картографическими проекциями, которые предназначены для изображения с приемлемой точностью сферической Земли на плоском носителе.

Есть ещё одна причина, которая вынуждает нас применять на практике плоские карты. На глобусе достаточно легко определить местоположение объекта, зная его сферические координаты: широту и долготу (рис. 3.5). Однако в большинстве случаев нам недостаточно просто знать, где расположен объект. Нам интересно знать, как он взаимодействует с други-

ми объектами, а для этого нужно проводить измерения: расстояний, длин, площадей, направлений и т. д. Для проведения измерений сферические координаты приспособлены плохо. Основная причина заключается в том, что угловому расстоянию в 1° на разных широтах соответствует неодинаковое линейное расстояние на поверхности Земли: если 1° на экваторе (или любой другой линии большого круга) составляет ≈ 111 км, то на широте, отличной от 00, эта величина будет меньше. Иными словами, расстояние на поверхности Земли, соответствующее 1° углового расстояния, является величиной переменной, зависящей от значения широты. Использование прямоугольных систем координат освобождает нас от подобных проблем.

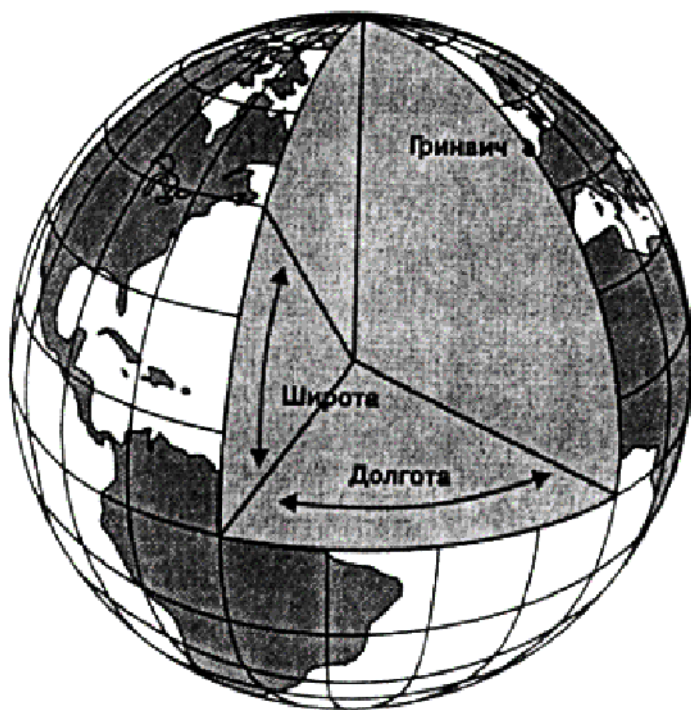


Рис. 3.5. Сферическая система координат

Физически процесс создания проекций можно уподобить проецированию лучей источника света из центра сфероида на поверхность проекции (рис. 3.6).

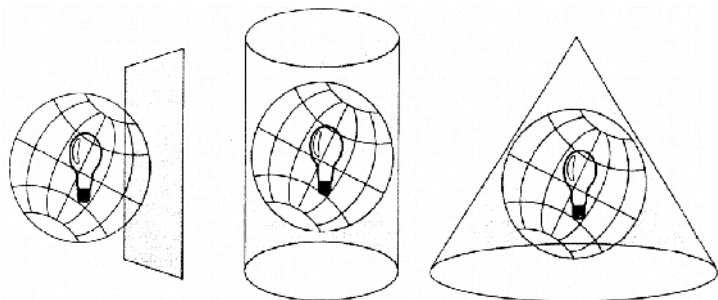


Рис. 3.6. Три семейства картографических проекций¹

Фигура для проецирования выбирается такой, чтобы её можно было развернуть в плоскость без растяжения их поверхностей. Обычными примерами форм, удовлетворяющих этому критерию, являются конусы, цилиндры, плоскости. В зависимости от выбора фигуры для проецирования различают три семейства картографических проекций: конические, цилиндрические, планарные.

Первым шагом при построении проекции одной поверхности на другую является создание одной или более точек контакта. Каждая такая точка называется *точкой касания*. Плоскостная проекция проходит по касательной к глобусу только в одной точке. Касательные конусы и цилиндры вступают в контакт с глобусом вдоль линии. Если поверхность проекции пересекает глобус вместо того, чтобы просто коснуться его поверхности, полученная в результате проекция концептуально требует вычисления секущей, а не касательной линии. Независимо от того, является ли контакт касательным или секущим, его место очень значимо, поскольку определяет точку или линию нулевого искажения. Эту линию истинного

¹ Они могут создаваться с использованием плоских поверхностей, цилиндров, конусов.

масштаба часто называют *стандартной линией*. В общем, искажение увеличивается с увеличением расстояния от точки контакта.

Проекции – не абсолютно точные представления географического пространства. Каждая создаёт свой набор типов и величин искажений на карте. Бывают искажения формы (или углов), площади, расстояния и направления. Для представления различных частей земной поверхности используют разные разновидности картографических проекций. Некоторые картографические проекции сводят к минимуму искажения по одному параметру за счёт увеличения искажения по другим параметрам, в то время как другие проекции пытаются минимизировать все искажения в равной степени.

Некоторые виды проекций показаны на рис. 3.7. Следует отметить, что существуют сотни видов и разновидностей проекций. Однако для нас представляют интерес цилиндрические проекции, поскольку проекция Гаусса-Крюгера является поперечно-цилиндрической.

Цилиндрические проекции могут иметь одну линию касания или две линии сечения на глобусе. Экватор обычно является линией касания. Меридианы проецируются геометрически на цилиндрическую поверхность, а параллели проецируются математически, создавая углы 90° координатной сетки. Цилиндр можно «рассечь» вдоль меридиана для получения конечной цилиндрической проекции (рис. 3.8). Меридианы расположены через равные интервалы, в то время как интервал между параллельными линиями широты возрастает по направлению к полюсам. Эта проекция является равноугольной и показывает истинное направление вдоль прямых линий.

При создании более сложных цилиндрических проекций цилиндр вращают, таким образом изменяя линии касания или сечения. Поперечные цилиндрические проекции, такие как Поперечная проекция Меркатора или Гаусса-Крюгера, используют меридианы как линии касательного контакта, соответственно, ось цилиндра лежит в плоскости экватора. Линии касания идут на север и юг, а вдоль них масштаб является истинным.

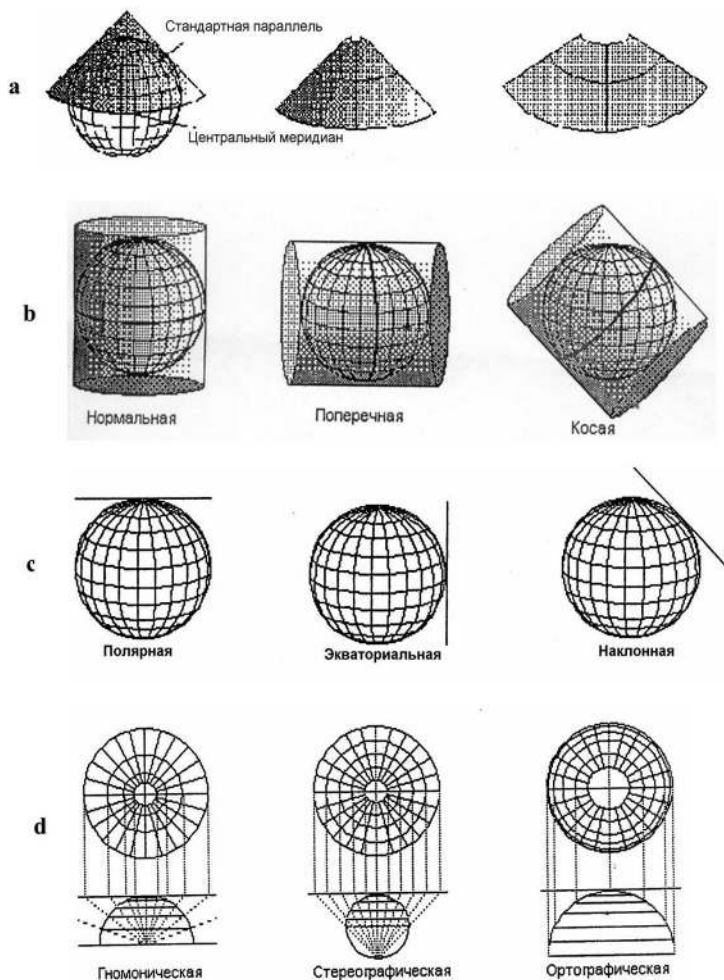


Рис. 3.7. Виды картографических проекций: а) конические; б) цилиндрические; в) планарные; г) азимутальные

Когда основные этапы получения картографических проекций рассмотрены, а необходимые для их понимания характеристики карт определены, можно дать развёрнутое, подробное описание системы координат СК-42, которое будет приведено в следующем параграфе.

