

Л.В.ГУРЬЯНОВА

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА
ГИС

МИНСК
2004

6

ВВЕДЕНИЕ

В период развития новых информационных технологий (глобальные сетевые ресурсы, мультимедийные средства передачи изображений и звуков, беспроводные технологии и т. д.) условия преподавания географических дисциплин переходят на качественно новый уровень. Доступность через среду Internet свободно распространяемых работоспособных программных средств для обработки географической информации, различных информационных источников (текст, таблицы и базы данных, изображения и др.) и информационных ресурсов (библиотеки, периодические издания, архивы и др.) увеличивают как объем доступной геоинформации, так и возможности ее представления.

Современная сеть Internet (особенно ее англоязычный сектор) располагает большими информационными ресурсами по географическим дисциплинам [15]. В сети активно представлены сайты по цифровым коллекциям карт (<http://hcl.harvard.edu>), географическим координатам объектов (<http://www.waypoint.org>), web-атласам (<http://www.gisca.adelaide.edu.au>), распространяемым космоснимкам (<http://www.spotimage.fr>), электронным картам городов, стран и регионов (<http://www.maps.com>). Международная сеть достаточно наполнена и своевременно актуализируется свободно распространяемыми специальными программными продуктами для географов (<http://www.geocomm.com>) по обработке и представлению географической информации. Активное использование географических информационных систем (ГИС) в практике географических работ вызвало появление многочисленных сайтов по виртуальным ГИС-курсам (<http://campus.esri.com>), обеспечению технической поддержки ГИС-специалистов в on-line режиме (<http://www.dataplus.ru>), электронным версиям ГИС-журналов и газет (например, ArcReview на сайте www.dataplus.ru). В сети активно проводятся форумы, телеконференции по проблемам географии, публикуется информация о конференциях и семинарах (<http://www.gisa.ru>). Общение со специалистами – коллегами в режиме реального времени осуществляется также по электронной почте, с поддержкой программного обеспечения ICQ [16].

Развитие и доступность мультимедийных технологий вызвали активный рост создания и появления на рынке программных продуктов мультимедийных географических атласов с речевым сопровождением, двух- и трехмерной графикой, интерактивной навигацией. Например, в

образовательном процессе на географическом факультете БГУ специальные занятия посвящены представлению и демонстрации с использованием ГИС ArcView 3.2 таких крупных геоинформационных проектов, как комплексный электронный атлас «Наша земля», который разработан под руководством академика А. А. Лютого (Россия) и Дж. Данджермонда (ESRI Inc., США) [29], геоинформационная система «Балтийского региона» (BUGIS), выполненная в рамках международной программы «Балтийский университет» [23].

В настоящее время на рынке информационных технологий возрастает доля геоинформационных продуктов. Геоинформационные технологии или технологии географических информационных систем (ГИС) одновременно с наращиванием своих узкоспециальных возможностей по обработке географической информации имеют тенденцию к упрощению интерфейса и представления любому пользователю доступных функций по обработке пространственных данных. Общеизвестно, что геоинформация доминирует в 70 % объема всей циркулирующей информации [19]. В этой связи использование ГИС-пакетов специалистами в своей повседневной деятельности, наряду с привычными уже офисными программами, становится реальностью. Современные стандартные функциональные возможности ГИС-пакетов позволяют в режиме реального времени оперативно построить по табличным данным или отредактировать тематическую картограмму, оперативно подготовить для печати отчет, иллюстрированный тестом, рисунками, таблицами, фотографиями, картами. Естественно, что для манипулирования значительными по объему и формам представления видами информации необходим достаточно высокий уровень компьютерной грамотности. В этой связи повышается роль постановки такого качества образовательного процесса, который бы обеспечивал систему всеобщего и непрерывного ГИС-образования [32].

Опыт мировой практики показывает, что такие формы работы, как использование виртуальных компьютерных атласов в школьном процессе, открытые виртуальные ГИС-курсы в Internet и web-географические атласы, виртуальные ГИС-форумы по обсуждению проблемных вопросов, международные студенческие ГИС-ярмарки по представлению выполненных проектов, международный день ГИС, электронные библиотеки ГИС-проектов и литературы и др. – являются элементами постановки всеобщего и непрерывного ГИС-образования. Следствием популяризации знаний по геоинформатике и универсаль-

ности применения ГИС-технологий является их активное использование в таких отраслях деятельности человека, как география, экология, архитектура и градостроительство, транспорт, археология, биология, территориальное управление, управление учреждением, предприятием, населенным пунктом, регионом и др.

Актуальность использования современных информационно-коммуникационных технологий в географии согласуется с государственной программой информатизации Республики Беларусь на 2003 – 2005 гг. и на перспективу до 2010 г. Развитие геоинформационных технологий, подготовка квалифицированных кадров географов являются необходимостью для выполнения программы «Электронная Беларусь», которая разработана на основании опыта зарубежных стран, в частности Российской Федерации, и в согласовании с проектом Мирового банка по определению «информационной готовности» (E-Readiness) Беларуси. Основной целью программы является формирование в стране единого информационного пространства, которое повысит эффективность экономики, государственного и местного управления, обеспечит права на свободный поиск, передачу и распространение информации о состоянии экономического и социального развития общества. Все это рассматривается как один из этапов перехода к информационному обществу [12].

В целом использование телекоммуникаций при преподавании географических дисциплин является высокоэффективным приемом в образовательном процессе и имеет большие перспективы. В настоящее время для подготовки и переподготовки географических кадров необходима организация постоянно действующих реальных и дистанционных ГИС-курсов, развитие web-картографии, развитие SDE-технологий, т. е. сетевых технологий удаленной работы с картографическими материалами, применение данных космосъемок при составлении ГИС-проектов, организация полевых работ с использованием новейших навигационных средств и полевых компьютеров, формирование соответствующих учебно-методических комплексов. В связи с недостаточным наполнением учебного процесса современными учебниками по ГИС-технологиям для географических специальностей автором выполнен конспект лекций по «Аппаратно-программным средствам ГИС». В данной работе наибольшее число примеров и методологий приводится для программных продуктов фирмы ESRI Inc., поскольку автор является их сертифицированным пользователем.

ЧАСТЬ 1

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

1. Современные технологии в географии

1.1. Определение ГИС

Согласно современным представлениям, принятым в русскоязычной литературе, географическая информационная система (ГИС) или Geographic Information System (GIS) – это совокупность технических, программных и информационных средств, обеспечивающих ввод, хранение, обработку, математико-картографическое моделирование и обобщенное интегрированное представление географических и соотношенных с ними атрибутивных данных для решения проблем территориального планирования и управления [39].

1.2. Классификации ГИС по назначению, тематике, территориальному охвату, способу организации географических данных

ГИС могут быть классифицированы по следующим признакам [39]:

- § по назначению в зависимости от целевого использования и характера решаемых задач;
- § по проблемно-тематической ориентации в зависимости от области применения;
- § по территориальному охвату в зависимости от масштабного ряда цифровых картографических данных, составляющих базу данных ГИС;
- § по способу организации географических данных в зависимости от форматов ввода, хранения, обработки и представления картографической информации.

По назначению возможно выделение следующих видов ГИС:

- § многоцелевые;
- § информационно-справочные;
- § мониторинговые и инвентаризационные;

- § исследовательские;
- § принятия решений;
- § учебные;
- § издательские;
- § иного назначения.

По проблемно-тематической ориентации возможно выделение следующих видов ГИС:

- § экологические и природопользовательские;
- § социально-экономические;
- § земельно-кадастровые;
- § геологические;
- § инженерных коммуникаций и городского хозяйства;
- § чрезвычайных ситуаций;
- § навигационные;
- § транспортные;
- § торгово-маркетинговые;
- § археологические;
- § иной ориентации.

По территориальному охвату устанавливают следующие виды ГИС:

- § глобальные;
- § общенациональные;
- § региональные;
- § локальные;
- § муниципальные.

По способу организации географических данных устанавливают следующие виды ГИС:

- § векторные;
- § растровые;
- § векторно-растровые;
- § трехмерные.

1.3. История развития аппаратно-программных средств ГИС

В современной литературе по ГИС-технологиям исследователи выделяют три основных периода развития аппаратно-программных средств ГИС: пионерный, государственных инициатив, коммерческий [54].

Пионерный период: поздние 1950-е – ранние 1970-е гг. В этот период в сфере информационных технологий выполняются работы по исследованию принципиальных возможностей картографирования с использованием вычислительной техники. Первый период развивался на фоне успехов компьютерных технологий: появления электронных вычислительных машин (ЭВМ) в 50-х гг., цифрователей, плоттеров, графических дисплеев и других периферийных устройств.

Большое влияние в этот период оказывают теоретические работы в области географии по оценке пространственных взаимосвязей между геообъектами, а также становление количественных методов в географии в США, Канаде, Англии, Швеции (работы У. Гаррисона (William Garrison), Т. Хагерстранда (Torsten Hagerstrand), Г. Маккарти (Harold McCarty), Я. Макхарга (Ian McHarg)).

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

Назначение ГИС Канады состояло в анализе многочисленных данных, накопленных Канадской службой земельного учета (Canada Land Inventory), и в получении статистических данных о земле для использования их при разработке планов землеустройства огромных площадей преимущественно сельскохозяйственного назначения. Для этих целей требовалось создать классификацию использования земель, используя данные по сельскохозяйственной, рекреационной, экологической, лесохозяйственной пригодности земель, отразить сложившуюся структуру использования земель, включая землепользователей и землевладельцев. Наиболее узким местом проекта являлось обеспечение

эффективного ввода исходных картографических и тематических данных. Для этого разработчикам ГИС Канады, не имевшим опыта по внутренней организации больших массивов пространственных данных, потребовалось создать новую технологию, ранее нигде не применявшуюся, позволяющую оперировать отдельными слоями и делать картометрические измерения. Для ввода крупноформатных земельных планов было даже спроектировано и создано специальное сканирующее устройство. Расчленение картографической информации на тематические слои и разработка концептуального решения о «таблицах атрибутивных данных» позволили разделить файлы плановой (геометрической) геоинформации о местоположении объектов и файлы, содержащие тематическую (содержательную) информацию об этих объектах. Канадские исследователи разработали функции и алгоритмы оверлейных операций с полигонами, подсчет площадей и других картометрических показателей.

Большое воздействие на развитие ГИС в середине 60-х гг. оказала Гарвардская лаборатория компьютерной графики и пространственного анализа (Harvard Laboratory for Computer Graphics & Spatial Analysis) Массачусетского технологического института. Руководителем лаборатории являлся Говард Фишер (Howard Fisher), который руководил исследованиями по многофункциональному компьютерному картографированию. Данные разработки явились существенным шагом в алгоритмическом совершенствовании ГИС и оставались ими вплоть до начала 80-х гг.

Программное обеспечение Гарвардской лаборатории широко распространялось и помогло создать базу для развития многих ГИС-приложений. Именно в этой лаборатории Дана Томлин (Dana Tomlin) заложила основы картографической алгебры, создав знаменитое семейство растровых программных средств Map Analysis Package – MAP, PMAP, aMAP. Одним из производных программных продуктов, свободно распространяемых в сети Internet, является OSU-MAP, созданный в Университете штата Огайо выходцами из Гарвардской лаборатории. В результате работ Гарвардской лаборатории в области компьютерного картографирования была окончательно закреплена ведущая роль, которую играют картографические модели данных, картографический метод исследований, картографические способы представления информации в современных геоинформационных системах.

Период государственных инициатив: 1970-е – ранние 1980-е гг. В этот период прослеживается развитие крупных геоинформационных проектов, поддерживаемых государством, формирование государственных институтов в области ГИС, снижение роли и влияния отдельных исследователей и небольших групп.

В конце 60-х гг. в США сформировалось мнение о необходимости использования ГИС-технологий для обработки и представления данных Национальных переписей населения (U.S. Census Data). Для специалистов потребовалась методика, которая обеспечивает корректную географическую «привязку» данных переписи. Основной теоретической проблемой являлась необходимость конвертирования адресов проживания населения, присутствовавших в анкетах переписи, в географические координаты таким образом, чтобы результаты переписи можно было бы оформлять в виде карт по территориальным участкам и зонам Национальной переписи.

Для этих целей Национальное бюро переписей США (U.S. Census Bureau) разрабатывает комплексный подход к географии переписей. В результате перепись населения США в 1970 г. впервые выполнена с картографической поддержкой. Для этих целей был разработан специальный формат представления картографических данных DIME (Dual Independent Map Encoding), для которого были определены прямоугольные координаты перекрестков, разбивающих улицы всех населенных пунктов США на отдельные сегменты. Алгоритмы обработки и представления картографических данных были заимствованы у разработчиков ГИС Канады и Гарвардской лаборатории и оформлены в виде программы POLYVRT, осуществляющей конвертирование адресов проживания в соответствующие координаты, описывающие графические сегменты улиц. Таким образом, в этой разработке впервые был широко использован топологический подход к организации управления географической информацией, содержащий математический способ описания пространственных взаимосвязей между объектами.

Создание, государственная поддержка и обновление DIME-файлов стимулировали также развитие экспериментальных работ в области ГИС, основанных на использовании баз данных по уличным сетям. В этот период развиваются работы по автоматизированным системам навигации, картографической поддержке для разработки системы вывоза городских отходов и мусора, пространственному сетевому анализу движения транспортных средств в чрезвычайных ситуациях и дру-

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

Период коммерческого развития: ранние 1980-е – настоящее время. Этот период характеризуется наличием широкого рынка разнообразных программных средств, развитием настольных ГИС, расширением области их применения за счет интеграции с базами непространственных данных, появлением сетевых приложений, развитием систем, поддерживающих индивидуальные наборы данных на отдельных компьютерах, и в свою очередь развитием систем, поддерживающих корпоративные и распределенные базы геоданных. Ценовая политика производителей компьютерной техники делает доступными программные и аппаратные средства, сетевые информационные ресурсы широкому кругу специалистов-прикладников. В исследовательском институте экологических систем (Environmental Systems Research Institute, ESRI Inc.), основанном Джеком Денджермонд (Jack Dangermond) в 1969 г., в начале 1980-х г. был реализован программный пакет ARC/INFO. В программе ARC/INFO используется принцип отдельного внутреннего представления геометрической (графической) и атрибутивной информации. Причем для хранения и работы с атрибутивной информацией в виде таблиц (INFO) применяется формат стандартной реляционной системы управления базами данных, а для хранения и работы с графическими объектами в виде дуг (ARC) было разработано специальное программное обеспечение. ARC/INFO является первым программным пакетом ГИС, который эффективно использует пользовательские качества персональных компьютеров, в то же время он доступен для разных технических платформ и операционных сред. Первые успехи ARC/INFO были связаны с его использованием в лесном хозяйстве, в настоящее время семейство программных средств ESRI Inc. для персональных компьютеров и рабочих станций является самым популярным в мире.

Другим успешным коммерческим предприятием в области производства аппаратно-программных средств для ГИС стал и до сих пор является Intergraph Corp. Эта фирма была организована в 1969 г., первоначально под названием M&S Computing, бывшим сотрудником IBM Джимом Мидлоком (Jim Meadlock). Первые успехи были связаны с разработкой для ВПК США систем управления ракетами в реальном

времени. В 1973 г. фирма впервые создала мощную удаленную рабочую станцию стоимостью порядка 100 000 долларов. В активе Intergraph Corp. и создание первой системы интерактивного картографирования для местного управления. И сейчас фирма является лидером по разработке и выпуску рабочих станций для ГИС, программного обеспечения, в том числе пользовательского интерфейса.