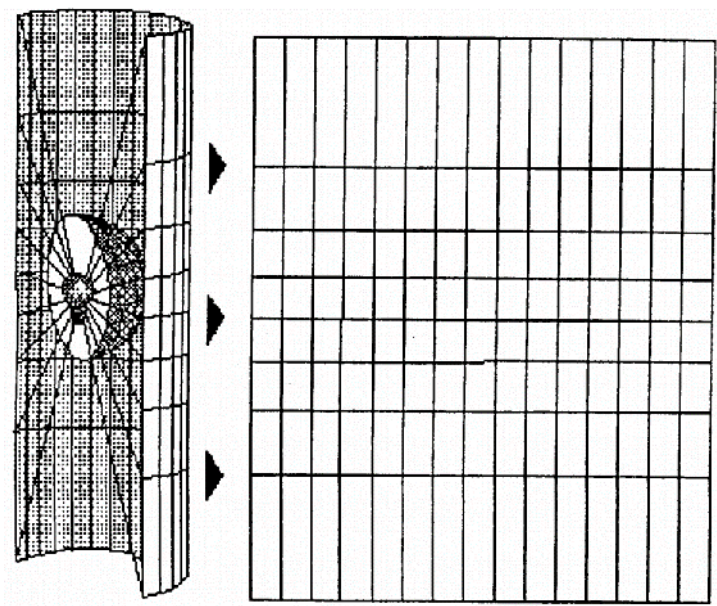


Рис. 3.8. Разворачивание поверхности цилиндра в плоскость

3.6. СК-42

СК-42 можно охарактеризовать как прямоугольные координаты в зональной системе. Под зональной системой в данном случае подразумевается проекция Гаусса-Крюгера. Она делит Земную поверхность на 60 пронумерованных зон шириной по 6° долготы каждая (рис. 3.9).

Значения крайних меридианов шестиградусных зон будут следующими: первая зона – $0-6^\circ$, вторая зона – $6-12^\circ$, третья зона – $12-18^\circ$ и т. д. Следует отметить, что положение зон в проекции Гаусса-Крюгера совпадает с положением зон международной системы разграфки земной поверхности на шестиградусные зоны (рис. 3.10), называемые (по международному соглашению) колоннами, но отличается по номеру. По-

сколько нумерация колонн идёт не от 0° меридиана, а от 180° , то номер зоны будет отличаться от номера колонны на 30, т. е.:

$$n = N - 30,$$

где n – номер шестиградусной координатной зоны;

N – номер колонны листов карты масштаба 1:1000000.

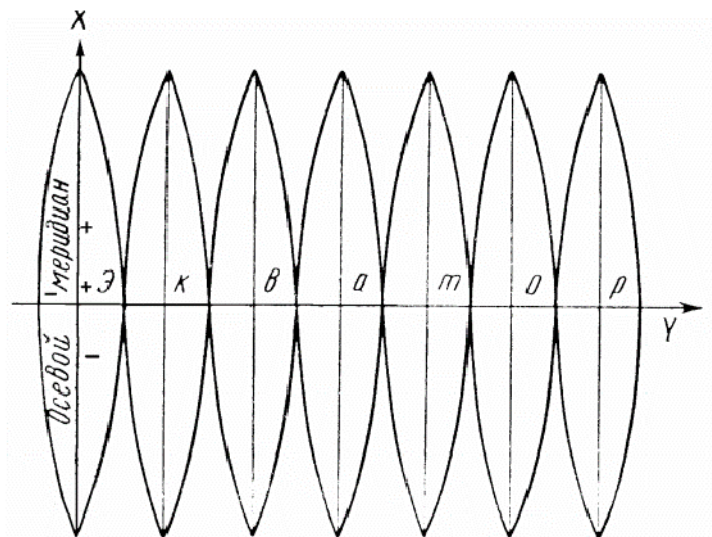


Рис. 3.9. Зоны проекции Гаусса-Крюгера

Территория России размещена в зонах с 4 по 32. По номеру зоны можно определить долготу осевого и крайних граничащих меридианов. Так, например, в четвёртой зоне крайний западный меридиан равен 18° , восточный – 24° , а осевой – 21° .

Зональная проекция подразумевает проведение проецирования не одновременно для всего сфероид, а отдельно для каждой зоны. Проецирование осуществляется столько раз, сколько существует зон. Для получения проекции какой-либо из 60 зон цилиндр размещают относительно сфероид таким образом, чтобы поверхность цилиндра наиболее плотно прилегала к поверхности сфероид в пределах этой зоны. Такой способ проецирования позволяет свести искажения, неизбежные при проецировании, к минимуму. Проекция Гаусса-Крю-

гера является конформной (равноугольной), искажения площадей, расстояний и направлений в пределах каждой зоны минимальны: вдоль осевого меридиана искажения отсутствуют, следовательно, масштабный коэффициент вдоль осевого меридиана сохраняется и равен 1. При удалении от осевого меридиана искажения становятся отличными от 0 и достигают своего максимального значения, равного $1/750$ на границе зоны.

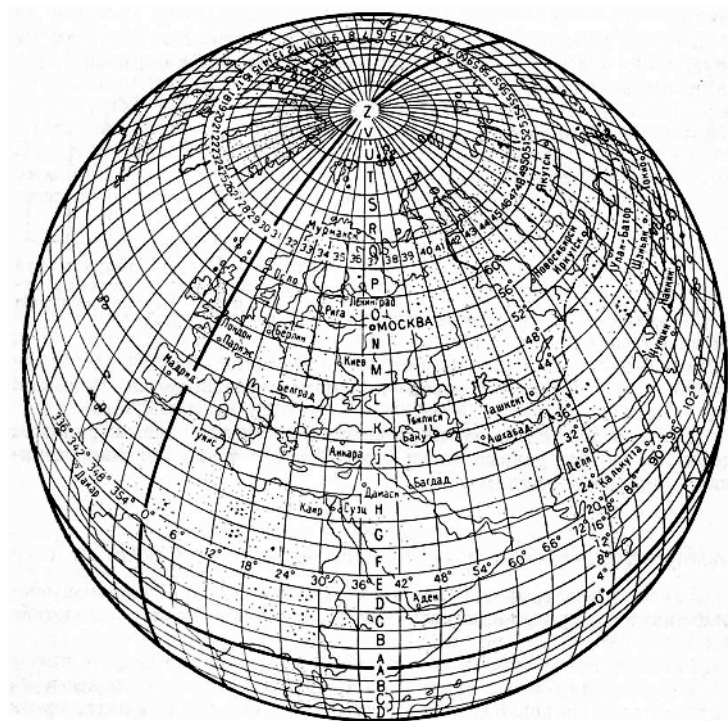


Рис. 3.10. Международная разграфка листов карты масштаба 1:1000000

По широте зона проходит от полюса до полюса. Меридианы и параллели представляют собой кривые линии, за исключением осевого меридиана. Как было указано ранее, каждая зона представляет особую координатную систему. Начало ко-

ординат каждой зоны находится в точке пересечения экватора со средним (осевым) меридианом зоны. Система координат является прямоугольной. Каждая зона имеет своё начало координат. Осевой меридиан и экватор принимают за координатные оси (рис. 3.11): осевой меридиан – за ось абсцисс, а экватор – за ось ординат. Единица измерения – метр.

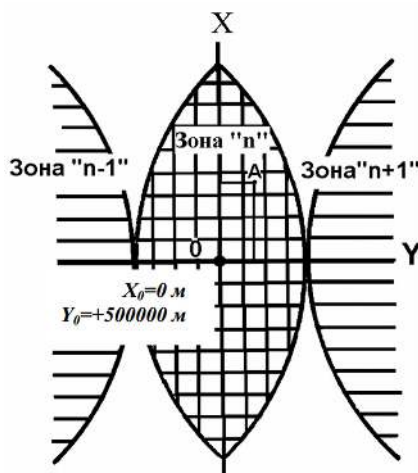


Рис. 3.11. Прямоугольные координаты в зоне

Если меридиан разделить на равные отрезки и через точки деления провести вертикали, а на земной поверхности провести малые круги на тех же расстояниях друг от друга и всё это спроектировать на плоскость, соблюдая условие равноугольности, то на плоскости окажется сетка практически равных квадратов. Линии, образующие стороны этих квадратов, называются километровыми и проводятся на картах обычно на расстоянии целых километров друг от друга. Линии одной системы параллельны среднему меридиану зоны, а линии другой системы – экватору. Километровые линии вычерчиваются на всех топографических картах и служат для определения прямоугольных координат точек и решения других задач по карте.

Вся территория бывшего СССР расположена в северном полушарии, поэтому абсциссы всех её точек будут положительными.

Чтобы не иметь дела с отрицательными ординатами, условно принимают ординату точки O , т. е. начала координат, равной 500 км (рис. 3.11), или, иначе, увеличивают значения ординат на 500 км. При этом условии даже на экваторе самая западная точка зоны будет иметь ординату примерно +165 км. Такой приём является общепринятым и используется при определении многих систем координат (например, UTM). Это смещение называют ложным сдвигом в восточном направлении.

Положим, что две точки определены их координатами: $x_A = 5\,973$ км, $y_A = 722$ км и $x_B = 973$ км, $y_B = 395$ км. Это значит, что расстояние до обеих точек от экватора равно 5 973 км, точка A лежит в зоне на восток от осевого меридиана на расстоянии 222 км, а точка B на запад – 105 км.

Территория России располагается в 28 зонах. Значит, точек с такими координатами в пределах нашей страны будет тоже 28. Чтобы точно указать, о какой точке из 28 идёт речь, надо указать ещё номер зоны, например 7. Номер зоны вводится и в ординату. Ордината получит следующий вид: $y_A = 7\,722$; $y_B = 7\,395$.

Если дано $y = 13\,642$, значит, точка лежит в 13-й зоне, а условная (увеличенная на 500 км) ордината её составляет 642 км.

Как было сказано ранее, на каждой топографической карте можно видеть километровые квадраты (на картах масштаба 1:100000 – двухкилометровые), причём километровые линии имеют подписи целых чисел километров от соответствующих осей.

Километровая разграфка для листов N-37-133-B, N-37-144-Г масштаба 1:50000 показана на рис. 3.12.

Самая южная линия на карте, перпендикулярная осевому меридиану, имеет подпись числа километров до этой линии от экватора по осевому меридиану – 5 768. Другие, параллельные ей, проведённые через 1 км, подписаны числом десятков и единиц километров, т. е. 69, 70, 71 и т. д. Первые две цифры

значения абсцисс не повторяются, а пишутся только последние две цифры. Полностью абсциссы подписываются только в верхнем и нижнем углах трапеции.

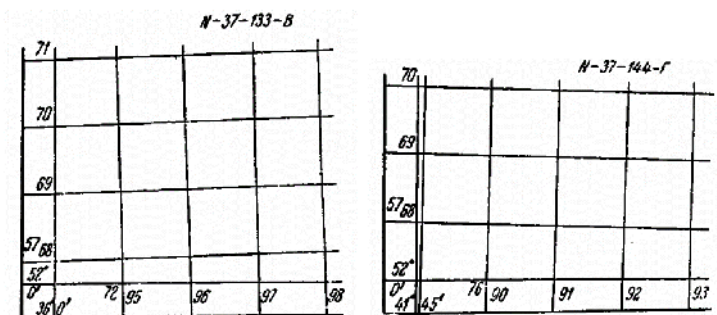


Рис. 3.12. Подписи координатных осей у юго-западного угла листа карты масштаба 1:50000

Кроме того, полностью подписываются ординаты только крайних линий, как, например, 7295 на листе К-37-133-В и 7690 на листе К-37-144-Г. Остальные ординаты сохраняют только две последние цифры, соответственно 96, 97, 98 и далее либо 91, 92 и т. д. Первая в ординате цифра 7 означает номер зоны.

3.7. СК-42 и другие вопросы геопривязки

Когда мы имеем дело с электронными картами или используем в своей работе данные дистанционного зондирования, практически всегда возникает необходимость их географической привязки. Хотя сам по себе этот процесс не сложен, в нём есть подводные камни, о которых нужно знать. Пока рабочие материалы остаются в пределах одной системы координат или проекции, например СК-42. Но при переходе к данным другого масштаба, смене проекции, объединении в одном проекте данных из разных источников, переходе от местных координат к глобальным эти проблемы дают о себе знать: изображения объектов в одних слоях оказываются

смещены относительно тех же объектов в других слоях. Виною тому могут быть и объективные обстоятельства, и ошибки пользователя.

Большинство пользователей ГИС, не имеющих геодезического образования, полагают, что широта и долгота любой точки на поверхности Земли есть величина абсолютная, ни от чего не зависящая. Однако это не так. Если задать для входных данных и результата одну и ту же проекцию Geographic (Lat/Lon), но разные эллипсоиды (например, Красовского и WGS-84), то вы увидите, что значения широты и долготы одной и той же точки на двух эллипсоидах будут разными. Следовательно, для того чтобы свести все данные к одной системе координат или проекции, необходимо совершенно точно знать все параметры входной и выходной проекции. При этом следует помнить, что процесс проецирования и перепроецирования исходных данных представляет собой довольно громоздкий пересчет, в результате которого могут накопиться ошибки. Эти ошибки обусловлены ошибками округления компьютера и недостатками вычислительных алгоритмов.

Часто возникает проблема, когда изучаемая область пересекает две или более зоны, т. е. географические границы часто не соответствуют структуре зон. Если ваша изучаемая область занимает более одной зоны, вы имеете несколько возможностей для выбора. Например:

1) определите, какую зону занимает большая часть изучаемой области (например, 9-ю зону). Затем в систему координат 9-й зоны включите область, оставшуюся вне данной зоны. Такой подход может дать неожиданный эффект, потому что вы используете стандартные параллели 9-й зоны, чтобы проектировать другую зону. Как результат, объекты другой зоны могут исказиться (другими словами, сместиться) на несколько сотен метров;

2) откажитесь от СК-42, выберите другую проекцию. Возможно, ваша новая проекция и координатная система избежит таких проблем;

3) создайте вашу собственную проекцию. Она может устраивать вас на данный момент, но дальше могут возник-

нуть проблемы, потому что никто не будет знать, какой проекцией вы пользовались. Проблемы могут возникнуть из-за того, что вы по незнанию можете дать или получить данные в различных системах координат;

4) храните всё в десятичных градусах и проектируйте, когда возникает потребность.

Перевод карты или изображения из одной проекции в другую обычно выполняется в два или три шага. На первом шаге координаты исходной проекции пересчитываются в географические – широту и долготу, т. е. решается обратная задача проецирования. Если исходная и целевая проекции используют один и тот же референц-эллипсоид, то вторым шагом будет пересчёт полученных географических координат в координаты целевой проекции, т. е. обычное прямое проецирование: из одной проекции – на эллипсоид, далее – в другую проекцию. Программное обеспечение фирм ESRI и ERDAS при отображении и анализе данных может выполнять прямое проецирование «на лету». Поэтому очевидно, что хранить данные чаще всего имеет смысл не в плоских координатах проекции (километровых), а в угловых географических. Тогда при смене проекции не будет выполняться первый шаг – обратное проецирование, который неизбежно снижает точность данных из-за ограниченной точности представления чисел в компьютере и ошибок округления при вычислениях (часто главным фактором является представление обратной проекции с помощью полиномов из-за невозможности получения точной формулы). Вместе с тем проецирование «на лету» требует выполнения соответствующих вычислений, что, конечно же, снижает скорость отображения. И если совершенно точно известно, что проекция меняться не будет, то данные имеет смысл хранить проецированными. Если же есть возможность хранить и проецированные, и не проецированные данные, то лучше ею воспользоваться. Если исходная и целевая проекции используют разные референц-эллипсоиды или геодезические даты, то на втором шаге будет выполнен пересчёт горизонтальных географических координат с одного эллипсоида на другой, а пересчёт в целевую проекцию будет третьим шагом.

От эллипсоидальных координат легко можно перейти к трёхмерной прямоугольной системе координат с началом отсчёта в центре эллипсоида (геоцентрическая система координат). Тогда переход от одного эллипсоида к другому будет определяться связью геоцентрических систем координат этих двух эллипсоидов (рис. 3.13). В общем случае такая связь может быть выражена семью параметрами связи – сдвигами начала координат вдоль каждой оси (три линейных параметра), поворотами вокруг каждой оси (три угловых параметра) и одним масштабным коэффициентом. В целом, это преобразование осуществляется по формулам Хелмерта (Гельмерта). Поскольку повороты и масштабирование нужны не всегда, иногда используется более простое преобразование по трём параметрам. В некоторых случаях для преобразования эллипсоидов используются более сложные уравнения многомерной регрессии.

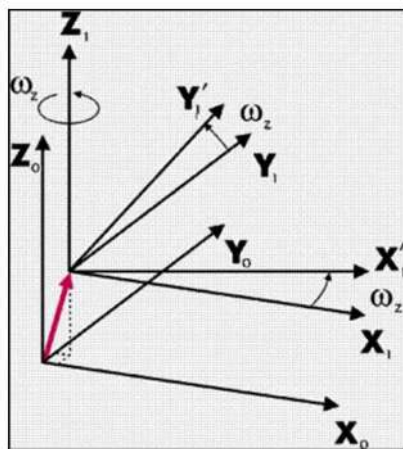


Рис. 3.13. Переход из одной системы в другую¹

При использовании различных эллипсоидов следует иметь в виду, что в настоящий момент точные и однозначные параметры связи имеются не для всех комбинаций эллипсои-

¹ Его можно представить как совокупность смещения начала координат на вектор (dx, dy, dz) , вращений вокруг каждой оси (wx, wy, wz) и масштабирования (для простоты рисунка показано только вращение вокруг оси Z).