В настоящее время период коммерческого развития ГИС продолжается. Общемировой объем продаж в области ГИС оценивается до 7 млрд долларов в год. ГИС-технологии являются эффективными инструментами исследований в области природы, биологии, культуры, демографии, экономики и других естественных, социальных, медицинских и инженерных наук, а также для бизнес-планирования и геомаркетинга.

1.4. Функциональные возможности ГИС

ГИС должны выполнять следующие основные функции [39]: *функции автоматизированного картографирования (АК); функции пространственного анализа (ПА); функции управления данными (УД).*

Функции АК должны обеспечивать работу с картографическими данными ГИС с целью их отбора, обновления и преобразования для производства высококачественных карт и рисунков. Функции АК должны включать векторно-растровые преобразования, преобразования координатной системы, картографических проекций и масштабов, «склейки» отдельных листов, осуществления картометрических измерений (вычисления площадей, расстояний), размещение текстовых надписей и внемасштабных картографических знаков, формирование макета печати.

Функции ПА должны обеспечивать совместное использование и обработку картографических и атрибутивных данных в интересах создания производных картографических данных. Функции ПА должны включать анализ географической близости, анализ сетей, топологическое наложение полигонов, интерполяцию и изолинейное картографирование полей, вычисление буферных зон.

Функции УД должны обеспечивать работу с атрибутивными (неграфическими) данными ГИС с целью их отбора, обновления и преобразования для производства стандартных и рабочих отчетов. Функции УД должны включать пользовательские запросы, генерацию пользова-

тельских документов, статистические вычисления, логические операции, поддержание информационной безопасности, стандартных форм запросов и представления их результатов.

В общем виде ГИС должны состоять из следующих четырех подсистем: сбора, подготовки и ввода данных; хранения, обновления и управления данными; обработки, моделирования и анализа данных; контроля, визуализации и вывода данных. Основная задача подсистемы сбора, подготовки и ввода данных – формирование баз географических и атрибутивных данных ГИС; подсистемы хранения, обновления и управления данными – организация хранения данных, обеспечение процедур их редактирования и обновления, обслуживание запросов на информационный поиск, поступающих в систему; подсистемы обработки, моделирования и анализа данных – организация обработки данных, обеспечение процедур их преобразования, математического моделирования и сопряженного анализа; подсистемы контроля, визуализации и вывода данных – генерация и оформление результатов работы системы в виде карт, графических изображений, таблиц, текстов на твердых или магнитных носителях.

1.5. Нормативные документы и законодательство, регулирующие создание и эксплуатацию ГИС

Картографическая и топографо-геодезическая деятельность в Беларуси, как и во всех развитых странах мира, в настоящее время переходит в область информационных технологий, которые в недалеком будущем составят единое геоинформационное поле страны [41].

Основу глобального геоинформационного поля составляет совокупность: ГИС; систем сбора информации о Земле; систем координатно-временного обеспечения и телекоммуникационной инфраструктуры. В результате этих революционных преобразований сложилась тенденция, ведущая к тому, что человеку или управляемой им технической системе в любой точке земного пространства могут быть известны собственные точные координаты и время и доступна точная и актуальная топографическая информация о любой местности Земли. В совокупности это и позволяет характеризовать современное топографо-геодезическое и картографическое обеспечение как глобальное геоинформационное поле.

В качестве примера активно разрабатываемой законодательной ба-

зы, регулирующей вопросы создания и эксплуатации ГИС, рассмотрим основные черты структуры нормативных документов Российской Федерации. Наиболее важным звеном в системе нормативного регулирования создания и эксплуатации ГИС является система защиты топогеодезической информации с целью сохранения национальных интересов государства.

Защита топогеодезической информации в государстве обеспечивается следующими основными мерами: действующими законодательными и другими правовыми актами в области топогеодезической и картографической деятельности; организационными, методическими и программно-аппаратными средствами защиты топогеодезической информации; надзорной деятельностью уполномоченных органов.

Одним из основных правовых режимов по защите топогеодезической информации является режим охраны государственной тайны, определяемый соответствующим законодательством Российской Федерации (РФ). До 1989 г., согласно этому режиму, секретными являлись координаты с ошибкой менее 150 м, с 1989 по 1996 г. – с ошибкой менее 70 м, с 1996 г. – с ошибкой менее 30 м. Таким образом, существует тенденция по рассекречиванию координат, которая приводит, в свою очередь, к рассекречиванию топографических карт соответствующих масштабов, а также данных дистанционного зондирования Земли из воздушного пространства и космоса [41].

Юридическим основанием необходимости уточнения требований по засекречиванию координат является такой фактор, как изменение объективных обстоятельств, вследствие которых дальнейшая защита сведений, составляющих государственную тайну, является нецелесообразной. Так в настоящее время навигационная аппаратура потребителя (НАП) системы спутникового позиционирования NAVSTAR «карманного» типа весом не более 3 кг беспрепятственно ввозится в РФ. Ею оборудованы многие иностранные воздушные и морские суда, а также наземные транспортные средства, совершающие перевозки в Россию и по России. Использование НАП, интегрированных в ГИС, в том числе и со съемочной аппаратурой, на борту транспортных средств (наземных и воздушных) позволяет проводить как геодезическую съемку местности в режиме реального времени, так и оперативное высокоточное ориентирование на местности (с точностью на уровне 1 м) с использованием электронных планов местности, не имеющих координатной сетки, т. е. несекретных. На зарубежном рынке прослежива-

ется динамичная тенденция создания новых высокоточных (до 2 м) карто-, фотоматериалов на отдельные участки территории РФ. В ряде западных стран, в том числе США, приняты меры по либерализации дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) из космоса. Это в ближайшие 3–5 лет приведет к существенному развитию рынка данных ДДЗ на любую территорию Земли. Одновременно бурное развитие мировой телекоммуникационной инфраструктуры в ближайшее время позволит передавать топогеодезическую информацию любому потребителю в любую точку Земли.

Вторым фактором, влияющим на уровень засекречивания координат, является взятие Россией международных обязательств по открытому обмену сведениями, составляющими в РФ государственную тайну. В качестве примера можно указать на объявление Россией о готовности предоставлять систему спутникового позиционирования ГЛОНАСС для использования зарубежными и российскими гражданскими потребителями. Точность системы ГЛОНАСС достигает 20–30 м. Следовательно, при ее использовании на российской территории потребитель может получить секретные координаты. Также РФ приняла обязательства выполнять требования международных морской (ИМО) и авиационной (ИКАО) организаций. Совет ИКАО 28 февраля 1994 г. принял поправку 28 к приложению 15 Службы аэронавигационной информации, предусматривающую введение с 1 января 1998 г. стандарта на применение WGS-84 в качестве стандартной геодезической системы отсчета для международной гражданской авиации. Согласно требованиям ИКАО в зависимости от категорийности посадки и применяемых имитационных средств, международные аэродромы должны иметь геодезические точки с точностью от 0,5 до 30 м в системе WGS-84, что тоже находится далеко за порогом секретности, определенным в России.

Указанные обстоятельства приводят к необходимости постановки и решения ряда новых научно-технических задач и организационных мер по защите, регулированию и упорядочиванию коммерческого использования топогеодезической информации.

В частности, наряду с уже действующими Законом о геодезической и картографической деятельности, Постановлением Правительства РФ «О лицензировании в области геодезии и картографии» от 28 мая 2002 г., государственным стандартом ГОСТ Р 540828-95 «Геоинформационное картографирование. Пространственные данные,

цифровые и электронные карты. Общие требования» разработаны такие нормативные документы, как ГОСТ 28441-90 Т02 «Картография цифровая. Термины и определения», ГОСТ Р 51607-2000 «Карты цифровые топографические. Правила топографического описания картографической информации. Общие требования», ГОСТ Р 51606-2000 «Карты цифровые топографические. Система классификации и кодирования цифровой картографической информации», ГОСТ Р 51605-2000 «Карты цифровые топографические. Общие требования», ГОСТ Р 51608-2000 «Карты цифровые топографические. Требования к качеству».

2. Источники данных для ГИС

Источниками данных для ГИС являются карты, планы, схемы, представленные как в специфических объектных форматах, так и традиционных растровых и векторных форматах. Информационное наполнение ГИС осуществляется путем ввода различных первичных материалов, в том числе результатов измерений на местности, геологических исследований, картографирования, аэрофото- и космической съемки, специальной тематической информации.

2.1. Географические карты

Географические карты являются основополагающим источником информации при создании ГИС. Географические объекты реального мира смоделированы на карте с использованием графических примитивов (точка, линия, полигон), специальных символов, цвета и текстовых подписей. При описании географических объектов в ГИС карта является важным источником информации о пространственных отношениях между объектами, т. е. взаимоотношениях между различными географическими объектами. Пространственные отношения присутствуют на карте в неявном виде – все зависит от того, каким образом и как интерпретируется ее содержание. В зависимости от разных задач по карте можно определить:

- § Какие географические объекты соединяются с другими объектами?
- § Какие географические объекты являются соседними?
- § Какие географические объекты содержатся в заданном

- пространстве?
- § Какие географические объекты пересекаются?
 - § Какие географические объекты находятся рядом с другими объектами?
 - § Как определить разницу по высоте для разных географических объектов?
 - § Как определить относительное положение географических объектов между собой? и др. [1].

Как пространственная образно-знаковая модель земной поверхности, карта характеризуется, во-первых, определенным математическим построением, включающим модель Земли и проекцию, во-вторых, применением особых знаков, позволяющих говорить о карте как о тексте определенной языковой системы и, в-третьих, представлением изображаемых объектов и явлений в обобщенном виде, т. е. основными, типичными чертами (генерализация географических объектов).

Карты масштаба 1:200 000 обычно используются для решения задач на региональном уровне. Цифровые основы с данного масштаба – последний наиболее подробный материал, который можно использовать безо всяких ограничений по уровню секретности топогеодезической информации [30].

Карты масштаба 1:100 000 имеют статус «Для служебного пользования», а более крупных масштабов – гриф секретности. Они также устарели и продолжают устаревать намного быстрее, чем их обновляют. Тем не менее карты данного масштаба – хорошая база для их уточнения в ГИС по данным дистанционного зондирования, полевых съемок, проектных материалов, а также для подготовки и ведения собственных тематических слоев информации.

Необходимо также отметить, что при использовании в ГИС бумажных карт наиболее оптимальным вариантом является работа с исходными пластиками цветоделения этих карт [30]. Синтетический материал, на который в издательстве наносятся отдельные цвета карты, является более надежной основой при цифровании для ГИС по сравнению с бумагой. Пластики не имеют ошибок сдвигов печати. Например, сдвиг цвета при оттиске может дать ошибку на картах упомянутого масштаба до 600 м, что на порядок выше допуска в бумажных картах. Это приводит к тому, например, что реки в цифровых картах начинают нарушать законы гравитации, не попадая в тальвеги рельефа.

2.2. Данные дистанционного зондирования

Наряду с традиционной картографической информацией данные дистанционного зондирования составляют информационную основу ГИС-технологий. Под дистанционным зондированием понимаются исследования географических объектов неконтактным способом с использованием съемки с летательных аппаратов атмосферных и космических, в результате которых получается изображение земной поверхности в каком-либо диапазоне (диапазонах) электромагнитного спектра.

На одной платформе (т. е. космическом летательном аппарате, спутнике, самолете и др.) может размещаться несколько съемочных устройств, называемых инструментами или сенсорами. Например, спутники Ресурс-01 несут сенсоры МСУ-Э и МСУ-СК, а спутники SPOT – по два одинаковых сенсора HRV (SPOT-4, HRVIR). При этом чем дальше находится платформа с сенсором от изучаемого объекта, тем больший охват и меньшую детализацию будут иметь получаемые изображения [5].

По методу регистрации изображения можно подразделить на аналоговые и цифровые. Аналоговые системы – это сегодня практически только фотографические системы. Системы с телевизионной регистрацией существуют, но, за исключением некоторых специальных случаев, их роль ничтожно мала. В фотографических системах изображение фиксируется на пленку, которая после приземления летательного аппарата или специальной спускаемой капсулы проявляется и сканируется для использования в компьютерных технологиях.

Среди цифровых систем съемки выделяются сканерные, т. е. системы с линейно расположенным набором светочувствительных элементов и некоторой системой развертки, часто оптико-механической, изображения на эту линейку. Все цифровые системы съемки имеют преимущество перед фотографическими в отношении оперативности получаемых данных. Во время космических съемок цифровые снимки передаются на Землю по радиоканалу в режиме реального времени [21].

Также ДДЗ могут классифицироваться по различным видам разрешения и охвата, по принципу работы сенсора (фотоэффект, пироэффект и др.), по способу формирования (развертки) изображения, по

специальным возможностям (стереорежим, сложная геометрия съемки), по типу орбиты, с которой производится съемка, и т. д.

При обработке данных дистанционного зондирования важным показателем является пространственное разрешение на местности, т. е. минимально различимый размер географического объекта. ДДЗ характеризуются несколькими видами разрешений: пространственным, спектральным, радиометрическим и временным. Под термином «разрешение» обычно подразумевается пространственное разрешение.

В зависимости от решаемых задач, могут использоваться данные низкого (более 100 м), среднего (10–100 м) и высокого (менее 10 м) разрешений. Снимки низкого пространственного разрешения являются обзорными и позволяют одномоментно охватывать значительные территории вплоть до целого полушария. Такие данные используются чаще всего в метеорологии, при мониторинге лесных пожаров и других масштабных природных бедствий.

Снимки среднего пространственного разрешения на сегодня – это основной источник данных для мониторинга природной среды. Спутники со съемочной аппаратурой, работающей в этом диапазоне пространственных разрешений, запускались и запускаются многими странами – Россией, США, Францией и др., что обеспечивает постоянство и непрерывность наблюдения.

Съемка высокого разрешения из космоса до недавнего времени велась почти исключительно в интересах военной разведки, а с воздуха с целью топографического картографирования. Однако сегодня уже есть несколько коммерческих доступных космических сенсоров высокого разрешения (КВР-1000, IRS, IKONOS), позволяющих проводить пространственный анализ или уточнять результаты анализа при среднем или низком разрешении с большой точностью [5].

Спектральное разрешение указывает на то, какие участки спектра электромагнитных волн (ЭМВ) регистрируются сенсором. При анализе природной среды, например для экологического мониторинга, этот параметр наиболее важный. Условно весь диапазон длин волн, используемых в ДДЗ, можно поделить на три участка: видимый свет, тепловое излучение, радиоволны. Такое деление обусловлено различием взаимодействия электромагнитных волн и земной поверхности, различием в процессах, определяющих отражение и излучение ЭМВ.

Наиболее часто используемый диапазон ЭМВ – это видимый свет и примыкающее к нему коротковолновое ИК-излучение. В этом диапа-

зоне отражаемая солнечная радиация несет в себе информацию, главным образом, о химическом составе поверхности. Подобно тому как человеческий глаз различает вещества по цвету, сенсор дистанционного зондирования фиксирует «цвет» в более широком понимании этого слова. В то время как человеческий глаз регистрирует лишь три участка (зоны) электромагнитного спектра, современные сенсоры способны различать десятки и сотни таких зон, что позволяет надежно выявлять объекты и явления по их заранее известным спектрограммам.

В целом по снимаемым спектральным диапазонам данные дистанционного зондирования могут различаться как полученные в одном спектральном диапазоне (чаще всего в широком видимом участке спектра – панхроматические), съемки в реальных или условных цветах, когда одновременно совместно фиксируются 2 или 3 зоны спектра на одной и той же фотопленке (и дальше изображения в этих зонах уже реально неразделимы), и съемки многозональные – самый информативный и перспективный вид съемок, когда одновременно, но отдельно фиксируются несколько изображений в различных зонах спектра. Их может быть 3, 4, 5, 7 и даже больше, вплоть до нескольких десятков и даже сотен узких спектральных зон [26]. Если этих зон больше 16, то такие снимки уже называют не многозональными или мультиспектральными, а гиперспектральными. Такие съемки позволяют изучать спектры отражения объектов местности столь детально, что можно определить типы и даже конкретные виды растительности, горные породы и почвы, определить состав пленки загрязнений на поверхности воды, материал, из которого выполнено дорожное покрытие.

Тепловое ИК-излучение несет информацию, в основном, о температуре поверхности. Помимо прямого определения температурных режимов видимых объектов и явлений (как природных, так и искусственных), тепловые снимки позволяют косвенно выявлять то, что скрыто под землей – подземные реки, трубопроводы и т. п. Поскольку тепловое излучение создается самими объектами, для получения снимков не требуется солнечный свет (он даже, скорее, мешает). Такие снимки позволяют отслеживать динамику лесных пожаров, нефтяные и газовые факелы, процессы подземной эрозии. Следует отметить, что получение космических тепловых снимков высокого пространственного разрешения технически затруднительно, поэтому сегодня доступны снимки с разрешением около 100 м. Много полезной информации дает также тепловая съемка с самолетов.

Сантиметровый диапазон радиоволн используется для радарной съемки. Важнейшее преимущество снимков этого класса – в их всепогодности. Поскольку радар регистрирует собственное, отраженное земной поверхностью, излучение, для его работы не требуется солнечный свет. Кроме того, радиоволны этого диапазона свободно проходят через сплошную облачность и даже способны проникать на некоторую глубину в почву. Отражение сантиметровых радиоволн от поверхности определяется ее текстурой («шероховатостью») и наличием на ней всевозможных пленок. Так, например, радары способны фиксировать наличие нефтяной пленки толщиной 50 мкм и более на поверхности водоемов даже при значительном волнении. Еще одной особенностью радарной съемки является ее высокая чувствительность к влажности почвы, что важно и для сельскохозяйственных, и для экологических приложений. В принципе радарная съемка с самолетов способна обнаруживать подземные объекты, например трубопроводы и утечки из них.

Радиометрическое разрешение определяет диапазон различных на снимке яркостей. Большинство сенсоров обладают радиометрическим разрешением 6 или 8 бит, что наиболее близко к мгновенному динамическому диапазону зрения человека. Но есть сенсоры и с более высоким радиометрическим разрешением (10 бит для AVHRR и 11 бит для IKONOS), позволяющим различать больше деталей на очень ярких или очень темных областях снимка. Это важно в случаях съемки объектов, находящихся в тени, а также когда на снимке одновременно находятся большие водные поверхности и суша. Кроме того, такие сенсоры, как AVHRR, имеют радиометрическую калибровку, что позволяет проводить точные количественные измерения.

Наконец, временное разрешение определяет, с какой периодичностью один и тот же сенсор может снимать некоторый участок земной поверхности. Этот параметр весьма важен для мониторинга чрезвычайных ситуаций и других быстро развивающихся явлений. Большинство спутников (точнее, их семейств) обеспечивают повторную съемку через несколько дней, некоторые – через несколько часов. В критических случаях для ежедневного наблюдения могут использоваться снимки с различных спутников [5].

В настоящее время появилась возможность прямого получения данных дистанционного зондирования на собственные приемные станции потребителя. Хотя эти снимки сравнительно низкого разрешения,

они позволяют добавить, например, к региональной ГИС слой оперативной информации. Сегодня существуют и могут быть приобретены ГИС-специалистами передвижные станции приема данных со спутников.

Например, во всем мире широко используются данные NOAA, Landsat, SPOT, IRS, RADARSAT, ERS, а также российские данные KBP-1000, ТК-350. Гораздо реже применяются в мире, но активно используются в России данные с аппаратов Ресурс-0 и Ресурс-Ф [50].

Лидером среди данных дистанционного зондирования являются данные AVHRR с метеорологических спутников серии NOAA, существующих с 1978 г. Несмотря на невысокое пространственное разрешение (1,1 км), данные AVHRR обладают очень высоким радиометрическим разрешением и возможностью абсолютной калибровки информации. Очередной спутник NOAA-15 был запущен в мае 1998 г., и сейчас в активной эксплуатации находятся 3 космических аппарата NOAA. Еще одним важным достоинством этих данных является высокая периодичность съемок (15–20 раз в сутки). Данные AVHRR используются для определения температуры суши, температуры поверхности моря, выявления пожаров, измерения вегетационного индекса, наблюдения за облачным, снежным и ледовым покровами.

Многозональные данные со спутника Landsat за период многолетнего функционирования этой системы приобрели огромную известность. Несомненное преимущество снимков Тематического Картографа (Thematic Mapper – TM) перед другими данными – сравнительно большое число спектральных диапазонов – 7 зон съемки, наличие теплого канала, цифровая форма данных, богатейшие архивы. К недостаткам данных снимков Landsat TM относится невысокое геометрическое разрешение (30 м, а в дальнем ИК-диапазоне – 120 м) и высокая стоимость.

Уже более десяти лет функционирует французская съемочная система SPOT. Геометрическое разрешение данных SPOT при панхроматической съемке – 10 м, при многозональной – 20 м. Кроме высокого геометрического разрешения этих цифровых данных, существует возможность получения стереопар со снимков SPOT.

Еще одним хорошо известным в мире источником цифровых данных является индийская система дистанционного зондирования IRS. Сенсоры на спутниках последнего поколения (IRS-1C, IRS-1D) позво-

ляют получать панхроматические снимки с геометрическим разрешением 5 – 6 м, а в многозональном режиме – 23 м.

Для ГИС-пользователей доступны радиолокационные данные с канадского спутника RADARSAT или европейского ERS. Использование радиолокационных данных позволяет выполнить геометрическое трансформирование радарных данных с учетом специфической геометрии радиолокационной съемки, построение цифровых моделей рельефа как по стереопаре, так и с использованием новейших методов радарной интерферометрии.

Благодаря высокому разрешению большой популярностью в мире пользуются данные с российского спутника КОМЕТА. Фотографические изображения КВР-1000 имеют разрешение 2 м, а устанавливаемая на том же спутнике специальная топографическая камера ТК-350 позволяет получать стереоснимки, предназначенные для обновления топографических карт (разрешение на местности – 10 м). Как правило, спутники КОМЕТА запускаются на короткие сроки (около 1 месяца). Для организации ГИС-проектов также используются данные со спутников серии Ресурс-Ф, оснащенных фотографическими камерами КФА-1000, КФА-3000, МК-4, КАТЭ-200, и данные со спутников Ресурс-О (сканеры МСУ-Э и МСУ-СК).

2.3. Система спутникового позиционирования

Техника навигационных определений по сигналам искусственных спутников Земли (ИСЗ) стала отрабатываться начиная с 1957 г. Спутниковые радионавигационные системы первого поколения появились в начале 60-х гг. В США с 1964 г. действует космическая навигационная система (КНС) «Транзит», разработанная для военно-морского флота. В КНС «Транзит» на орбитах высотой 1000 км обращаются 6 ИСЗ, узлы орбит равномерно распределены по экватору [51].

КНС второго поколения обеспечивают высокоточное определение местоположения и скорости движения. В состав системы входят: созвездие ИСЗ (космический сегмент); сеть наземных станций слежения и управления (сегмент управления); собственно GPS-приемники (аппаратура потребителей).

Например, космический сегмент «Навстар» (NAVSTAR) (США) состоит из 24 рабочих спутников, которые обращаются на 6 орбитах. Плоскости орбит наклонены на угол около 55° к плоскости экватора и

сдвинуты между собой на 60° по долготе. Радиусы орбит – около 20 200 км, а период обращения составляет половину звездных суток (примерно 11 ч 58 мин). Этим достигается то, что сигнал хотя бы от некоторых спутников может приниматься повсеместно в любое время.

Сегмент управления «Навстар» содержит главную станцию управления (авиабаза Фалькон в штате Колорадо), пять станций слежения, расположенных на американских военных базах на Гавайских островах, островах Вознесения, Диего-Гарсия, Кваджелейн и Колорадо-Спрингс, и три станции закладки: острова Вознесения, Диего-Гарсия, Кваджелейн. Кроме того, имеется сеть государственных и частных станций слежения за ИСЗ, которые выполняют наблюдения для уточнения параметров атмосферы и траекторий движения спутников. Собираемая информация обрабатывается в суперкомпьютерах и периодически передается на спутники для корректировки орбит и обновления навигационного сообщения.

Каждый спутник весит более 900 кг и имеет размер около 5 м (с раскрытыми солнечными батареями). Мощность радиопередатчика составляет 50 ватт. Каждый спутник передает сигналы на 3-х частотах. Гражданские GPS-приемники используют частоту «L1», равную 1575.42 МГц. На борту каждого спутника установлены часы, обеспечивающие точность 10^{-9} с. Каждый спутник рассчитан на работу примерно в течение 10 лет. Новые спутники изготавливаются и запускаются на орбиту по мере необходимости.

Каждую миллисекунду спутник излучает сигнал, содержащий так называемый «псевдослучайный код» (PRN – pseudo-random code), эфимерис (ephemeris) и альманах (almanach). Псевдослучайный код служит для идентификации передающего спутника. Данные эфимериса, постоянно передаваемые каждым спутником, содержат такую важную информацию, как состояние спутника (рабочее или нерабочее), текущая дата и время. Данные альманаха содержат параметры своей орбиты, а также всех других спутников системы.

В аппаратуре потребителя (GPS-приемнике) принимаемый сигнал декодируется. Все приборы GPS работают в системе Гринвичского времени (всемирное время – UTC). Внутренние часы GPS-приемников постоянно синхронизируются с прецизионными атомными часами, установленными на спутниках. Это позволяет обеспечить точность измерения времени от микро- до наносекунд.

Имея сигналы от минимум трех спутников, GPS-приемник может определить широту и долготу своего расположения на местности – это называется двумерной фиксацией. Если же спутников четыре или более, то GPS-приемник может определить положение в трехмерном пространстве, т. е. указать широту, долготу и высоту. Постоянно отслеживая местоположение в течение некоторого времени, GPS-приемник также может рассчитать скорость и направление движения (имеется в виду так называемые «наземная скорость» и «наземный курс»).

Обычные гражданские GPS-приемники обеспечивают точность от 10 до 100 м в зависимости от количества видимых спутников и их геометрии. Однако точность даже обычных гражданских GPS-приемников может быть увеличена до 4 м и более (в ряде случаев – до 1 м) с помощью дифференциальной GPS (DGPS). DGPS использует дополнительный фиксированный в одной точке GPS-приемник для определения коррекции спутниковых сигналов. В настоящее время в мире существует несколько бесплатных и платных служб, оказывающих услуги по DGPS. Так, например, Береговая охрана США и Инженерный корпус Армии США передают GPS-коррекции через морские радио-буи. Они работают в диапазоне 283.5–325.0 кГц для бесплатного использования. Платные DGPS-службы работают в УКВ-диапазоне или осуществляют вещание через спутники.

Точность определения координат также зависит от класса используемого GPS-приемника и может составлять от 10–50 см (Trimble 4800) до 5–15 м (приемники фирмы GARMIN). В GPS-приемниках реализована функция внутренней памяти, которая позволяет сохранять путевые точки и маршруты с заданным именем и зафиксированными координатами.

Для выгрузки данных из GPS-приемника используется различное программное обеспечение. Применяются программы Garmin (PCX), MapSource, Waypoint+ и др. Обычно в результате этой процедуры создается текстовый ASCII-файл с разделителями определенной структуры, передающий информацию о сохраненных точках, треках или маршрутах. ASCII-файл при необходимости можно просмотреть и отредактировать с помощью любого текстового редактора. Все GPS-приемники по умолчанию настроены на международную систему координат WGS-84. Для использования других систем координат необходимо вводить соответствующие поправки.

Современные GPS-приемники имеют память, способную вместить несколько тысяч точек маршрута с развернутым описанием каждой из них, они могут работать от сигналов GPS (США) и системы «Глонасс» (GLONASS) (Россия), оснащаются жидкокристаллическими экранами для визуализации местоположения на фоне встроенной карты и т. д. В 2004 г. США планируют реализацию программы по модернизации спутников, в ходе которой будут запущены восемь модернизированных аппаратов GPS-2RM, которые заменят устаревшую орбитальную технику. На смену GPS-2RM придут спутники GPS-2F, а к 2012 г. планируется начать развертывание спутниковой навигационной системы третьего поколения GPS-3.

2.4. Данные САПР

Модель данных САПР (т. е. систем автоматизированного проектирования) – это одна из первых компьютерных моделей, с помощью которой начали создавать цифровой картографический материал. Ее основой являются точки, линии и полигоны. Данные хранятся в виде файлов. С ними также может быть связана некоторая атрибутивная информация, но основой все же являются векторные данные, которые только графически описывают местность на карте.

В настоящее время значительное количество исходных данных для ГИС (например, планы населенных пунктов, чертежи инженерных коммуникаций и др.) выполнены в САПР. В этой связи поддержка ГИС распространенного формата данных САПР – DXF, является необходимостью.

2.5. Геодезические технологии

Самый важный этап в создании ГИС – это сбор данных для нее. От точности, достоверности и актуальности этих данных всецело зависит эффективность всей системы. При сборе данных для ГИС непосредственно на местности необходимым является получение корректной и достоверной информации. Использование современных технологий топографо-геодезических работ позволяет автоматизировать сбор информации в полевых условиях для ее дальнейшего использования в ГИС.

Наиболее эффективными методами при выполнении геодезических работ на местности является использование электронных геодезических приборов (GPS-приемники, тахеометры, цифровые нивелиры), которые позволяют исключить такие характерные для работы с оптическими приборами источники ошибок, как снятие отчета, диктовка, запись, перенос данных из полевых журналов в вычислительную ведомость, вычисления [18]. Так как результаты измерений электронными приборами представлены в цифровом виде, то с использованием встроенного в приборы программного обеспечения автоматически в полевых условиях выполняются такие задачи, как уравнивание теодолитных ходов, преобразование координат, вычисление площади и др., что значительно повышает качество получаемых материалов.

Использование электронных тахеометров при топографических съемках позволяет не только измерять горизонтальные и вертикальные углы и расстояния, но и кодировать полевую информацию, которая в дальнейшем оперативно обрабатывается на компьютере. Безотражательные модели тахеометров позволяют производить измерения до объектов, на которые трудно или невозможно установить отражатель, осуществлять съемку дорог без перекрытия движения по ним. Особый интерес представляют приборы для роботизированных измерений с автоматическим поиском отражателя, рассчитанные на проведение работы одним человеком. Существенно расширить возможности электронных тахеометров можно с помощью карманного компьютера, например Psion Organiser II с пакетом программ Geodos фирмы Viker Data AB, Швеция [10].

3. Организация информации в ГИС

3.1. Географические объекты

Согласно существующей терминологии в ГИС любой конкретный или абстрактный объект реального мира, который может быть определен однозначным содержанием и границами и описан в ГИС в виде набора геоданных, носит название реального пространственного объекта (Spatial Entity Object) или географического объекта (Geographic Entity) [39]. Географические объекты в ГИС представляются в виде набора пространственных и атрибутивных данных с общим названием географические данные (Geographic data).