дов. Так, например, параметры связи СК-42 и ПЗ-90 известны точно. В то же время известно несколько вариантов параметров связи ПЗ-90 и WGS-84. Смещение объектов на поверхности Земли при использовании разных вариантов может достигать сотен метров, что для крупного масштаба недопустимо. До опубликования официальных значений параметров связи решением этой проблемы может быть использование только одного, известного варианта. Приобретая данные из разных источников, необходимо получать вместе с ними и параметры связи, использованные для перехода из СК-42 на WGS-84, если такое преобразование имело место. И именно эти параметры связи должны закладываться в программное обеспечение для получения корректных результатов.

В заключение следует упомянуть о Постановлении Правительства РФ от 28 июля 2000 г. № 568 «Об установлении единых государственных систем координат». Согласно ему все новые топогеодезические и картографические материалы и работы должны выполняться в Системе координат 1995 г. (СК-95) на эллипсоиде ПЗ-90. Это постановление вызвало ощутимую негативную реакцию со стороны географической общественности. Здесь же отметим, что для современных ГИС использование любой системы координат не представляет проблемы, если известны параметры её связи с другими распространёнными системами координат. Если же эти параметры не будут точно известны, то это только прибавит головной боли всем пользователям ГИС.

Контрольные вопросы

1. Какую форму имеет Земля?
2. Что такое DATUM?
3. Какие виды картографических проекций существуют? Почему они так называются?
4. Какой вид картографической проекции лучше всего подойдёт для отображения полярных и экваториальных областей? Почему?
5. Сколько зон в проекции СК-42? Почему?

ГЛАВА 4

Цифровая модель рельефа: описание, типы, виды, построение

При практическом использовании современных ГИС необходимо знать и уметь работать с рельефом поверхности, что актуально для географов, экологов, МЧС и т. д. В работе географов и геофизиков рельеф имеет одно из важнейших значений, а умение работать с ним с использованием ГИС – необходимое практическое умение. Для описания рельефа местности в ГИС используются различные цифровые модели рельефа.

Цифровая модель рельефа (далее – ЦМР) – это специализированная база данных, демонстрирующая форму поверхности между точками заданного уровня, составленную путём интерполяции данных высот, полученных из источников наземной съёмки и фотограмметрического сбора на основе прямоугольной сетки моделирования. Программное обеспечение ГИС использует цифровые технологии для трёхмерной визуализации, создания контуров и выполнения анализа поверхности.

4.1. История развития и современность

Термин ЦМР был введён в 70-х гг. XX в. с целью отличить простейшую форму моделирования рельефа местности от более сложных типов электронного представления поверхности. Первоначально он использовался исключительно для растровых представлений: значения высот, заданные в узлах пересечения регулярной сетки. На построение цифровой модели рельефа ранее уходило до нескольких месяцев.

Сегодня современные беспилотники способны собирать необходимые данные, анализировать их до мельчайших деталей и строить визуальный макет в более реалистичные и эффективные сроки. Даже самые недоступные обширные территории Земли теперь можно просматривать и преобразовывать в модель с помощью беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА), оснащённых самым современным оборудованием.

Различные типы радаров, видеокамер и других инструментов могут быть установлены на дронах в целях сбора требуемой информации для конкретной цифровой модели рельефа. Эта передовая технология в сочетании с самым быстрым программным обеспечением обеспечивает наилучшие результаты в кратчайшие сроки.

Глобальная компания по ИТ-решениям NTT DATA и RESTEC (Японский технологический центр дистанционного зондирования) 26 апреля 2016 г. объявили о том, что их сервис глобальных цифровых карт 3D, называемый AW3D, является первым 5-метровым сервисом трёхмерной модели рельефа с охватом всего земного шара, включая Антарктиду. Сервис работает на основе трёх миллионов изображений, полученных с помощью спутников DAICHI и модернизированных спутников наблюдения Земли (ALOS) из Японского аэрокосмического Exploration агентства (JAXA).

В феврале 2014 г. NTT DATA и RESTEC запустили сервис 3D цифровых карт с ограниченным покрытием. Эта услуга представляет собой значительное улучшение по сравнению с существующими службами, которые предлагают разрешения только 30 и 90 м. Данные NTT DATA, AW3D уже используются более чем в 60 странах.

4.2. Термины, определения и сокращения

Цифровая модель рельефа – это трёхмерное изображение поверхности местности, созданное на основе данных о высоте и представленное в виде раstra – масштабных квадратов или треугольной нерегулярной сетки.

ЦМР USGS – растровые сетки гео значений, которые выстроены в серии профилей «юг – север». Как и другие параметры USGS, матрицы изначально создавались в виде листов, соответствующих топографическим четырёхугольникам:

- крупномасштабные – 7,5 /15 мин;
- промежуточные – 30 мин;
- мелкомасштабные – 1°.

Плитки для построения цифровой модели рельефа доступны для бесплатной загрузки во многих государственных и региональных центрах обмена информацией.

DEM – цифровая карта рельефа, т. е. представление поверхности Земли.

DTM – набор методов, используемых для получения или представления матрицы высот.

Фильтрация матрицы высот – набор методов, применяемых для улучшения геоморфологического сходства матриц.

Анализ или параметризация местности – процесс количественной оценки детализации местности.

Анализ цифровых моделей рельефа (DTA) используется в качестве общего термина для определения параметров применения.

Terrain – карты или изображения, полученные из базы данных с применением DTA.

4.3. Источники данных DEM

Топография или рельеф – форма или конфигурация местности, представленная на карте контурными линиями, гипсометрическими оттенками и затенением. В настоящее время существует пять основных источников получения данных для создания цифровой модели рельефа:

- 1) наземные исследования;
- 2) бортовой фотограмметрический сбор информации;
- 3) существующие картографические съёмки, например топографические карты;
- 4) воздушное лазерное сканирование;
- 5) стереоскопические или радиолокационные спутниковые снимки.

Приведённые методы сбора матрицы сравнивают, рассматривая четыре аспекта:

- цена;
- точность;
- плотность отбора проб;

– требования к предварительной обработке.

Традиционно подобная информация собиралась геодезистами из наземных съёмок с последующей полуавтоматической оцифровкой стереоплоттерами. Это самый точный, но и самый дорогой метод сбора данных. Последние разработки касаются автоматического сопоставления стереоизображений, использования изображений с лазерным сканированием, дистанционного зондирования либо со стереоскопическим перекрытием (SPOT, ASTER), либо с помощью интерферометрических фото.

Вторым высокоэффективным современным методом является бортовая и космическая интерферометрическая радиолокационная система, которую применяют для точного получения данных как о земном покрове, так и о местности.

4.4. Виды цифровых моделей рельефа

Сравнение нескольких поверхностей возвышения можно использовать для сопоставления трёх высот или оценки объёма объектов. Лазерное сканирование применяется для строительства зданий, линий электропередач, открытых карьеров, текстур местности и даже геометрии волн на море.

Существуют разные способы моделирования высоты: цифровые модели рельефа (ЦМР), цифровые модели поверхности (ЦМП), цифровые модели местности (ЦММ) и треугольные нерегулярные сети (ТНС).

Цифровая модель поверхности фиксирует естественные и встроенные функции на поверхности Земли и полезна в 3D-моделировании для телекоммуникаций, городского планирования и авиации, поскольку объекты исследования демонстрируются с высотой над уровнем Земли.

Цифровая модель рельефа – это чистая растровая сетка, привязанная к вертикальной системе координат. Когда разработчик отфильтровывает точки, такие как мосты и дороги, он получает плавную цифровую модель рельефа местности. Построенные линии электропередач, зданий и виды раститель-

ности не включены в ЦМР. Модель контура чистой земли особенно полезна в планировании гидрологии, почв и землепользования.

Цифровая модель местности имеет два определения в зависимости от страны применения. В некоторых странах она фактически является синонимом ЦМР и означает поверхность возвышения, представляющую чистую землю, привязанную к общему вертикальному элементу.

В США имеется другое определение ЦМР, согласно которому она представляет собой векторный набор данных, состоящий из регулярно расположенных точек и природных элементов, таких как гребни и линии разрыва. Она дополняет матрицу высот, включая линейные характеристики поверхности земли.

В России для ЦММ применяется ГОСТ Р 52440-2005, согласно которому она предназначена для создания картографической базы пространственной привязки геоданных, получаемых в ходе выполнения инженерно-изыскательных исследований, земельно-кадастровых работ, межевания, статистических изучений, других специальных работ и обследований.

Эта модель обычно создаётся с помощью стереофотограмметрии. Точки расположены на регулярной основе и характеризуют форму голой местности. Из этих регулярных и контурных линий можно интерполировать ЦММ в ЦМР. Она представляет отличительные особенности земной поверхности намного лучше из-за трёхмерных линий разрыва и регулярно расположенных трёхмерных точек массы.

4.5. Триангулированная нерегулярная сеть

Для моделирования непрерывной площади на основе измеренных данных точки местности, лежащие между измерениями, должны быть связаны вычислительными методами. Для этого отдельные точки сначала соединяются в треугольную поверхность, что доступно в векторном формате (TIN: триангулированная нерегулярная сеть) путём интерполяции.