Географические данные содержат четыре интегрированных компонента:

- § Географическое положение (размещение) пространственных объектов представляется 2-х, 3-х или 4-х мерными координатами в географически соотнесенной системе координат (широта/долгота).
- § Атрибуты – свойство, качественный или количественный признак, характеризующий пространственный объект (но не связанный с его местоуказанием).
- § Пространственные отношения определяют внутренние взаимоотношения между пространственными объектами (например, направление объекта А в отношении объекта В, расстояние между объектами А и В, вложенность объекта А в объект В).
- § Временные характеристики представляются в виде сроков получения данных, они определяют их жизненный цикл, изменение местоположения или свойств пространственных объектов во времени.

3.2. Пространственная информация в ГИС

Пространственные данные (Spatial Data) или геоданные (Geodata) – это набор данных, которые индивидуально или в определенной совокупности определяют географическое положение и форму реальных пространственных объектов [8]. Для представления пространственных данных в ГИС используются формализованные системы представления географических данных, т. е. определенные способы цифрового описания пространственных объектов.

Наиболее распространенными способами цифрового описания пространственных объектов являются:

- § векторное представление (точки, линии, полигоны);
- § растровое представление (ячейки, сетки);
- § грид-модель;
- § TIN-модель и др.

Существуют способы и технологии перехода от одних способов цифрового описания к другим (например, растрово-векторное преобразование, векторно-растровое преобразование и т. д.).

3.3. Векторный способ цифрового представления пространственных данных

Векторная модель географических данных (Vector Geographic Data Model) – это способ представления географических данных в базе данных ГИС в виде задания пар прямоугольных координат точек (X,Y), которые определяют начало и направление вектора (элементарную дугу). Последовательность дуг образует линейный пространственный объект базы данных ГИС. Каждый линейный объект определяется упорядоченным набором пар координат точек. В свою очередь, набор замкнутых линейных объектов образует полигон – площадной пространственный объект базы данных ГИС [39].

В векторной модели данных ГИС реальные географические объекты представляются в виде графических примитивов. Например, определенные географические объекты могут быть представлены точками (колодец, водонапорная башня, скважина и др.). В русскоязычной литературе по ГИС-технологиям точка (Point) – это элементарный геометрический объект географической базы данных ГИС нулевой размерности, который определяет местоположение соответствующего точечного реального пространственного объекта [39].

Соответственно, реальные географические объекты линейной протяженности (дороги, реки, трубопроводы и др.) моделируются в ГИС в виде дуг. Дуга (Arc) – это элементарный геометрический объект географической базы данных ГИС, который определяет местоположение соответствующего линейного реального пространственного объекта или его части, а также границы полигона или ее фрагмента.

Площадные географические объекты (земельные участки, озеро, постройка и др.) представляются полигонами. Полигон (Polygon) – это элементарный геометрический объект географической базы данных ГИС, который определяет местоположение соответствующего площадного реального пространственного объекта. Менее распространенными классами графических примитивов, как, например, в ГИС ARC/INFO, являются секции, маршруты, регионы, границы простирающихся покрытия [1].

Векторная графика обрабатывается компьютером как идеальные геометрические фигуры, которые можно масштабировать, вращать и производить другие действия, при этом изменяются лишь координаты вершин отрезков и параметры кривых. К числу преимуществ представ-

ления пространственных объектов ГИС векторными моделями относятся компактная структура, качественная графика, топология.

3.4. Модели организации связи между пространственными объектами: векторно-нетопологическая модель, векторно-топологическая модель

Векторно-нетопологическое представление данных – это цифровое представление точечных, линейных и полигональных пространственных объектов в виде набора координатных пар, с описанием только геометрии объектов. Векторно-топологическое представление (линейно-узловое представление) – это разновидность векторного представления линейных и полигональных пространственных объектов, описывающего не только их геометрию, но и топологические отношения между полигонами, дугами и узлами.

Топология – это математическая дисциплина, занимающаяся определением пространственных связей. Топология в ГИС определяется как пространственные взаимоотношения между смежными или близкорасположенными объектами [49]. Топологические структуры данных в ГИС более предпочтительны, так как они обеспечивают наиболее логичный (автоматизированный) путь для проведения оцифровки, исправления ошибок и артефактов; сокращают объем хранимых данных по полигонам, поскольку границы между смежными полигонами хранятся один раз (не дублируются); обеспечивают продвинутый пространственный анализ таких отношений, как смежность, связность и включение.

Например, в ГИС ARC/INFO реализуются три основные топологические концепции:

- § Дуги соединяются между собой в узлах (связность).
- § Дуги, ограничивающие фигуру, определяют полигон (определение фигуры).
- § Дуги имеют направление, а также левую и правую стороны (непрерывность).

Соответственно, для определения отношений между пространственными объектами используются три топологических принципа: связность, замкнутость и смежность. Например, ГИС ARC/INFO хранит координаты только для точек, дуг и узлов и использует топологические отношения между ними для определения полигонов и сетей. В

свою очередь, полигоны и сети являются материалом для построения регионов и маршрутов. Связность определяется линейно-узловой топологией, т. е. дуги соединяются только в узлах. Набор таких дуг может определять сеть.

Для определения полигона используется полигональная топология и его площадь. Полигон задается как упорядоченный набор соединяющихся дуг, причем первая и последняя дуги полигона должны иметь общую точку. Каждая дуга имеет признак правого и левого полигонов. Маршруты определяются как серия дуг, однако первая и последняя дуги не обязательно должны иметь общий узел. Регионы представляются набором полигонов.

По определению линейно-узловой топологии внутренние точки (пары x, y), называемые вершинами (vertices), задают форму дуги. Конечные точки дуги называются узлами (nodes). Каждая дуга имеет два узла: начальный узел (from-node) и конечный узел (to-node). Дуги могут соединяться только в конечных точках. ARC/INFO определяет связанность дуг по наличию общего узла.

Например, на приведенной иллюстрации (рис.1) показано, что дуги 3,4,5 и 6 связаны между собой узлом 3. Теперь компьютеру известно, что, продвигаясь по линии 5, можно повернуть на линию 3, потому что они имеют общий узел 3, однако повернуть непосредственно с линии 5 на линию 9 невозможно, так как линии 5 и 9 не имеют общих узлов.

Соответственно, полигоны представляются последовательностями координат x, y , которые соединяются, образуя границу площадного объекта. ГИС ARC/INFO хранит дуги, определяющие полигон, а не замкнутые наборы пар координат x, y . Список дуг, образующих каждый полигон, также хранится и при необходимости используется для создания полигона.

Например, на приведенной иллюстрации (рис. 2) дуги 4, 6, 7, 10 и 8 составляют полигон 2. Хотя дуга может входить в списки дуг нескольких полигонов (например, дуга 6 входит в списки полигонов 2 и 5), все же каждая из них хранится только в одном месте. Такой способ хранения дуг уменьшает количество данных и исключает перекрывание границ соседних полигонов. Так как каждая дуга имеет направление (начальный и конечный узлы), ARC/INFO ведет список полигонов, находящихся слева и справа от дуги. Таким образом, полигоны имеющие общую дугу, являются смежными. На рис.2 полигон 2 примыкает

к линии 6 слева и полигон 5 – справа. Следовательно, полигоны 2 и 5 являются смежными.

Номера дуг	От узла	К узлу
1	2	1
2	1	4
3	1	3
4	2	3
5	4	3
6	3	6
7	4	7
8	5	6
9	6	7
10	2	8
11	6	8
12	8	7

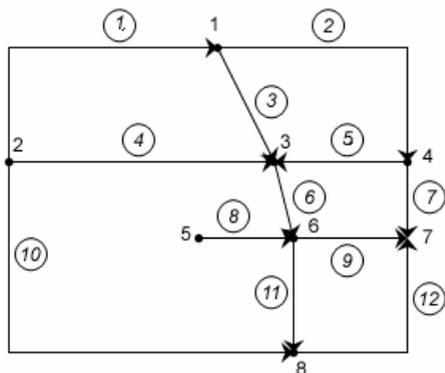


Рис. 1. Линейно-узловая топология ГИС ARC/INFO

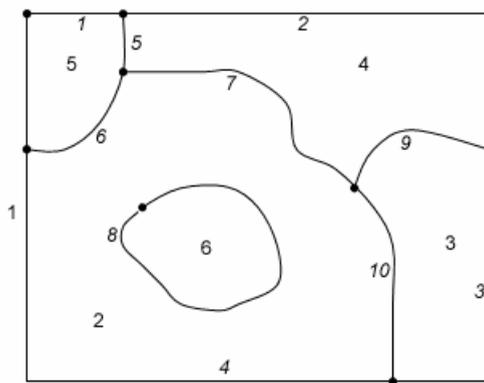


Рис.2. Полигональная топология в ГИС ARC/INFO

Необходимо отметить, что метка полигона I лежит вне изучаемой области. Этот полигон называется внешним или универсальным и

представляет территорию, внешнюю для всех полигонов карты. Такое представление пространства гарантирует, что каждая дуга всегда будет иметь левый и правый полигон.

Для автоматизации построения топологии между объектами в ГИС ARC/INFO используются команды BUILD и CLEAN [1]. Команда BUILD обрабатывает дуги, точки и полигоны, в то время как команда CLEAN – только дуги и полигоны. Также команда CLEAN находит пересечения дуг и помещает в эти точки узлы. Топология может быть реконструирована (перестроена) теми же командами, которыми пользуются при ее создании: BUILD и CLEAN. Однако рекомендуется после того, как была создана первоначальная топология, пользоваться, по возможности, командой BUILD. Вообще не рекомендуется использовать команду CLEAN более одного раза для покрытия, содержащего очень точные данные. Поскольку CLEAN использует данные значения длины висячих дуг и допуска неразличимости, координаты некоторых пересечений могут быть изменены.

3.5. Атрибутивная информация в ГИС

Качественные или количественные (неграфические) данные, представленные в виде свойств или характеристик, относящихся к определенному пространственному объекту базы данных ГИС, носят название атрибутивных данных (Attribute Data) [39]. Атрибутивные данные географических объектов представляются в форме специальных атрибутивных таблиц, состоящих из строк и столбцов. Таблица атрибутов объектов – это особый тип файла данных, хранящий информацию о каждой точке, дуге или полигоне. Она содержит стандартные атрибуты, появляющиеся в определенном порядке. Таблицы этого типа содержат все данные тематических атрибутов, связанные с пространственной информацией карты. В файле возможно любое число атрибутов, однако все строки имеют одинаковый формат и длину. Одни и те же колонки или поля в каждой записи всегда представляют определенный атрибут объекта. При формировании наименования полей атрибутов объектов, например в ГИС ARC/INFO, придерживаются определенных соглашений [1]. Название поля должно представлять любое имя, начинающееся с буквы и включающее до 10 алфавитно-цифровых символов или знак подчеркивания. В зависимости от содержания атрибутивных данных создается одно из возможных типов полей:

- § Символьное (Character) – любая комбинация алфавитно-цифровых символов.
- § Числовое (Number) – любые символы, которые составляют допустимое целое или вещественное число.
- § Дата (Date) – занимает 8 байт.

Например, если значение для некоторого атрибута содержит нецифровые символы, этот тип необходимо определить как символьный; если эти значения цифровые с десятичной точкой или без нее, то тип определяют как числовой. При этом любые цифровые значения могут храниться и как символьные атрибуты, но в этом случае с ними нельзя обращаться как с числами и производить с ними арифметические действия. Например, числовые значения 213 и 300 можно сложить и получить в сумме 513, тогда как эти же значения, представленные в виде строк символов «213» и «300» не могут быть просуммированы. Почтовые коды часто хранятся как числовые атрибуты, так как иногда необходимо манипулировать ими как числовыми значениями.

Размер атрибута объекта должен быть достаточным для самого длинного сохраняемого значения и составляет до 254 для символьного типа и до 16 для числового типа, включая знак числа и десятичную точку. Если определяется тип атрибута объекта как дата, то размер записи должен быть 8.

Атрибутивные данные являются важнейшими элементами аналитических возможностей ГИС. Для оперативной и корректной обработки данных ГИС принято, что каждая запись в таблице атрибутов объектов содержит описание одного объекта карты, рис. 3.

Каждая запись атрибутивной таблицы также содержит уникальный идентификатор объекта (ID), и эти идентификаторы должны иметь уникальные значения для каждой дуги и для каждого полигона.

Введение дополнительных атрибутов географических объектов может также включать связывание новой информации о каждом объекте с уже существующими записями. В этом случае записи в двух таблицах могут быть связаны благодаря общему атрибуту, чаще всего идентификатору (ID). Слияние по общему атрибуту связывает запись в одной таблице с соответствующей записью в другой таблице в том случае, если значение для общего атрибута является одним и тем же, рис. 4. В данном примере запись в связанном файле соединяется с соответствующей записью в таблице атрибутов объектов, когда их связующие атрибуты совпадают. Это связь один к одному. Однако могут

быть повторяющиеся значения в связанном файле данных. Их можно соединить или слить, используя соотношение или соединение.

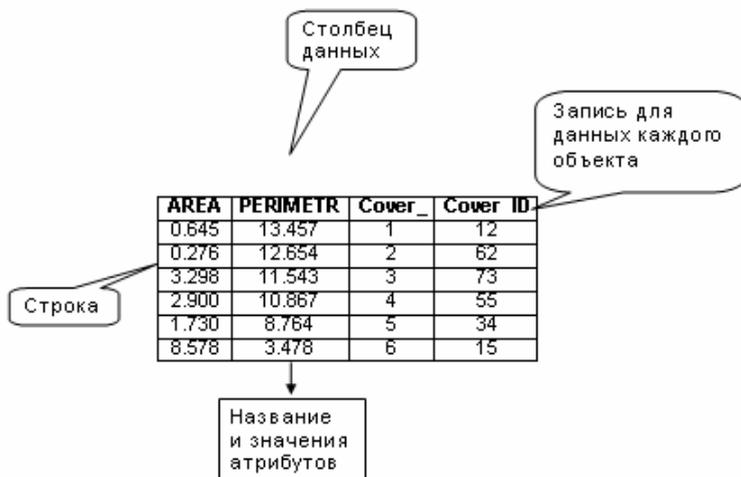


Рис. 3. Атрибутивная таблица площадного объекта в ГИС ARC/INFO

AREA	PERIMETR	LNDAT05	LNDAT05 ID	LNDAT05 ID	LUCODE
22.467	42.966	2	30	30	100
0.234	0.967	3	31	31	400
5.637	3.835	4	32	32	300
12.896	22.847	5	33	33	200
...

Рис. 4. Связывание двух таблиц по общему атрибуту – LNDAT05_ID в ГИС ARC/INFO

3.6. Понятие слоя, покрытия

В ГИС-технологиях (например, ARC/INFO) цифровая модель карты, формирующая единицу хранения векторной базы картографических данных ГИС, называется покрытием (Coverage) [1]. Покрытие хранит географические объекты первичного уровня (точки, дуги, узлы,

полигоны) и вторичного уровня (координаты углов, аннотации и проч.), рис. 5.

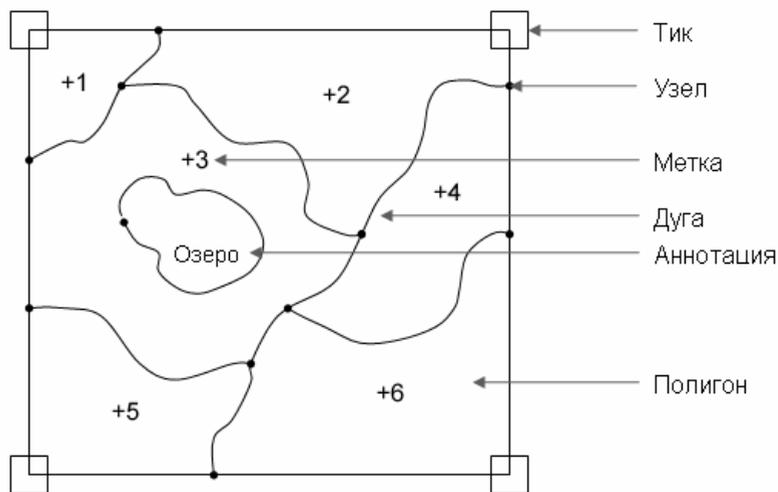


Рис. 5. Некоторые из типичных классов объектов покрытия в ГИС ARC/INFO [1]

Каждая точка в ARC/INFO описывается единственной парой координат x , y и внутренним порядковым номером. Координаты точек находятся в файле с именем LAB. Для хранения атрибутивных данных точек предназначена атрибутивная таблица точек, имеющая имя PAT. Для каждой точки в таблице существует одна запись. Запись в таблице связана с точечным объектом посредством порядкового номера. Таблица PAT содержит четыре поля:

- § AREA – содержит площадь полигона. Для точечных объектов значение поля равно 0.
- § PERIMETER – содержит периметр полигона. Для точечных объектов значение поля равно 0.
- § <COVER># – внутренний порядковый номер (т. е. номер записи) точечного объекта в файле LAB (так называемый системный идентификатор).
- § <COVER>-ID – номер, присвоенный точечному объекту пользователем (пользовательский идентификатор).

Дуги хранятся в двух файлах покрытия: ARC и AAT. Файл ARC содержит одну запись для каждой дуги. Каждая дуга содержит пользовательский идентификатор дуги USER-ID, информацию о ее положении и форме, выраженной сериями точек с координатами x , y от начального до конечного узла (т. е. в форме линейно-узловой топологии) и номера правого и левого полигонов. Если покрытие не имеет полигонов, эти номера равны 0. Описательная информация хранится в атрибутивной таблице дуг (AAT). Каждой дуге покрытия соответствует одна запись в таблице. Запись таблицы связана с объектом внутренним порядковым номером, который имеется у каждой дуги.

Полигоны представляются последовательностями координат x , y , которые соединяются, образуя границу площадного объекта. Некоторые ГИС-системы хранят полигоны в этом формате. Однако, ARC/INFO хранит дуги, определяющие полигон, а не замкнутые наборы пар координат x , y . Список дуг, образующих каждый полигон, также хранится и при необходимости используется для создания полигона (например, при его рисовании). Дуга может входить в списки дуг нескольких полигонов, однако каждая из дуг хранится только в одном месте. Такой способ хранения дуг уменьшает количество данных и исключает перекрывание границ соседних полигонов. Так как каждая дуга имеет направление (начальный и конечный узлы), ARC/INFO ведет список полигонов, находящихся слева и справа от дуги. Таким образом, полигоны, имеющие общую дугу, являются смежными. Первый номер присваивается полигону, который лежит вне изучаемой области. Этот полигон называется внешним или универсальным и представляет территорию, внешнюю для всех полигонов карты.

3.7. Геореляционные отношения. Связывание объектов и атрибутов в ГИС

Геореляционная модель используется для хранения географической информации. В ГИС выделяют два типа данных. В одной группе файлов данные содержатся в виде простых записей с пространственной информацией (координаты x и y), топологией и уникальным идентификатором для связи с табличными записями, хранящимися в другой группе файлов. Эта первая группа файлов часто называется файлами пространственных данных. Вторая группа файлов хранит атрибуты пространственных данных в форме таблиц, состоящих из строк и

столбцов. Т. е. в геореляционной модели данных ГИС реализуется принцип содержания в одном тематическом слое или покрытии ARC/INFO как пространственной (т. е. положение географических объектов), так и атрибутивной (описательной) информации о географических объектах [1], рис. 6.

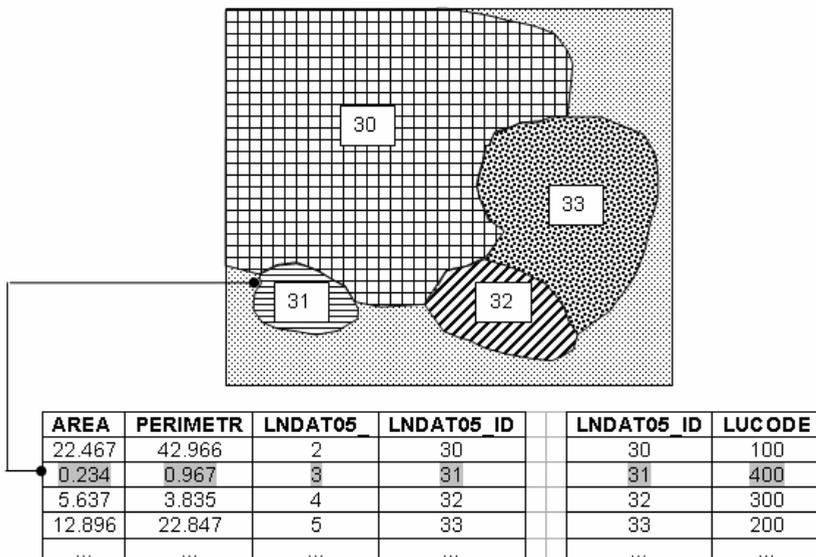


Рис. 6. Геореляционная модель данных в ГИС ARC/INFO [1]

Дополнительными примерами векторных геореляционных моделей, применяемых в ГИС, являются шейп-файлы (shapefiles), используемые в продуктах компании ESRI Inc. или обменный формат MIF/MID компании MapInfo.

3.8. Растровый способ цифрового представления пространственных данных

Растровая модель географических данных (Raster Geographic Data Model) – это способ представления географических данных в базе данных ГИС в виде равномерной ячеистой структуры, формирующей пря-

моугольную матрицу, в которой каждый элемент принимает определенное значение, присущее реальному пространственному объекту [39].

Растровая модель характерна тем, что разбивает всю территорию на элементы регулярной сетки, или ячейки, при этом каждая ячейка содержит только одно значение. Эта величина может, например, выражать яркость земной поверхности (для снимков дистанционного зондирования) или быть признаком принадлежности к тому или иному типу объектов (для растровых карт).

К достоинствам растровой графики относятся: техническая готовность внешних устройств для ввода изображений (к ним относятся сканеры, видеокамеры, цифровые фотокамеры, графические планшеты); фотореалистичность (можно получать живописные эффекты, например туман или дымку, добиваться тончайшей нюансировки цвета, создавать перспективную глубину и нерезкость, размытость и т. д.); простая структура данных; эффективные моделирующие функции при использовании в ГИС.

К недостаткам растровой графики можно отнести то, что при трансформации изображения (повороты, наклоны и др.) в графике наблюдаются существенные искажения. В растровой графике также отмечается невозможность увеличения изображений для рассмотрения деталей, т. е. увеличение точек растра визуально искажает иллюстрацию и делает ее грубой (пикселизация).

В геоинформационных системах реализуются растровые модели в виде файла изображения, в заголовке которого указываются данные о географических координатах и проекции изображения. Примерами геоинформационного растрового формата могут служить файлы типа .img компаний ERDAS или GeoTIFF. В растровых форматах представляются аэрокосмические снимки земной поверхности, тематические карты, описывающие непрерывные свойства явлений, модели рельефа.

При выполнении некоторых сложных аналитических функций векторные данные могут переводиться в растровую форму как более удобную для выполнения задачи, а результаты потом опять преобразуются в «вектор». Таким образом, можно сказать, что растр и вектор – это две взаимодополняющие друг друга модели данных, выбор между которыми зависит от решаемой задачи [21], рис. 7. Учитывая, что в настоящее время ГИС все чаще используются как средство серьезного анализа и моделирования – интерес к растровой модели данных ГИС

возрастает [27]. Например, растровые модели в ГИС являются основным способом представления непрерывно распределенных признаков (поля загрязнений, климатические характеристики, почвенно-растительный покров, геоморфологические особенности местности и т. д.) для выполнения анализа и моделирования.

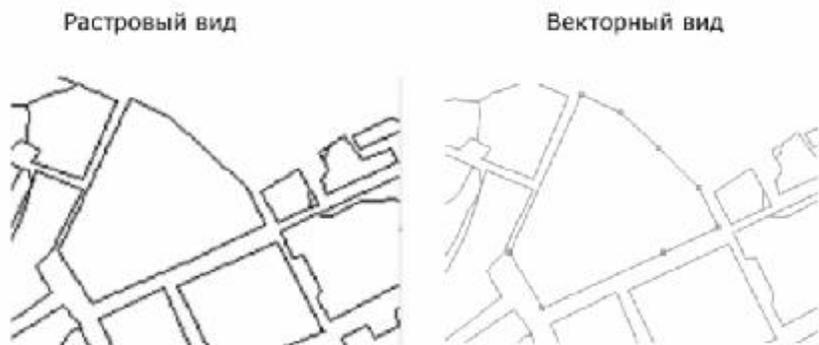


Рис. 7. Растровая и векторная модели пространственных данных, используемые в ГИС

3.9. Гриды как способ цифрового представления пространственных данных

Одним из способов представления пространственных данных в ГИС ArcView и ARC/INFO является грид [1]. Название грид обозначает структуру географических данных, основанную на ячейках. Грид описывает пространственные изменения поверхности. Если векторное покрытие (тема) хранит модели географических объектов как серии точек с координатами x , y и топологические отношения между объектами, то грид хранит их как матрицу ячеек из строк и столбцов. Ячейка является первичным строительным материалом грида, рис. 8.

Таким образом, грид относится к числу так называемых регулярных моделей данных ГИС (регулярная сеть, Regular Grid). По стандартизированному определению регулярная сеть – это способ организации географических данных в базе данных ГИС в виде множества равных по размерам и территориально сопряженных элементов ячеек, упорядоченных в виде строк и столбцов. Географическое местоположение

каждого элемента (x, y) определяется порядковыми номерами соответствующих строк и столбца [39].

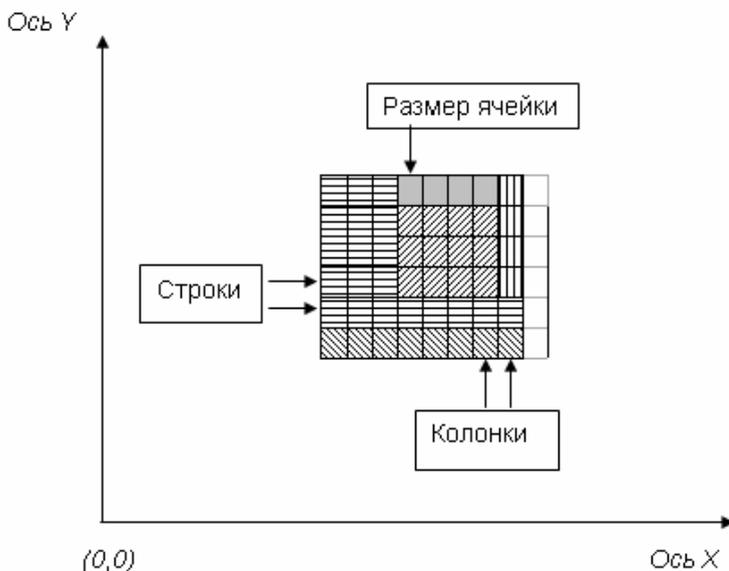


Рис. 8. Грид модели данных в ГИС ArcView

Каждая ячейка грида представлена квадратом, размер которого имеют все ячейки грида, и каждой из них приписано числовое значение, определяющее некоторую величину поверхности в данной точке. Значения ячеек могут быть 32-х разрядными целыми величинами или действительными (с плавающей запятой) числами. Строки и столбцы соответственно параллельны осям X и Y, так как размер ячеек одинаков, положение и форма объекта легко определяется по номерам ячеек в строках и столбцах. Каждая ячейка грида окружена восемью соседними ячейками. Ячейки идентифицируются по их позициям в гриде. В качестве точки привязки обычно используется верхний или нижний левый угол грида. Зная местоположение этой точки и размер ячейки грида, всегда можно определить область географического пространства, попадающего в любую ячейку.

Построение грида происходит быстро. Ячейки имеют квадратную форму и располагаются стопкой друг над другом, что удобно для овер-

лейных операций. Оверлейные операции (операции наложения) для векторных покрытий, когда происходит поиск пересекающихся дуг нескольких покрытий, являются гораздо более сложной задачей, рис. 9.

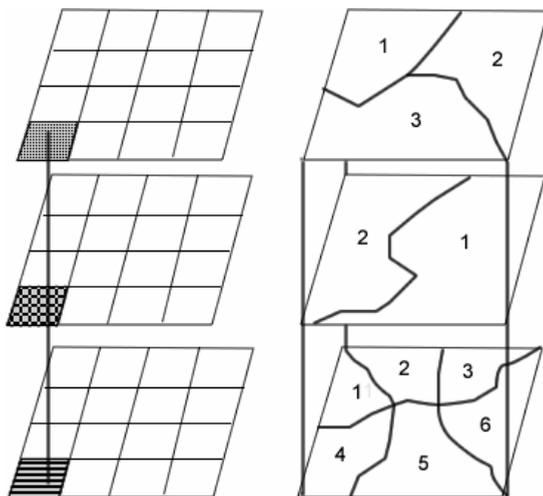


Рис. 9. Пример оверлейных операций (операций наложения) для гридов и векторных моделей в ГИС ArcView [1]

Гриду может быть приписана дополнительная информация, например реальная координатная система. Координатная система грида та же, что и для остальных наборов географических данных. Собственная координатная система грида определяется размером ячейки, количеством строк и столбцов и координатами X, Y верхнего левого угла грида.

Для гридов не существует ограничений, которые присущи многим структурам данных, основанных на ячейках – даже для очень больших гридов. Число строк и столбцов грида не ограничено. Очень большие гриды автоматически разбиваются на меньшие прямоугольные блоки (так называемые тайлы), рис. 10.

Структура грида, представленная тайлами, оптимизирует как произвольный, так и последовательный доступ к его ячейкам. Для каждого блока программное обеспечение производит операцию сжатия, зависящую от типа значений ячеек грида. Схемы сжатия одинаково хорошо

работают с однородными дискретными и с неоднородными непрерывными данными.

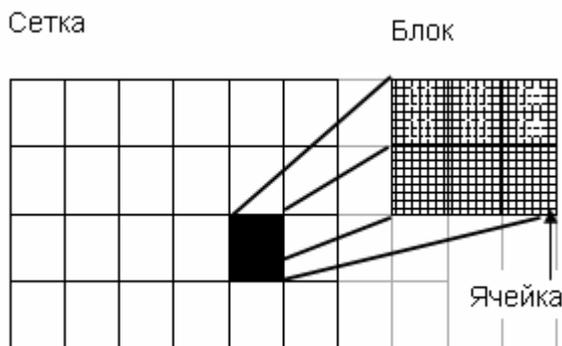


Рис. 10. Тайловая система гридов [1]

Сжатие данных уменьшает требования к их хранению и существенно увеличивает скорость доступа к ним в операциях отображения и анализа для очень больших файлов грида.

Поскольку структура данных грида основывается на ячейках, операции с такими географическими объектами, как точки, линии и полигоны, неэффективны при использовании грида данных. Например, невозможно провести анализ линейной сети средствами грида или организовать управление информацией о земельных участках, так как данные о них строго привязаны к областям с четкими границами.

Часто вызывают проблемы разрешение грида. Векторные покрытия имеют максимальное разрешение и точность, необходимые для приемлемого представления географических объектов. Например, границы дорог, рек, лесных массивов и других имеют четкие очертания в покрытиях. Эти же границы в представлении грида обычно генерализованы. Единожды созданный грид имеет заданное на этапе его построения разрешение, и оно не может быть больше увеличено, а лишь еще более генерализовано. Чтобы создать новый грид, имеющий меньший размер ячеек, необходимо построить его вновь из исходных данных, в качестве которых обычно выступает покрытие.