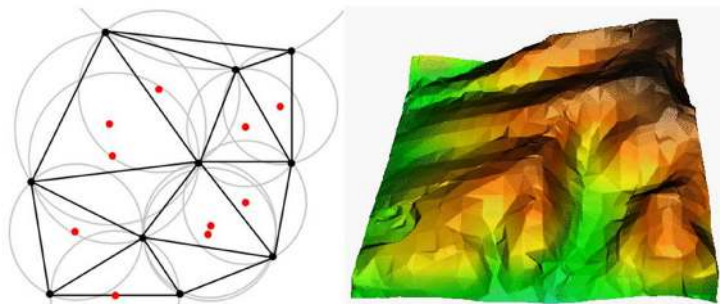


Рис. 4.1. Триангуляционная сеть и построенная с её помощью поверхность рельефа

При необходимости векторные данные преобразуются в растровый формат, например сетку с фиксированным размером ячейки. Для этого используются различные математические методы. Важно протестировать моделирование, чтобы решить, какой из наиболее реалистичных выбрать для изучаемой местности. Хотя некоторые программы ГИС, например Arc GIS, могут обрабатывать TIN, другие работают только с растровыми геомоделями. В зависимости от расположения базовых точек измерения изображаются разные макеты (рис. 4.1).

4.6. Инструменты получения данных высот

После выбора метода для реальной поверхности местности выбирают инструмент получения измерений. В настоящее время широко используются:

- 1) беспилотный летательный аппарат;
- 2) LiDAR – измеряет отражённый свет, который отражается от земли и возвращается к датчику, чтобы получить высоту земной поверхности;
- 3) стереофотограмметрия от аэрофотосъёмки;
- 4) мультимультимедийное представление стерео для аэрофотосъёмки;

- 5) настройка блока из оптических спутниковых изображений;
- 6) интерферометрия по радиолокационным данным;
- 7) кинематический GPS в реальном времени;
- 8) топографические карты;
- 9) теодолит или тахеометр;
- 10) доплеровский радар.

Рассмотрим некоторые методы дистанционного зондирования для получения матрицы высот.

1. Спутниковая интерферометрия – радар с синтезированной апертурой, такой как «Топографическая миссия Shuttle Radar», который используется два радиолокационного изображения с антенн, снятых одновременно, в целях создания цифровой модели рельефа.

2. Фотограмметрия – в аэрофотосъемке в фотограмметрии применяют фотографии, как минимум, с двух разных точек обзора. Подобно тому, как работает человеческое зрение, оно способно получить глубину и перспективу благодаря отдельным точкам обозрения.

4.7. Область применения метода

Точная информация о поверхности Земли имеет фундаментальное значение во многих науках (рис. 4.2). Топография контролирует диапазон процессов земной коры (испарение, поток воды, движение массы, лесные пожары), которые важны для обмена энергией между физической климатической системой в атмосфере и биогеохимическими циклами.

Экология исследует зависимости между формами жизни и окружающей средой, такой как почва, вода, климат и ландшафт. Гидрология опирается на знания о контуре земли для моделирования движения воды, ледников и льда. Геоморфология описывает рельеф, распознавая процессы формообразования. Климатология исследует потоки температуры, влаги и частиц воздуха.

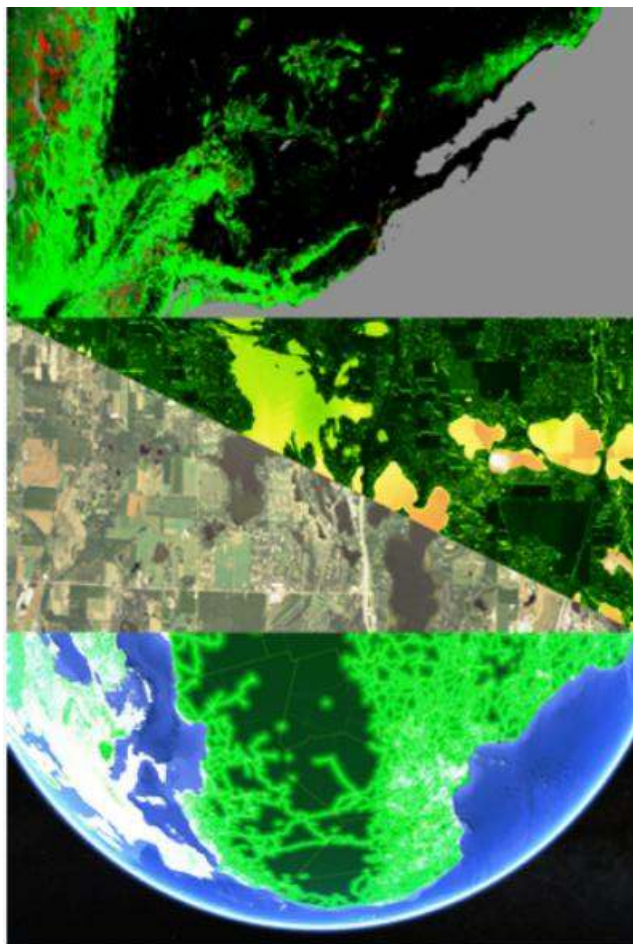


Рис. 4.2. Поверхность Земли и её различные отображения

Ещё одна область применения ЦМР – глобальная классификация земельного покрова. Точное картирование и классификация земной поверхности в глобальном масштабе являются наиболее важными предпосылками для крупномасштабного моделирования геологических процессов. В ходе многочисленных исследований продемонстрировано, что радиолокационные изображения пригодны для документирования и классификации естественной растительности и сельскохозяйственных районов.

При дистанционном зондировании матрицы высот используются для коррекции изображений или получения тематической информации относительно геометрии датчика и локального рельефа.

Таким образом, для синергетического применения различных сенсорных систем ГИС использование цифровых моделей рельефа является необходимым условием для кодирования спутниковых изображений и коррекции эффектов местности.

4.8. WorldDEM

Продукт WorldDEM от компании Airbus Defence and Space – уникальная высокоточная глобальная ЦМР. WorldDEM превосходит все существующие на сегодняшний день ЦМР, полученные по данным дистанционного зондирования Земли:

- 1) относительная точность по высоте – 2 м, абсолютная – 4 м;
- 2) размер ячейки сетки составляет 12×12 м;
- 3) доступность на всю земную поверхность – 150 млн км²;
- 4) достоверная информация о рельефе в любой точке земного шара;
- 5) глобальная однородность данных, полученных в течение трёх лет.

WorldDEM создаётся по данным съёмки с космических аппаратов TanDEM-X и TerraSAR-X – совместный проект государственночастного партнёрства между Германским аэрокосмическим центром (DLR) и компанией Airbus Defence and Space, которая обладает исключительными коммерческими

правами и отвечает за адаптацию ЦМР к потребностям пользователей по всему миру.

WorldDEM доступен в трёх вариантах:

1) WorldDEMscore – необработанная ЦММ, на которой могут быть видны дефекты, присущие радарной съёмке, и пропуски информации;

2) WorldDEM™ – обработанная ЦММ с добавлением гидрографии: речные долины, реки, береговая линия;

3) WorldDEM DTM – ЦМР с исключением объектов растительного покрова и антропогенных объектов.

В качестве примера на рис. 4.3 приведена ЦМР WorldDEM австралийского города Парачилна.

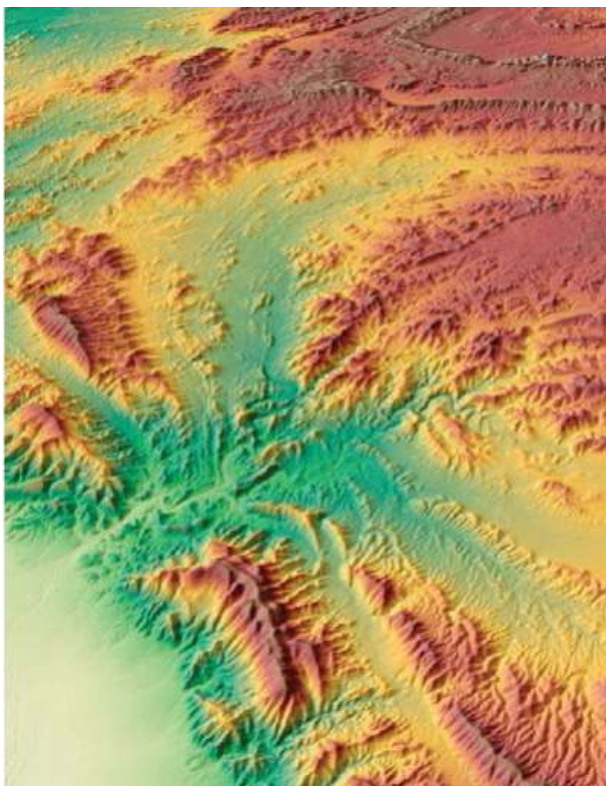


Рис. 4.3. ЦМР WorldDEM, г. Парачилна (Австралия)