Гриды являются геореляционными моделями – т. е. они осуществляют связь пространственных и атрибутивных данных, что является

базисом для представления объектов и их моделирования. Атрибуты объекта связаны с его географической формой и положением посредством уникального идентификатора (ID). Гриды могут иметь ассоциированную с ними атрибутивную информацию, хранимую в виде таблиц. Атрибуты грида хранятся в атрибутивной таблице значений (VAT), рис. 11.

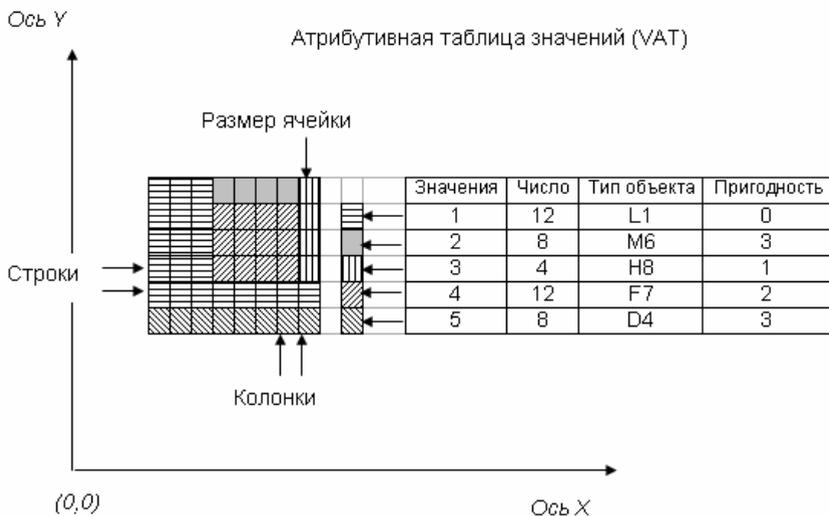


Рис. 11. Атрибутивная таблица грида (VAT)

VAT всегда по меньшей мере содержит два поля: VALUE и COUNT – первое для значений ячеек грида, второе – для количества ячеек, имеющих одинаковые значения. Каждому уникальному значению ячеек соответствует одна запись таблицы. В таблицу можно добавлять дополнительные поля. Точно так же, как и с атрибутивной таблицей покрытия, с VAT можно связывать дополнительные таблицы данных. Таблица VAT отличается от атрибутивной таблицы покрытия, поскольку содержит данные о значениях ячеек, а не о географических объектах. Одна запись в таблице VAT относится ко всем ячейкам, имеющим одинаковое значение, в то время как одна запись в атрибутивной таблице покрытия относится к конкретному объекту с таким же идентификатором.

3.10. TIN как способ цифрового представления пространственных данных

В геоинформационных системах вида ArcView, ARC/INFO эффективно используется нерегулярная модель географических объектов [1]. По стандартному определению нерегулярная триангуляционная сеть (TIN – Triangulated Irregular Network) – это структура организации географических данных, описывающая трехмерную земную поверхность в виде связанных между собою общими вершинами и сторонами непересекающихся треугольников неправильной формы. Каждый треугольник сети определяется тремя координатами (x, y, z) его вершин [39]. TIN-модель является специфической векторной топологической моделью данных и выступает как альтернатива для растровой модели при представлении непрерывных поверхностей. Модели TIN полезны для представления поверхностей, имеющих большие изменения структуры и содержащих разрывы непрерывности.

Модель TIN представляет поверхность, как набор связанных треугольников, что отражено в ее названии «триангуляционная». Треугольники строятся из трех точек, принадлежащих к произвольным областям поверхности, что и подчеркивается прилагательным «нерегулярная». Наконец модель TIN создает сеть треугольников, сохраняя топологические отношения между ними. Эта модель отличается от растровой модели, в которой точки располагаются на регулярной сети.

Основными компонентами TIN являются треугольники, узлы и грани, рис. 12.

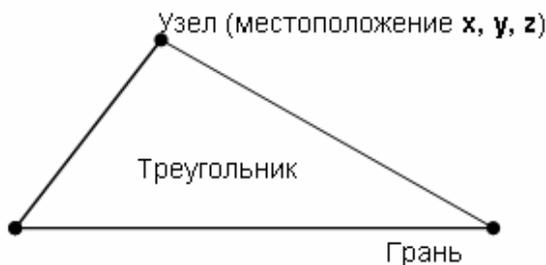


Рис. 12. Основные компоненты TIN модели пространственных данных

Треугольник имеет три и только три прямые стороны, что делает представление поверхности довольно простым. Каждый треугольник определяется тремя узлами и двумя или тремя соседними треугольниками и ему присваивается уникальный идентификатор. Грани треугольников выражены в модели неявно. Узлы представляют собой точки поверхности, имеющие координаты x , y и значение z . Это исходный материал для построения TIN. Треугольники формируются соединением каждого узла с двумя соседними. Грани образуют треугольники.

Точная структура TIN (т. е. какие узлы формируют конкретные треугольники) основана на определенных правилах триангуляции, которые контролируют процесс его создания. С гранями ассоциируется право- и левосторонняя полигональная топология для идентификации смежных треугольников. Исходными данными для построения треугольников являются множество точек, которые несут информационную составляющую и линии разрыва, укрепляющие структуру поверхности.

По границам линейных географических объектов (например, долины реки или по кромке обрыва) в модели TIN можно добавить линейные объекты, которые называются линиями разрыва. Линии разрыва укрепляют форму модели поверхности. Они всегда формируют грани треугольников и не могут быть удалены из структуры, рис. 13.

В процессе построения TIN множество точек превращаются в узлы и при этом по определенным правилам добавляются дополнительные узлы. Точки могут располагаться где угодно, и чем тщательней они отобраны на первоначальном этапе построения, тем точнее будет созданная модель поверхности.

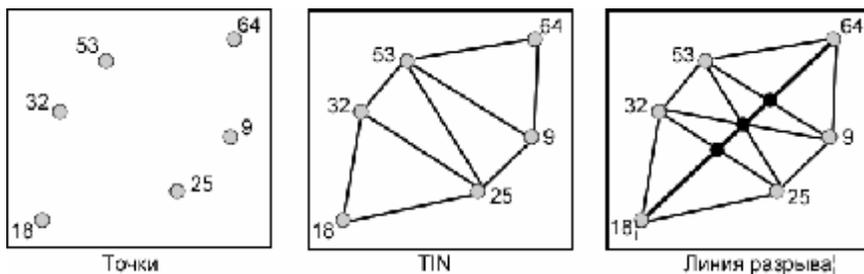


Рис. 13. Линии разрыва в TIN модели данных

Считается, что точки размещены удачно, если они отражают существенные изменения формы поверхности, например вершину холма, границы долины реки или кромку обрыва. Поскольку реальная поверхность содержит бесчисленное количество точек с координатами x , y , z , то для ее представления используется лишь ограниченный набор опорных точек.

В процессе создания TIN соединяются нерегулярно разбросанные точки поверхности. Каждая точка имеет значение, поскольку определяет область структурного изменения. Например, соседние с вершиной холма точки определяют ее склоны, соседние точки вдоль реки, за исключением точки резкого понижения ее уровня, определяют долину реки. Все эти точки, используемые для построения TIN, называются массовыми, рис. 14.

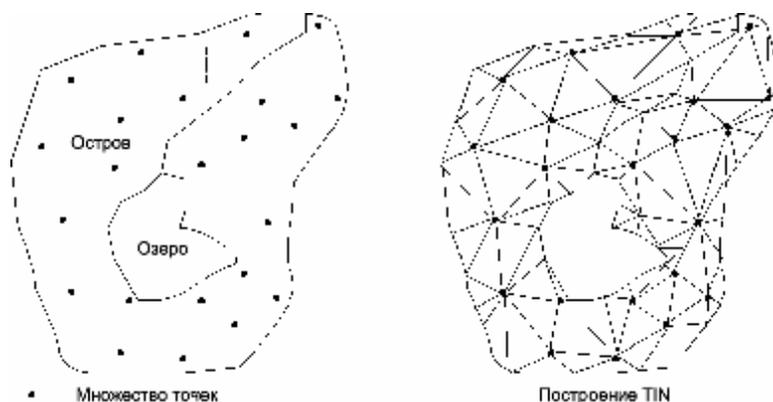


Рис. 14. Создание TIN поверхности по множеству точек и линиям разрыва

TIN, векторная и растровая модели данных, являются мощными средствами для моделирования земной поверхности. Применяя общую для всех моделей картографическую проекцию и масштаб и используя одну и ту же точку отсчета, можно быть уверенным, что заданные координаты будут указывать на одну и ту же область географического пространства. Это то, что называется географической связкой [1], рис. 15.

Важность географической связки состоит в том, что позволяет выбрать оптимальную модель данных для представления какой-то определенной области земной поверхности.

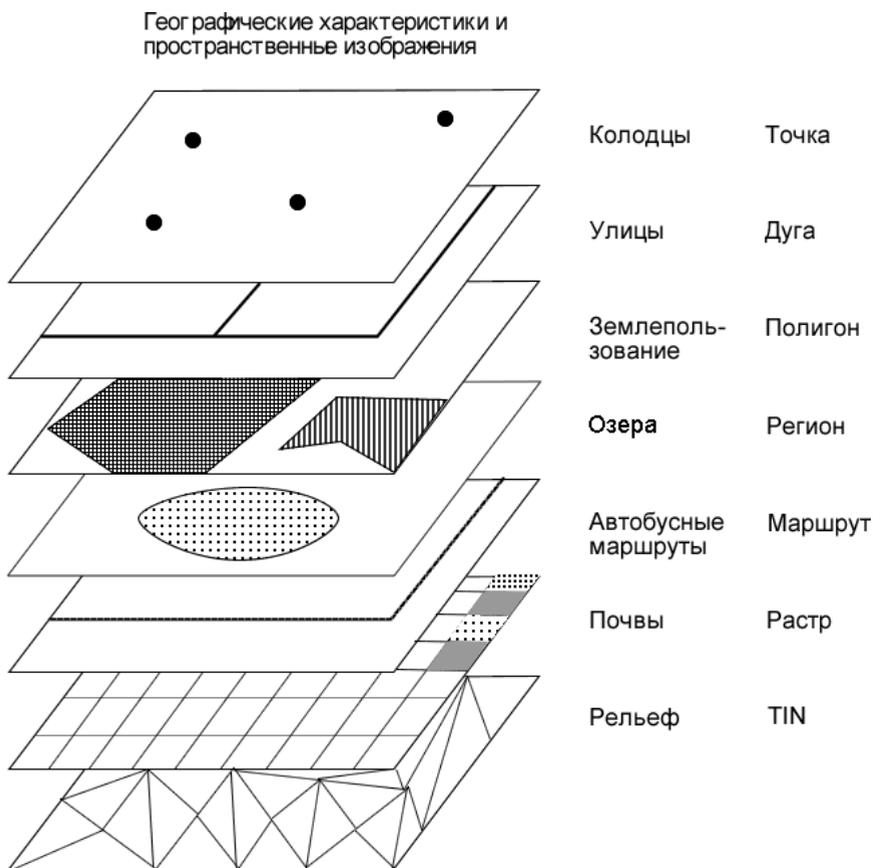


Рис. 15. Географическая связка, составленная из разных моделей данных ГИС для определенной местности

3.11. Объектно-ориентированный подход в ГИС

Истинная объектно-ориентированная ГИС представляет технологию нового поколения, которая заметно помогает разворачиванию эф-

фективных решений ГИС. Объект – обозначение пространственного элемента, который также называется геоэлементом, которому могут быть подчинена геометрия и тематика. Объект может быть ни растровым, ни векторным. Он может представлять оба или ни одного из этих типов значений. Объектный подход обеспечивает естественное решение интеграции растр/вектор. Кроме того, не имеется никакого различия между геометрическими и более традиционными атрибутивными данными.

Каждый объект принадлежит к классу объектов, свойства которого определяют объект. Соответственно объект состоит из набора данных и инструкций, которые он может исполнять. Это ведет к метабанкам данных, которые могут оптимально принимать отображения реального мира.

Объектная технология функционирует на основе концепции сообщений, которые могут быть посланы объектам. Класс объекта определяет как возможность получения сообщения, так и характер ответа. Во многих объектно-ориентированных системах сообщения называются методами, а ответы называются поведением.

Для реализации объектно-ориентированного подхода в ГИС необходим механизм для упрощения и организации определения классов объектов. Этот механизм представлен в концепции наследования. Наследование означает возможность определения нового класса в терминах существующих классов.

Объектно-ориентированный подход в ГИС обеспечивает ряд преимуществ при ее создании и эксплуатации. Так, например, при объектно-ориентированном программировании в ГИС создаются абсолютно пригодные для повторного использования объектные библиотеки с последовательным быстрым прототипированием специфических прикладных применений. Использование объектных библиотек обеспечивает масштабируемые характеристики для очень больших баз данных, что является результатом более содержательной модели данных и минимизации избыточной информации.

Общие объектные библиотеки, включающие как географические базы данных, так и информацию спецификаций приложений, могут быть установлены и многократно использованы в ГИС и допускают настройку на ситуации частных приложений.

Преимущества объектно-ориентированного подхода проявляются при решении таких проблем, как сетевой анализ, картографическая

генерализация, поддержание целостности больших сложных топографических баз данных.

3.12. Проекция и проекционные преобразования в ГИС

Проекционные преобразования в ГИС – это одна из наиболее сложных операций, поскольку требует достаточно глубоких картографических знаний. Опасность данного этапа создания ГИС заключается в том, что ошибки проектирования могут свести на нет всю предыдущую тщательную работу. Неправильно спроектированные карты будут безнадежно искажены. Очень важна правильная географическая привязка не только при использовании в ГИС отсканированных бумажных топографических и тематических карт, но и при работе с векторными данными, и при использовании данных дистанционного зондирования.

При работе в ГИС с данными мелких масштабов (1:1000 000 и мельче) или при работе в пределах одной системы координат или проекции значительных трудностей не возникает. Но при переходе к данным крупного 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 [4].

В этой связи теоретические знания и практические навыки о процессах формирования систем координат и перехода из одной системы координат в другую являются краеугольным камнем работы с ГИС-технологиями. В математическом аппарате ГИС-продуктов последовательно реализуются основные подходы и понятия проекционных преобразований.

Неправильная форма Земли (геоид) аппроксимируется некоторой регулярной поверхностью (т. е. такой, которую можно описать одной формулой), т. е. нерегулярная поверхность геоида аппроксимируется регулярным эллипсоидом. Для каждого участка геоида (каждой страны или региона) может быть подобран свой оптимальный эллипсоид. Для Земли в целом используется общеземной эллипсоид. Используемый в качестве поверхности относимости, эллипсоид в зависимости от соотношения длин его осей можно рассматривать в трех вариантах: сфера (все оси равны), эллипсоид вращения (две оси равны), трехосный эл-

липсоид (все оси – разные). Сфера используется только для мелкомасштабных карт (мельче 1:1 000 000).

Для топографических карт используется эллипсоид вращения, который образуется в результате вращения эллипса вокруг его малой оси. Он задается двумя параметрами – длинами двух различных полуосей **a** и **b** или (более распространенный случай) длиной большой полуоси **a** и коэффициентом сжатия **f**. Трехосный эллипсоид используется практически только для представления небесных тел неправильной формы, для представления земной поверхности в ГИС он не актуален (используется только в особо точных геодезических измерениях) [4].