Параметры ЦМР WorldDEM приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Параметры ЦМР WorldDEM

Базовые данные	Интерферометрические пары радарных снимков спутников TerraSAR-X и TanDEM-X
Год создания	2014–2015, продолжает дополняться
Разработчик	Airbus Defence and Space
Распространение	На коммерческой основе
Описание	http://www.geo-airbusds.com/worldddem
Покрытие	Вся земная поверхность
Размер ячейки сетки	0,4" × 0,4" (12 × 12 м)
Абсолютная точность по высоте	LE90 – 4 м
Относительная точность по высоте	LE90 – 2 м

4.9. NextMap World 10 и World 30

Цифровые модели рельефа NextMap World 10 и NextMap World 30 от компании Intermap – коммерческие продукты, охватывающие всю поверхность Земли площадью 150 млн км². NextMap World 10 и NextMap World 30 созданы путём интеграции данных космической съёмки и ЦМР (SRTM, ASTER GDEM2, GTOPO30), а также данных лазерного сканирования со спутника ICESat. Сочетание оптических и радарных данных дистанционного зондирования Земли с данными лазерного сканирования, а также использование уже созданных ЦМР позволили получить глобальные модели рельефа. NextMap World 10 и NextMap World 30 (рис. 4.4, 4.5) могут эффективно применяться во многих отраслях: телекоммуникации, энергетике, прогнозировании рисков, обороне, управлении водными ресурсами, сельском хозяйстве. Следует отметить, что ЦМР от компании Intermap – хороший пример сочетания качества и цены.

Параметры ЦМР NextMap приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Параметры ЦМР NextMap

Базовые данные	World 10	World 30
Год создания	2015	2012
Разработчик	Intermap (США)	Intermap (США)
Распространение	На коммерческой основе	На коммерческой основе
Описание	http://www.intermap.com/data/nextmap-world-30	http://www.intermap.com/data/nextmap-world-30
Покрытие	Вся земная поверхность	Вся земная поверхность
Размер ячейки сетки	0,4"× 0,4" (10 × 10 м)	1" × 1" (30 × 30 м)
Абсолютная точность по высоте	LE90 – от 10 м (точность зависит от источника данных и от территории)	LE90 – от 10 м (точность зависит от источника данных и от территории)

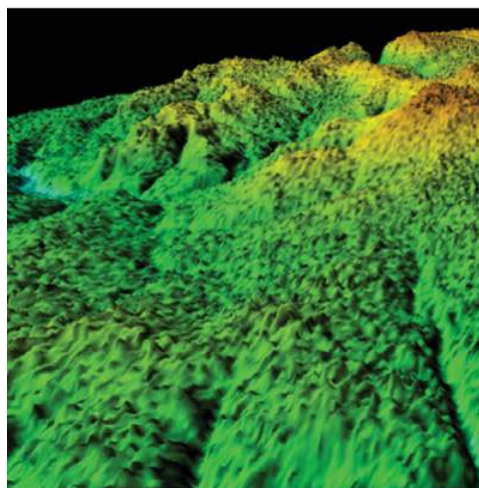


Рис. 4.4. ЦМР NextMap World 10

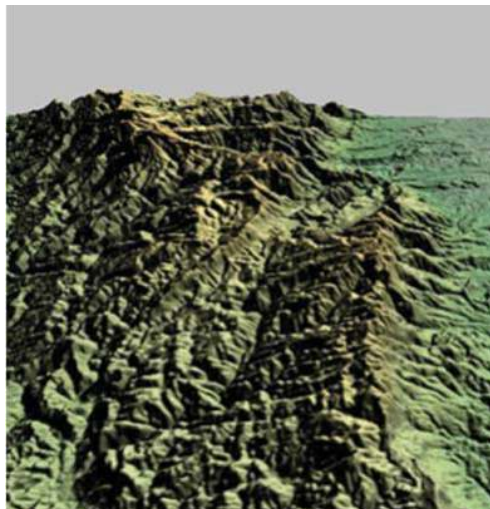


Рис. 4.5. ЦМР NextMap World 30

4.10. ALOS AW3D

ALOS AW3D (ALOS World 3D Topographic data) – новый продукт от компаний NTT DATA и RESTEC (Япония), полученный в результате применения алгоритмов потоковой обработки данных с нового радарного спутника ALOS-2 и архивных оптических снимков со спутника ALOS, выведенного из эксплуатации (рис. 4.6).

Предлагаются следующие уровни обработки ЦМР ALOS AW3D:

Level 1 DSM (Raw) – цифровая модель местности по необработанным данным, остаются дефекты съёмки;

Level 2 DSM (Standard) – данные, используемые для построения модели, проходят проверку: добавляются непокрытые участки, устраняются ошибки;

Level 3 DTM – ЦМР с вычетом высот зданий и древесной растительности.

Дополнительными продуктами являются:

- панхроматические ортофото-ортокорректированные изображения с сенсора PRISM. Область ограничена размером сцены или участком построения DSM/DTM;

- цветная ортофото-ортокорректированная мозаика с разрешением 2,5 м на участок продукта DSM или DTM.

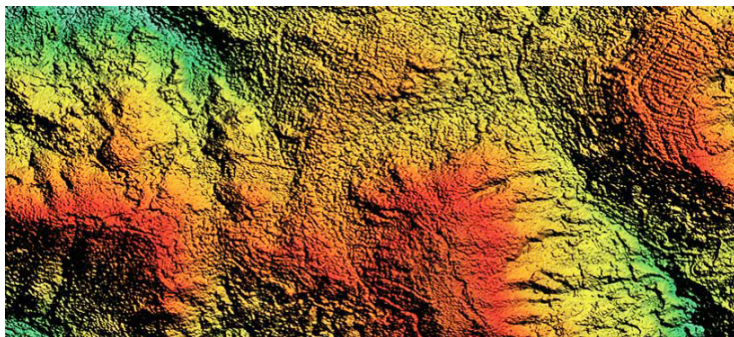


Рис. 4.6. ЦМР ALOS AW3D, г. Нагасаки (Япония)

Параметры ЦМР ALOS приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Параметры ЦМР ALOS

Базовые данные	Радарные снимки со спутника ALOS-2 и архивные оптические данных со спутника ALOS
Год создания	2015–2016
Разработчик	NTT DATA, RESTEC (Япония)
Распространение	На коммерческой основе
Описание	http://www.alos-world3d.jp/en/
Покрытие	Вся земная поверхность
Размер ячейки сетки	0,2" × 0,2" (5 × 5 м). По заказу – 0,1" (2,5 × 2,5 м)
Абсолютная точность по высоте	LE90 – от 5 м

4.11. SRTM

С борта космического корабля многоразового пользования Shuttle в 2000 г. была проведена радарная интерферометрическая съёмка поверхности Земли. Съёмка велась сенсорами SIR-C и X-SAR и охватывала почти всю территории Земли между 60° с. ш. и 56° ю. ш. По результатам съёмки SIR-C (SRTM C-band) была создана ЦМР почти 80 % поверхности Земли (рис. 4.7). Данные SRTM существуют в нескольких версиях. Более точные данные SRTM1 с размером ячейки 30×30 м доступны на территорию США. На остальную поверхность Земли доступны только данные SRTM3 с размером ячейки 90×90 м. Все данные находятся в открытом доступе и доступны для скачивания.

По данным съёмки сенсора X-SAR в 2011 г. Германское аэрокосмическое агентство (DLR) создало ЦМР SRTM X-band с размером ячейки 30×30 м. Данная ЦМР содержит значительные пробелы между полосами съёмки: чем южнее, тем больше пропусков (рис. 4.8).



Рис. 4.7. ЦМР SRTM C-band, государство Оман



Рис. 4.8. ЦМР SRTM X-band, о. Хоккайдо (Япония)

Параметры ЦМР SRTM приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Параметры ЦМР SRTM

Базовые данные	<i>C-band</i>	<i>X-band</i>
	Интерферометрические пары радарных снимков, полученные в 2000 г. съёмкой с борта космического корабля многоразового пользования Shuttle	Интерферометрические пары радарных снимков, полученные в 2000 г. съёмкой с борта космического корабля многоразового пользования Shuttle
Год создания	2003	2011
Разработчик	NASA, NGA (США)	DLR (Германия)
Распространение	В свободном доступе	В свободном доступе
Описание	http://www.2.jpl.nasa.gov/srtm/dataproduct.htm	http://www.dlr.de/eoc/en/desktopdefault.aspx/tabid-5515/9214_read-17716/

Окончание табл. 4.4

Покрытие	<i>C-band</i>	<i>X-band</i>
	60° с. ш. – 56° ю. ш. (80 % поверхности земного шара)	60° с. ш. – 56° ю. ш. (80 % поверхности земного шара)
Размер ячейки сетки	1" × 1" (30 × 30 м на территорию США); 3" × 3" (90 × 90 м на остальной мир)	1" × 1" (30 × 30 м)
Абсолютная точность по высоте	LE90 – ≤16 м	LE90 – ≤16 м
Относительная точность по высоте	LE90 – ≤10 м	LE90 – ≤6 м

4.12. ASTER GDEM

Продукт ASTER GDEM (Global Digital Elevation Model) разработан совместно METI (Ministry of Economy, Trade, and Industry of Japan) и NASA на основе данных сенсора ASTER спутника Terra. Сенсор имеет возможность стереоскопической съёмки вдоль полосы пролёта с помощью двух телескопов, снимающих в надир и назад в ближнем инфракрасном диапазоне с разрешением 15 м.