До создания спутниковых геодезических систем параметры референц-эллипсоидов определялись в результате вычислительной обработки данных государственных и региональных геодезических сетей. Поскольку такие сети создавались на разных континентах, разными средствами и с разным уровнем точности, то на настоящий момент имеется более двух десятков референц-эллипсоидов, каждый из которых оптимален лишь для определенной части Земли. Для территории Беларуси таким эллипсоидом является эллипсоид Красовского, рассчитанный в 1940 г.

В настоящее время спутниковые геодезические системы позволяют наиболее точно определить параметры эллипсоида, аппроксимирующего земную поверхность и совместить его центр с центром масс Земли. В результате получается общеземной эллипсоид (World ellipsoid), который аппроксимирует поверхность Земли в целом. В США в настоящий момент используется общеземной эллипсоид WGS-84 (World Geodetic System 1984), в Беларуси и России – ПЗ-90 (Параметры Земли 1990 г.).

Используемая система геодезических параметров Земли ПЗ-90 имеет составной частью космическую геодезическую сеть, состоящую из 26 пунктов на территории бывшего СССР и построенную по результатам фотографических, доплеровских, радиодальномерных, лазерных и альтиметрических наблюдений геодезического спутника ГеоИК, дальномерных наблюдений ИСЗ ГЛОНАСС и ЭТАЛОН. Система ПЗ-90 является координатной основой в спутниковой навигационной системе ГЛОНАСС. Для навигационных целей системы координат ПЗ-90 и WGS-84 можно считать совпадающими. В последнее время в России создана и внедряется система координат СК-95.

Дополнительно можно отметить, что системы координат (datums) разделяются на геоцентрические и топоцентрические (национальные). В геоцентрической системе размеры эллипсоида, ориентация и положение его центра выбираются следующим образом:

- § объем эллипсоида предполагается равным объему геоида;
- § большая полуось эллипсоида лежит в плоскости экватора геоида;
- § малая полуось направлена по оси вращения Земли;
- § среднеквадратичное отклонение поверхности эллипсоида от поверхности геоида минимально по всей территории земного шара.

Используемая в ГИС WGS72 и сменившая ее WGS-84, а также российская SGS85 являются геоцентрическими системами координат на эллипсоидах WGS72, GRS80 и SGS85 соответственно. В системе спутниковой навигации NAVSTAR используется WGS-84, а в системе GLONASS - SGS85, табл.1.

Таблица 1

Параметры некоторых референц-эллипсоидов

Система координат	Референц-эллипсоид	Большая полуось, м	Обратное сжатие
WGS-84	WGS-84	6 378 137	298.257 223 563
СК-42	Красовского	6 378 245	298.300
ПЗ-90	SGS85	6 378 136	298.257 839 303

Топоцентрическая (национальная) система координат формируется таким образом, чтобы эллипсоид располагался для заданной территории при условии минимального среднеквадратичного отклонения поверхности эллипсоида от поверхности геоида. При этом на остальной части мира отклонения могут быть сколь угодно велики. В Беларуси используются несколько геодезических систем координат: Пулково 1942 г., 1963 г. и 1991 г. Система координат 1963 г. используется военными и параметры ее преобразования засекречены. В практике обычно используются карты, составленные в системе координат 1942 г. Система координат 1942 г. (СК-42) базируется на эллипсоиде Красовского.

От эллипсоидальных координат легко можно перейти к трехмерной прямоугольной системе координат с началом отсчета в центре эллипсоида (геоцентрическая система координат), и тогда переход от од-

ного эллипсоида к другому будет определяться связью геоцентрических систем координат этих двух эллипсоидов. 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 трем параметрам. В некоторых случаях для преобразования эллипсоидов используются более сложные уравнения многомерной регрессии.

При использовании различных эллипсоидов следует иметь в виду, что в настоящий момент точные и однозначные параметры связи имеются не для всех комбинаций эллипсоидов. 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. Причем 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 для ГИС из разных источников, необходимо получать вместе с ними также 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 [4].

Выполнять геометрические вычисления на плоскости проще, чем на криволинейной поверхности эллипсоида. Поэтому осуществляют проецирование референц-эллипсоида на плоскость, результатом чего является плоскость, принятая для обработки геодезических измерений, называемая картографической проекцией.

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 отсчета координат используется 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 датами (datum), жестко фиксируют систему геодезических координат относительно тела Земли. Для эллипсоида Краусовского такая точка задана в Пулково (центр круглого зала обсерватории), и этим задается основа Системы координат 1942 г.

Фактически, с точки зрения создания карт, нет принципиальной разницы между эллипсоидами, полученными разными методами, – в любом случае выполняется то или иное отображение референц-поверхности на плоскость. Выбор эллипсоида для ГИС определяется многими факторами, в том числе удобством использования совместно с другими системами (например, NAVSTAR (GPS) или ГЛОНАСС).

В Беларуси используется проекция Гаусса-Крюгера, в которой масштаб на осевом меридиане принят равным 1. Такие же по своей сути проекции, но с другими названиями применяются во многих странах. Наиболее употребляемая – UTM (поперечно-цилиндрическая проекция Меркатора). Таким образом, проекция Гаусса-Крюгера и Universal Transverse Mercator (UTM) – это разновидности поперечно-цилиндрической проекции (Transverse Mercator).

Воображаемый цилиндр, на который производится проецирование, охватывает земной эллипсоид по меридиану, называемому центральным (осевым) меридианом геодезической зоны. Геодезическая зона – это участок земной поверхности, ограниченный двумя меридианами. Обе проекции делят земной эллипсоид на 60 зон шириной 6° . Геодезические зоны нумеруются с запада на восток, начиная с 0° : зона 1 простирается с меридиана 0° до меридиана 6° , ее центральный меридиан 3° . Зона 2 – с 6 до 12° и т. д. В проекции Гаусса-Крюгера плоскость касается эллипсоида по центральному меридиану, масштаб (scale) вдоль него равен 1, рис. 16.

Систему Гаусса-Крюгера иногда называют зональной, потому что поверхность Земли делят меридианами на зоны и в каждой зоне принимается своя система координат. Положение точки в такой системе определяется прямолинейными отрезками по осям координат относительно начала координат, которым является пересечение осевого меридиана зоны и экватора. Осью абсцисс зональной системы координат является проекция осевого меридиана зоны на плоскость, а осью ординат – проекция экватора.

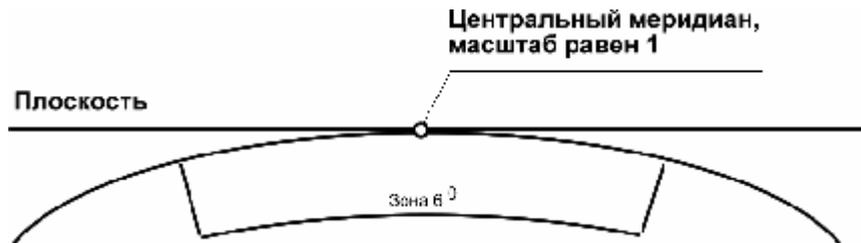


Рис. 16. Проекционные преобразования для проекции Гаусса-Крюгера

Положительное направление оси абсцисс – к северу от экватора, а ординат – к востоку от осевого меридиана. Для того чтобы избежать отрицательных значений ординат, в Беларуси принята ордината начала зональных координат, равная 500 000 м. Вычисленные таким образом ординаты называют преобразованными и перед их значениями указывают номер зоны.

Картографическая проекция Гаусса-Крюгера относится к виду равноугольных проекций. Положительным свойством ее является сохранение на карте подобия бесконечно малых фигур земной поверхности. Недостаток проекции Гаусса-Крюгера состоит в искажении на карте длин линий и размеров площадей относительно действительных их размеров на поверхности Земли.

Искажения увеличиваются с удалением от осевого меридиана зоны. Для того чтобы они были практически неощутимы, установлены основные размеры координатных зон в 6° (для топографических съемок в масштабах от 1: 10 000 и мельче) и в 3° (для съемок в масштабах от 1:5 000 и крупнее).

В необходимых случаях, например при строительстве городов и промышленных предприятий, производится выбор еще более узких зон с таким расчетом, чтобы на практике можно было пренебречь искажением длин линий местности в проекции Гаусса-Крюгера.

Проекция УТМ – это проекция на секущий цилиндр, где масштаб равен единице вдоль двух секущих линий, отстоящих от центрального меридиана на 180 000 м, рис. 17.



Рис. 17. Проекционные преобразования в проекции UTM

В проекции UTM цилиндр разворачивают в плоскость и накладывают прямоугольную километровую сетку с началом координат в точке пересечения экватора и центрального меридиана. Вертикальные линии сетки параллельны центральному меридиану, рис. 18.

Для того чтобы все прямоугольные координаты были положительны, вводится восточное смещение (false easting), равное 500 000 м, т. е. координата X на центральном меридиане равна 500 000 м.

В южном полушарии в тех же целях вводится северное смещение (false northing) 10 000 000 м. Важно понимать, что вертикали километровой сетки не ориентированы точно на север (за исключением линии на центральном меридиане), угол расхождения с меридианами может составлять до 3°. В табл. 2 приводятся сводные сравнительные показатели между проекцией UTM и Гаусса-Крюгера.

Таблица 2

Сравнение UTM и проекции Гаусса-Крюгера

Показатели	UTM	Гаусса-Крюгера
Ширина зоны	6 °	в России 6 °
Масштаб по центральному меридиану	0.9996	1.0000
Начальный меридиан	180 °	180 °
False Easting	500 000 м	500 000 м
False Northing (северное полушарие)	0 м	0 м
False Northing (южное полушарие)	10 000 000 м	10 000 000 м
Диапазон применения	80 °S – 84 °N	-

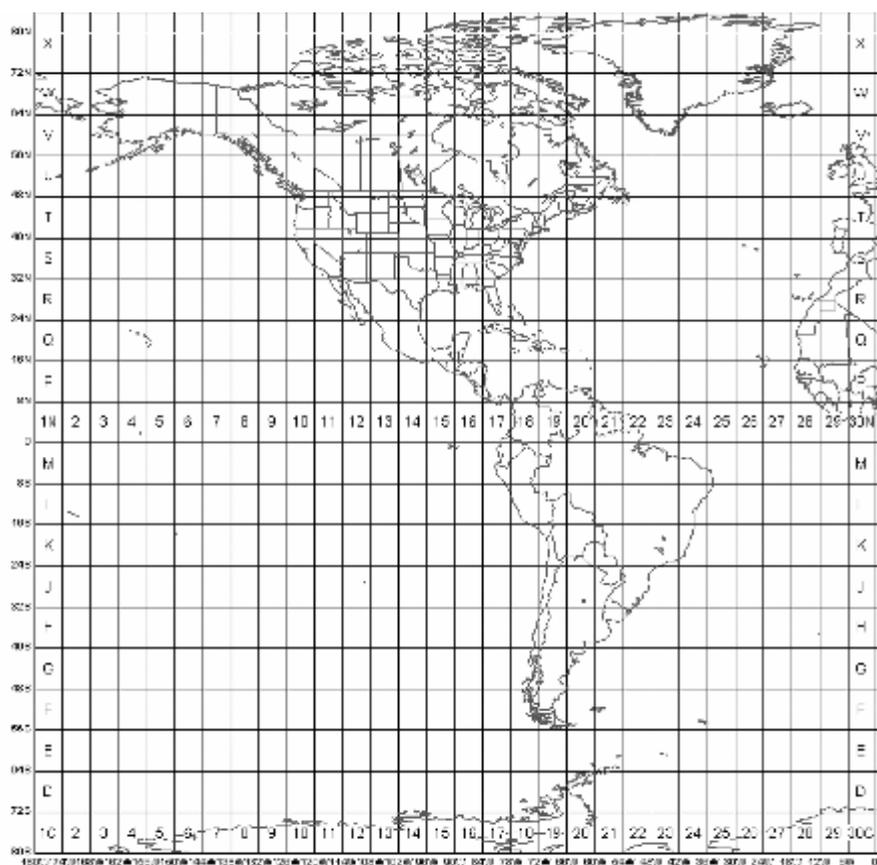
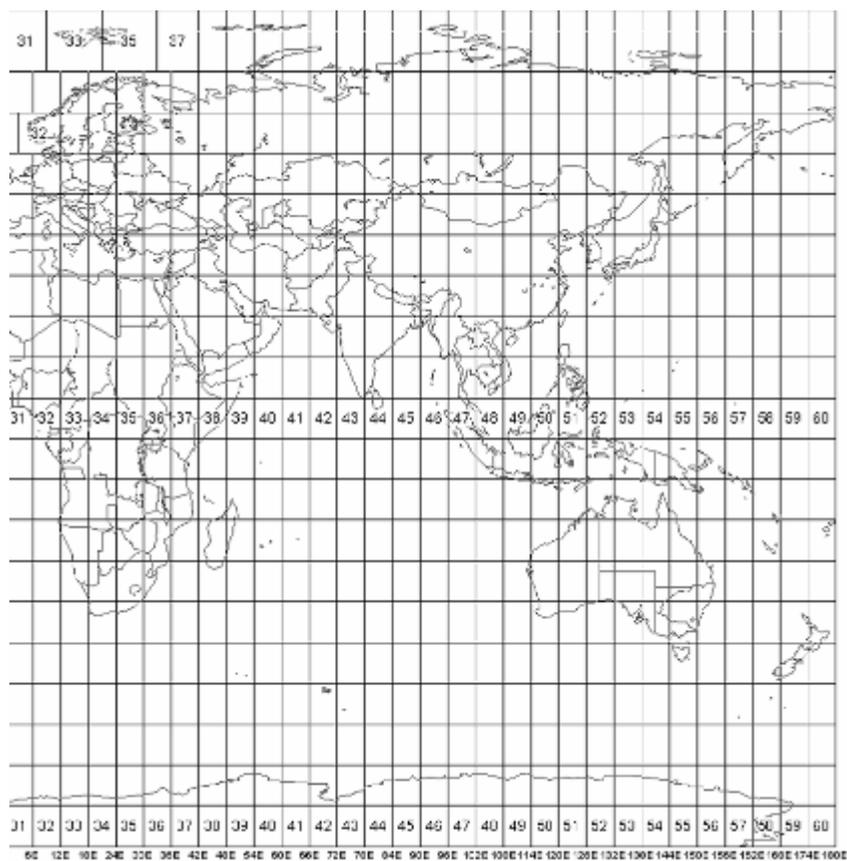


Рис.18. UTM зоны



по поверхности земного шара [52]

Как правило, программные ГИС-продукты имеют в своем арсенале функции пересчета сферических координат (градусов) в прямоугольные координаты различных проекций. Так, ГИС ARC/INFO поддерживает более 50 типов проекций, большинство из которых требует настройки со стороны операторов [1]. При этом наилучшим вариантом является хранение электронных карт с координатами в градусах.

В ГИС 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. То есть решается обратная задача проецирования. Если исходная и целевая проекции используют один и тот же референц-эллипсоид, то вторым шагом будет пересчет полученных географических координат в координаты целевой проекции, т. е. обычное прямое проецирование.

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).

С другой стороны, 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 непроецированные данные, то лучше ею воспользоваться [4].

Если исходная и целевая проекции используют разные референц-эллипсоиды или геодезические даты, то на втором шаге будет выполнен пересчет горизонтальных географических координат с одного эллипсоида на другой, а пересчет в целевую проекцию будет третьим шагом.