Для создания ЦМР ASTER GDEM использовалась автоматическая обработка всего архива данных ASTER, насчитывающего 1,5 млн сцен. Улучшенная версия ЦМР создана в 2011 г. – ASTER GDEM Version 2: добавлены новые сцены, исправлены ошибки (рис. 4.9). Для замены некорректных данных использованы другие ЦМР: SRTM, NED (National Elevation Dataset; USGS), CDED (Canada digital elevation data), Alyaska DEM.

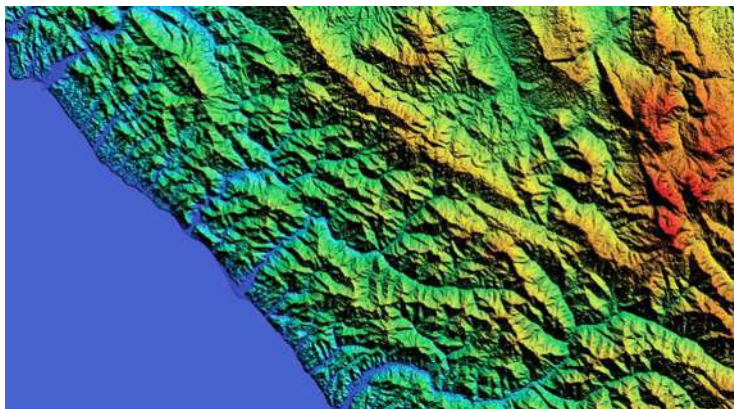


Рис. 4.9. ЦММ ASTER GDEM, Кавказ

Параметры ЦМР ASTER GDEM приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Параметры ЦМР ASTER GDEM

Базовые данные	Стереопары оптических снимков сенсора ASTER спутника Terra
Год создания	2011
Разработчик	МЕТІ (Япония), NASA (США)
Распространение	В свободном доступе (имеются ограничения на использование) http://www.gdem.ersdac.jp/spaceSystems.or.jp . Имеются ограничения на использование
Описание	http://www.asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp
Покрытие	83° с. ш. – 83° ю. ш. (99 % поверхности земного шара)
Размер ячейки сетки	1" × 1" (30 × 30 м)
Абсолютная точность по высоте	LE90 – 12–30 м

4.13. ЕТОРО1

ЕТОРО1 – глобальная цифровая модель рельефа, включающая как наземный, так и подводный рельеф, с разрешением в 1 угловую минуту на пиксел. Данные распространяются в двух вариантах:

1) снежный покров (*Ice Surface*) – отображает поверхность ледникового покрова Антарктики и Гренландии;

2) материковый рельеф (*Bedrock*) – отображает рельеф материковой породы под толщей льда.

Обе версии сформированы на основе различных наборов данных, приведённых к единому датуму, как горизонтальному, так и вертикальному.

ЕТОРО1 обеспечивает покрытие данными топографических и батиметрических измерений поверхности Земного шара от -90° до 90° по широте и от -180° до 180° по долготе.

Разработка ЕТОРО1 осуществлялась в направлении повышения разрешения и точности данных ЕТОРО2v2 с целью получения модели циркуляции Мирового океана и визуализации поверхности Земного шара (рис. 4.10).

При разработке NGDC (National Geographic Data Center) были получены и приведены к единым горизонтальной и вертикальной системам координат наборы данных как на поверхность всего мира, так и на отдельные области.

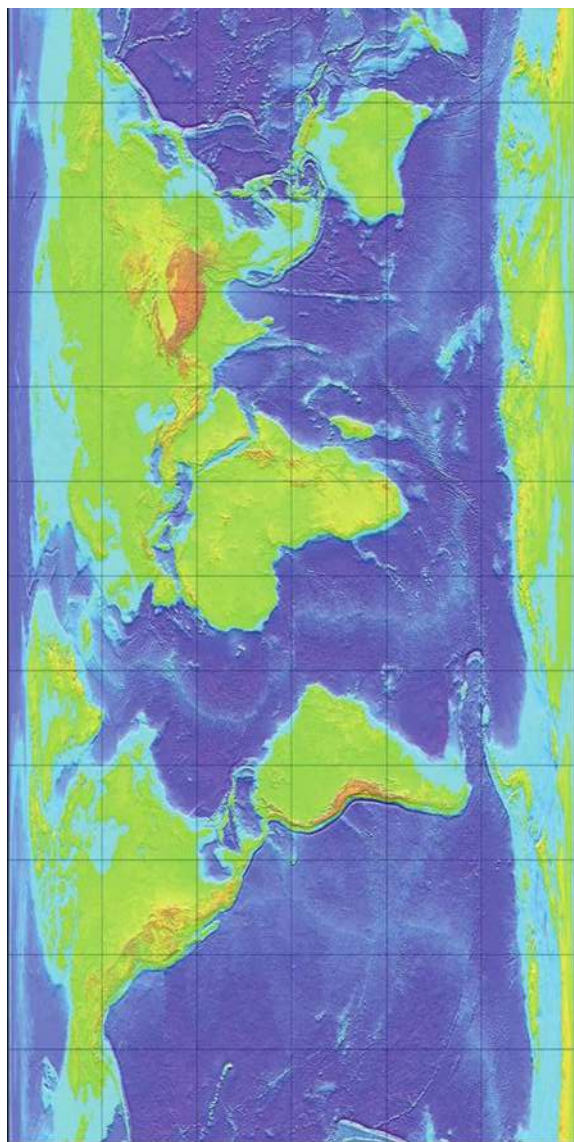


Рис. 4.10. ЦММ ETOPO1, версия Bedrock

Параметры ЦМР ЕТОР01 приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Параметры ЦМР ЕТОР01

<i>Общая характеристика данных ЕТОР01</i>	
Существующие версии	Ice Surface, Bedrock
Территориальный охват	На весь мир: от -90° до 90° по широте и от -180° до 180° по долготе
Система координат	Географическая: широта, долгота
Горизонтальный датум	World Geodetic System of 1984 (WGS 84)
Вертикальный датум	Уровень моря
Единицы вертикальных измерений	Метр
Размер матрицы	$21601(21600) \times 10801(10800)$
Размер пиксела	1 угл. мин: $1/60^\circ$
Доступные форматы	netCDF, g98, binary float, tiff, xyz

4.14. ArcticDEM

ArcticDEM – это государственно-частная инициатива NGA-NSF по автоматическому созданию высококачественной ЦМР Арктики с высоким разрешением с использованием оптических стереоизображений, высокопроизводительных вычислений и программного обеспечения для фотограмметрии с открытым исходным кодом.

Проект ArcticDEM является ответом на потребность в высококачественных данных о высотах в удалённых местах, доступности технологий для обработки больших данных и необходимости точного измерения топографических изменений.

Производители задумывались не о том, чтобы конечный продукт был единым или отредактированным, а скорее о том, чтобы он представлял собой набор зависимых от времени моделей высот и инфраструктуры для обработки потока изображений от постоянно расширяющейся группировки спутников, непрерывно производящих увеличение объёма качественных данных.

Данные ArcticDEM построены на основе изображений с высоким разрешением ($\sim 0,5$ м) в пределах трассы и между трассами, полученных группировкой спутников оптических изображений Махаг и лицензированных в рамках контракта NGA NextView.

Большая часть данных ArcticDEM была получена из панхроматических диапазонов спутников WorldView-1, WorldView-2 и WorldView-3 (рис. 4.11). Небольшой процент данных был получен со спутникового датчика GeoEye-1.

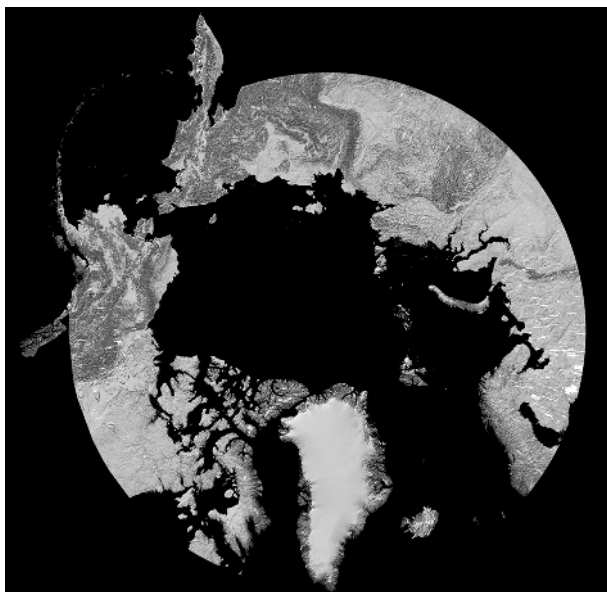


Рис. 4.11. Рендеринг отмывки рельефа ArcticDEM Release 7¹

По завершении ArcticDEM будет охватывать всю территорию суши к северу от 60° северной широты. Кроме того, в зону покрытия входит вся территория Гренландии, полностью штат Аляска и полуостров Камчатка Российской Федерации.

Проект начался с публикации данных по Аляске в сентябре 2016 г. и продолжался в других регионах на постоянной

¹ Привод. по: Polar Geospatial Center. – URL: <http://www.pgc.umn.edu> (дата обращения: 12.03.2021). – Текст: электронный.

основе в течение двух лет. Целью инициативы ArcticDEM было создание комплексной модели рельефа Арктики в течение двухлетнего срока председательства США в Арктическом совете, который начался в апреле 2015 г.

Данные ArcticDEM генерируются путём применения методов стереофонической автокорреляции к перекрывающимся парам оптических спутниковых изображений высокого разрешения.

Используя программное обеспечение для извлечения поверхности из программы минимизации пространства поиска (SETSM) на основе TIN, разработанное М. Дж. Но и Яном Ховатом из Университета штата Огайо, изображения стереопары обрабатываются в цифровые модели рельефа с использованием вычислительных ресурсов, предоставляемых суперкомпьютером Blue Waters, расположенным в Национальном центре для приложений суперкомпьютеров в Университете Иллинойса в Урбана-Шампейн.

Выходные растровые файлы DEM доступны в виде обоих «полосовых» файлов, поскольку они выводятся непосредственно из SETSM и сохраняют временное разрешение исходного материала, а также файлы мозаики, которые скомпилированы из нескольких полос, которые были совместно зарегистрированы, смешаны и растушёваны, чтобы уменьшить артефакты совпадения краёв.

Зависящий от времени характер файлов ленточной матрицы высот позволяет пользователям выполнять анализ обнаруженных изменений и сравнивать наблюдения данных топографии, полученных в разные сезоны или годы. Мозаичные ЦМР собираются из многополосных ЦМР с целью получения более единообразного и комплексного продукта на больших площадях.

ArcticDEM Release 7 включает 185 800 новых полос DEM с разрешением 2 м и переиздание предыдущих 75 000 полос с улучшенными алгоритмами фильтрации данных. Эти данные охватывают всю область ArcticDEM. Усовершенствования предобработки включают улучшенную фильтрацию для сохранения береговой линии и лучшего разрешения густо заса-

женных деревьями областей, подверженных сезонным колебаниям.

Весь домен ArcticDEM был повторно зарегистрирован мозаикой с дополнительными DEM, чтобы заполнить пробелы из предыдущих выпусков. Общая мозаика включает 2 488 фрагментов с разрешением 2 м. Версии мозаики с уменьшенным разрешением на 10, 32, 100, 500 м и 1 км также доступны для картографических целей.

Контрольные вопросы

1. Что такое цифровая модель рельефа (ЦМР)?
2. Что может являться источником данных для создания ЦМР?
3. Какие инструменты используются для получения данных высот на местности?
4. Какие ограничения есть у ЦМР SRTM? Почему её нельзя использовать повсеместно?
5. Какую территорию покрывает ЦМР ArcticDEM?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время ГИС представляют собой современный тип интегрированной информационной системы, применяемой в разных направлениях. Она отвечает требованиям глобальной информатизации общества и является системой, способствующей решению управленческих и экономических задач на основе средств и методов информатизации, т. е. процессу информатизации общества в интересах прогресса.

В учебно-методическом пособии освещена основная информация, которая необходима для практического использования ГИС, понимания принципов её работы и технологий, используемых при работе с подобными программами.

Все современные навигационные устройства основаны на системах глобального позиционирования, которые, конечно, не являются идеальными, но позволяют упростить определение местоположения себя и других объектов на местности. Понимание принципов работы систем позиционирования необходимо для определения точности измеренных координат, особенно если это касается работы полевых геофизиков.

Умение определить координаты мало полезно, если не знать, как эти координаты переносить на карты в ГИС, как их преобразовывать из одной системы в другую и как в принципе земная поверхность отображается на экранах мониторов в ГИС.

Ещё совсем недавно работали только с плоскими картами, пусть даже на них и был изолиниями нанесён рельеф. Современные технологии позволяют с помощью спутников дистанционного зондирования Земли получить информацию о рельефе поверхности из сети Интернет, причём это не только фотоснимки поверхности, но и рельеф любой местности с высокой точностью. Знания и умения работы с космоснимками и цифровыми моделями рельефа очень востребованы на производстве, особенно в свете развития беспилотных летательных аппаратов, использование которых уже сейчас может позволить создавать подробные карты рельефа на небольших пространствах в режиме мониторинга.

Кроме того, современные технологии ГИС могут помочь при решении научных и прикладных задач по мониторингу экологических ситуаций, рациональному использованию природных ресурсов, а также для инфраструктурного проектирования, городского и регионального планирования, принятия оперативных мер в условиях чрезвычайных ситуаций и др.

Имеется множество определений, которые описывают ГИС с разных сторон. Географическая информационная система – это информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, анализ и отображение пространственных данных и связанных с ними непространственных, а также получение на их основе информации и знаний о географическом пространстве.

Благодаря развивающимся с огромной скоростью технологиям интернета, информационные ресурсы сети связываются всё теснее. Интернет решил проблему не хранения и упорядочения информации, а её передачи, дал возможность получить любую информацию где угодно, когда угодно и сколько угодно.

Интернет ГИС существенно расширил рамки своего присутствия в повседневной жизни общества и умение работать с ними. Понимание принципов построения современных технологий, используемых в ГИС, необходимо не только специалистам, которые хотят связать свою деятельность с географией, геологией или геофизикой, но и любому современному образованному человеку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрианов, В. Координаты пространственных данных / В. Андрианов // ArcReview. Современные геоинформационные системы. – 2001. – № 2. – С. 15–25.
2. Берлянт, А. М. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов / А. М. Берлянт, А. В. Кошкарев. – Москва: ГИС-Ассоциация, 1999. – 204 с.
3. Берлянт, А. М. Картография / А. М. Берлянт. – Москва: Аспект Пресс, 2001. – 336 с.
4. Гараевская, Л. С. Картография / Л. С. Гараевская. – Москва: Недра, 1971. – 344 с.
5. Геоинформатика: учеб. пособие / В. И. Лайкин, Г. А. Упоров. – Комсомольск-на-Амуре: Изд-во АмГПУ, 2010. – 162 с.
6. Глобальная цифровая модель рельефа ETOPO1. – URL: <http://www.gis-lab.info/qa/etopo1-overview.html> (дата обращения: 16.03.2021). – Текст: электронный.
7. Глобальные цифровые модели рельефа. – URL: <http://www.sovzond.ru/upload/iblock/090/78-82.pdf> (дата обращения: 15.02.2021). – Текст: электронный.
8. ДеМерс, М. Географические информационные системы. Основы / М. ДеМерс. – Москва: Дата+, 1999. – 478 с.
9. Дензин, П. В. Геодезия. – Москва: Изд-во Московского университета, 1953. – 25 с.
10. Картографические проекции. Географическая привязка пространственных данных. – Москва: Дата+, 1994.
11. Прикладной потребительский центр «ГЛОНАСС». – URL: <http://www.glonass-iac.ru> (дата обращения: 18.07.2021). – Текст: электронный.
12. Тикунов, В. С. Основы геоинформатики: учеб. пособие: в 2 кн. / В. С. Тикунов. – Москва: Академия, 2004. – Кн. 1. – 352 с.; Кн. 2. – 480 с.
13. Цифровая модель рельефа: описание, типы, виды, построение. – URL: <http://www.fb.ru/article/457808/tsifrovaya-model-relefa-opisanie-tipyi-vidyi-postroenie> (дата обращения: 04.02.2021). – Текст: электронный.

14. Polar Geospatial Center. – URL: <http://www.pgc.umn.edu/data/arcticdem> (дата обращения: 19.08.2021). – Текст: электронный.

15. Vector solutions. – URL: <http://www.vector-sol.ru/Blog/2> (дата обращения: 19.06.2021). – Текст: электронный.

Учебное издание

Потанов Владимир Владимирович

Шеин Александр Николаевич

Юдицких Евгений Юрьевич

ГЕОИНФОРМАТИКА

Редактор Е. В. Голованова

Вёрстка Г. А. Зенковой

Подписано в печать 26.05.22.

Формат 60×84/16. Бумага ксерографическая.

Гарнитура Times New Roman. Способ печати цифровой.

Усл. печ. л. 7,8. Уч.-изд. л. 5,6. Заказ № 22017.

Тираж 100 экз. (1-й з-д 1–35 экз.).

ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет»
672039, г. Чита, ул. Александрo-Заводская, 30