В пользовательском режиме, например при работе с ArcView, можно руководствоваться следующими правилами. Например, при

создании новых данных с бумажной карты в проекции Альберса рекомендуется установить для Вида проекцию Альберса (чтобы в Виде была та же проекция, что и у бумажной карты) и ArcView сохранит карту, которая цифруется, в десятичных градусах (долгота/широта). То есть когда установлена проекция, ArcView автоматически конвертирует цифруемые данные и запоминает их в десятичных градусах. Преимущество этого подхода заключается в том, что как только будет оцифрована карта, можно будет изменить ее проекцию на другую, поддерживаемую ГИС. Если не устанавливать свойства проекции Вида в ArcView, то программа будет хранить оцифрованную карту в проекции Альберса и в дальнейшем проекцию нельзя будет изменить для этой темы. То есть будучи оцифрованной в проекции Альберса, она не может быть изменена на другую проекцию, например UTM.

В заключение необходимо также упомянуть Постановление Правительства РФ от 28.07.2000 № 568 «Об установлении единых государственных систем координат», которое может иметь непосредственное отношение и к Беларуси. Согласно данному Постановлению с 1 июля 2002 г. при осуществлении геодезических и картографических работ должна использоваться единая государственная система геодезических координат 1995 г. (СК-95). До этого времени используется единая система геодезических координат, введенная постановлением Совета Министров СССР от 7 апреля 1946 г. № 760. Также устанавливается, что для геодезического обеспечения орбитальных полетов и решения навигационных задач используется геоцентрическая система координат «Параметры Земли 1990 г.» (ПЗ-90) [42].

3.13. Координаты. Ошибка регистрации тиков (RMS). Десятичные градусы

В наборах данных географических координат ГИС ARC/INFO значения могут храниться с одинарной и двойной точностью [1]. Одинарная точность подразумевает 7 значащих цифр для каждой координаты, что означает математическую точность ± 5 м при расстоянии 1 000 000 м. Двойная точность означает до 15 значащих цифр (обычно 13 или 14), что дает математическую точность менее одного метра на больших расстояниях.

ARC/INFO автоматически вычисляет среднеквадратичную ошибку (или ошибку регистрации – RMS) при использовании регистрационных

точек (тиков) для координатной регистрации карты и во время операций трансформации. Значение RMS представляет собой меру ошибки между исходным и новым расположением координат, вычисленным в процессе трансформации покрытия. Чем меньше ошибка RMS, тем точнее будет оцифровка и трансформация.

Для регистрации карты сохраняются координаты x, y регистрационных точек покрытия, которые затем используются для сравнения. Этот процесс определяет трансформацию координат, т. е. масштаб трансформации, угол поворота и смещение (т. е. сдвиг) по осям x и y. Затем эта трансформация применяется ко всем вводимым координатам, в результате чего они преобразуются в единицы покрытия.

Для поддержания высокой точности географических данных значение RMS не должно превышать 0.004 дюйма (или его эквивалента в используемой системе измерений). При меньшей точности данных значение может достигать 0.008 дюйма или эквивалентного значения, рис. 19.

В процессе геопривязки, когда используются широта и долгота, долгота соответствует x-координате, а широта – y-координате. Перед дальнейшей обработкой эти реальные координаты должны быть преобразованы из градусов, минут и секунд (DMS или DD MM SS) в десятичные градусы (DD).

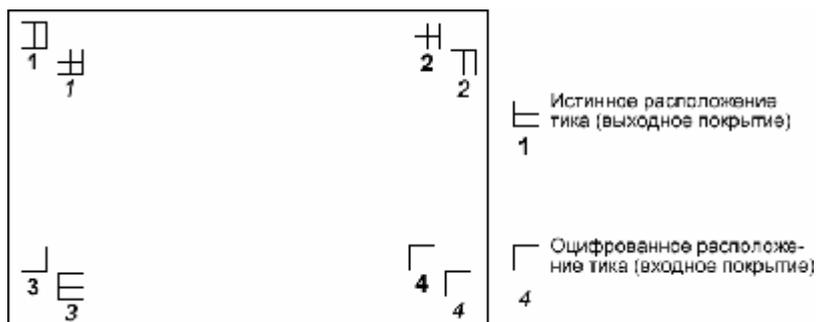


Рис. 19. Ошибка регистрации тиков при геопривязке покрытия в ГИС ARC/INFO [1]

Учитывая, что в минуте содержится 60 секунд, а в градусе – 60 минут, десятичные градусы могут быть вычислены по формуле:

Десятичные градусы = Градусы + Минуты/60 + Секунды/3600.

Например, в табл. 3 приведены как DMS, так и DD.

Таблица 3

**Пример пересчета реальных географических координат
в десятичные градусы**

DD MM SS	DD	DD MM SS	DD
26 31 54.354504	26.53176514	54 05 04.726356	54.08464621
27 41 11.502168	27.68652838	55 08 17.099592	55.13808322
27 45 24.278544	27.75674404	54 53 36.706056	54.89352946

Учитывая то обстоятельство, что ГИС ARC/INFO хранит координаты в десятичных градусах с двойной точностью, то при подготовке картматериала для ГИС информация по координатам должна сниматься с карт более крупного масштаба по сравнению с выполняемым проектом.

3.14. Геопривязка изображений в ГИС. Реперные точки. Мировой файл (WF)

Для простых инвентаризационных приложений геопривязка изображений, или векторных, растровых, TIN моделей не нужна. Однако таким системам не хватает аналитических возможностей ГИС и получения географической связки. То есть данные с корректной топологией и проекцией, но не имеющие геопривязки, не могут быть размещены в географическом пространстве так, чтобы они совпадали с геопривязанными данными из других покрытий, гридов, TIN.

Чтобы эффективно анализировать географические данные, они должны быть географически привязаны. Важным этапом производства электронной карты является перевод координат, в которых получена цифровая карта после цифрования, в реальные географические координаты. Это не потребуется, если при начале цифрования по растровой подложке вводятся координаты уже в реальных значениях координат.

В геоинформационных системах ArcView и ARC/INFO используется специальный алгоритм геопривязки, называемый трансформацией. Трансформация выравнивает контрольные точки в непривязанном покрытии по соответствующим контрольным (реперным, регистрационным, тикам) точкам привязанного покрытия. Если было сопоставлено

правильно достаточное количество контрольных точек (обычно четыре или больше), местоположения объектов интерполируются и переносятся в реальное координатное пространство.

Для выполнения геопривязки используются специальные регистрационные точки (тики, реперы, контрольные точки). Тики, реперы – это регистрационные точки, определяющие положение известных точек на земной поверхности, для которых известны их реальные координаты. Например, если в покрытиях ARC/INFO используются общие регистрационные точки, то различные тематические слои будут географически сопоставимы друг с другом и соседними листами карты. При этом регистрационные точки должны охватывать всю область покрытия.

Регистрационные точки следует располагать в местах, легко идентифицируемых на каждой исходной карте, подлежащей вводу [31]. Чаще всего в качестве опорных точек используются узлы картографической сетки. Преимуществом их использования является то, что они не подвержены генерализации, достаточно легко читаются и имеют известные географические координаты. Однако для карт, составленных в проекциях, вычисленных по параметрам различных референц-эллипсоидов, непосредственное использование узлов картографической сетки в качестве опорных точек может привести к ошибкам.

Неплохой результат дает использование точек пересечения линейных объектов, например перекрестков дорог, пересечение административных границ и т. п. К недостаткам данного выбора точек следует отнести возможную потерю точности, которая происходит в основном из-за генерализации. В большинстве случаев в качестве опорных точек используются пунсоны населенных пунктов, иногда – отметки высот, геодезические пункты.

Иногда встречаются ситуации, когда требуется объединить пространственные данные с разных карт, а четко определенных опорных точек нет. Например, нужно посадить тематическую карту, в которой кроме тематической нагрузки присутствует только береговая линия, на имеющуюся топографическую основу. В подобных случаях можно использовать нечеткие опорные точки, например характерные точки береговой линии, внутренних водоемов и т. п. Однако точность последующего преобразования остается неопределенной и падает в зависимости от величины различия масштабов используемых карт.

Таким образом, если на исходной карте нет заранее определенных реперов, то их нужно создать, при этом регистрационные точки следует располагать в местах, легко идентифицируемых на каждой исходной карте, подлежащей вводу. Нужно также убедиться, что для этих реперов можно получить точные значения реальных координат и после определения реперов можно обозначить их положение и идентификаторы на каждой исходной карте, подлежащей оцифровке. Затем можно создавать главный файл регистрационных точек, т. е. таблицу, содержащую идентификаторы и координаты x, y для каждой регистрационной точки, рис. 20.

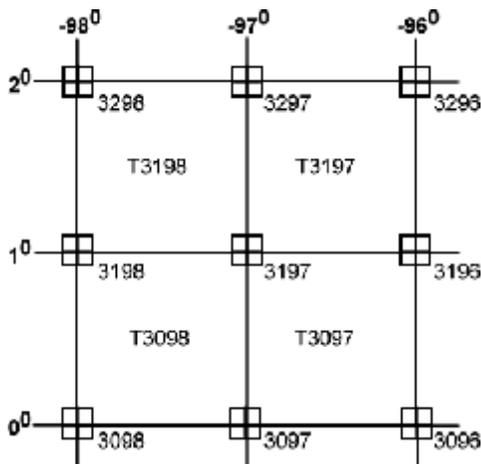


Рис. 20. Размещение реперных точек на четырех листах карты

Непосредственно в процессе машинной обработки в ГИС-системе для регистрации растрового изображения по определенным реперным точкам в реальных географических координатах выполняется также создание файла координатной привязки (мировой файл, World File, WF). Файл координатной привязки представляет собой текстовый файл ASCII. С этим файлом геопривязанное растровое изображение выведется на экран в правильных координатах и будет правильно сориентировано с другими векторными и растровыми изображениями на эту же географическую территорию. Без файла привязки растровое изображение будет отображаться в пиксельных координатах, и они не будут

совпадать с изображениями и векторными темами на эту же территорию [20].

Файл привязки связан с растровым изображением следующим соглашением об именах. Например, если имя файла изображения имеет 3-х символьное расширение (например, image.tif, image.bil), то файл привязки будет иметь то же самое имя, а расширение будет содержать первый и последний символы расширения изображения и заканчиваться символом «w». Например, image.tfw, image.blw. Если расширение растрового изображения имеет меньше чем 3 символа, например image.rs, image, или не включает никакого расширения вообще, то имя файла привязки формируется просто добавлением «w» к расширению имени файла изображения. Например, image.rsw, image.w.

В текстовом редакторе файл привязки изображения выглядит в виде 6 строк:

1. Размер пиксела по оси X в единицах поверхности.
2. Параметры вращения.
3. Параметры вращения.
4. Размер пиксела по оси Y в единицах поверхности.
5. x координата центра верхнего левого пиксела.
6. y координата центра верхнего левого пиксела.

Например, так выглядит текст мирового файла в текстовом редакторе:

```
0.00300094
0.0
0.0
- 0.001821
23.1848
56.1658
```

Если происходят изменения параметров местоположения объектов с изменением типа их координат, то выполняется процедура аффинного преобразования параметров мирового файла. Коэффициенты аффинного преобразования могут быть вычислены по трем не лежащим на одной прямой точкам, координаты которых заданы до и после преобразования. Кроме того, коэффициенты преобразования могут быть определены из условия минимизации отклонения образов заданных точек от некоторых фиксированных, причем их число должно быть больше трех. Использование аффинных преобразований позволяет вос-

становливать изображение, претерпевшее такие изменения, как сдвиг, поворот, масштабирование (в том числе с различными коэффициентами по разным координатным осям), по трем опорным точкам и более. Аффинные преобразования выполняются по формулам:

$$X_1 = Ax + By + C$$

$$Y_1 = Dx + Ey + F,$$

где X_1 – расчетная x-координата пиксела на изображении; Y_1 – расчетная y-координата пиксела на изображении; x – номер столбца пиксела; y – номер ряда пиксела;

A – x-масштаб, т. е. величина пиксела в единицах карты по x-направлению; B, D – параметры вращения; C, F – x и y координаты центра левого верхнего пиксела; E – отрицательное значение y-масштаба, т. е. величина пиксела в единицах карты по y-направлению.

Например, созданный мировой файл после аффинного преобразования по опорным точкам (пиксельное расширение-сжатие, повороты) геопривязываемого растрового изображения может иметь следующий вид:

```
0.00309507949300 A
- 0.00003513131379 D
- 0.00004500066204 B
- 0.00184690085467 E
23.09097466446735 C
56.24220247823200 F.
```

Файл привязки в ГИС ARCINFO создается при использовании команды REGISTER, а затем с использованием команды RECTIFY растровое изображение поворачивается под вектор.

Таким образом, ввод листа карты в компьютер в ГИС начинается обычно с важного шага установления точной регистрации покрытия и представления его в реальных координатах, при этом главный файл регистрационных точек должен быть создан до начала ввода. Затем необходимо наметить положение реперов и их идентификаторы на каждом листе, предназначенном для оцифровки карты, что обеспечит связь для всех информационных слоев базы данных с базовой картой и будет возможным выполнение процессов подгонки и стыковки карт для соединения смежных покрытий в одно полное покрытие, охватывающее всю область проекта [53].

3.15. Классификаторы картографической информации для ГИС

Для стандартизации процесса обработки пространственных и атрибутивных данных ГИС используются информационные классификаторы. В классификаторах излагаются обязательные правила регистрации и описания пространственной и непространственной информации. Особую актуальность приобретают классификаторы в условиях массовой доступности коммерческих ГИС-пакетов отечественных и зарубежных производителей.

В настоящее время все организации пользуются разными классификаторами объектов, хотя в их основе, как правило, лежит один и тот же восьмизначный классификатор ВТУ, изданный в 1985 г. и предназначенный для бумажных карт [30]. Идея классификатора – дать единый составной код объектам топокарты, облегчающий определение их положения в единой иерархической структуре на основе родовой принадлежности, и установление параметров групп, к которым они принадлежит. Те характеристики, которые не укладываются в цифровое кодовое представление, например собственное название населенного пункта или высотное значение горизонтали, – выносятся в дополнительные атрибуты объекта. Отход от идеи иерархического классификатора снижает эффективность его использования в ГИС (при поиске класса объекта, применении общего значка для группы и т. п.). То же можно сказать о библиотеках кодов характеристик.

Разнобой в построении классификаторов порождает отнесение одних и тех же объектов к разным классам, группам и, соответственно, помещение их в разные тематические слои. Многие объекты теряют свою целостность и связность, а в ряде случаев – и суть. Например, в слое растительности на некоторых картах отсутствует заболоченный лес, а есть только лес. И только если догадаться совместить его с другими слоями, то можно будет понять, что он заболоченный. Вообще многие характеристики на карте приписываются к определенной точке, в которой они измерялись, например ширина русла рек, скорость течения воды или породный состав леса. Приписывать же эти характеристики всему объекту – всей реке, например, или всему полигону леса неправомерно.

Для упорядочивания цифрового описания в настоящее время, например, разработан проект отраслевого стандарта на цифровые модели

топографических карт, которые являются одной из значительных составляющих базы картографической информации ГИС [47].

Проект устанавливает основные требования к представлению цифровой топографической карты масштабов 1:200 000, 1:500 000 и 1:1 000 000, к структуре и содержанию атрибутивных таблиц покрытий, оцифровке объектов и к качеству создающихся моделей карт на основе географической информационной системы ARC/INFO.

В данном проекте оговаривается, что покрытия ARC/INFO группируются в слои. Каждый слой объединяет покрытия одной тематической направленности (например, слой гидрографии или населенных пунктов) и может содержать неопределенное количество покрытий (в действительности от одного до десяти).

Соглашения по использованию имен слоев, покрытий и полей атрибутивных таблиц покрытий дают возможность пользователю определить их содержимое и тип по соответствующему имени. Имя покрытия начинается с двухсимвольного условного сокращения имени слоя. Например, рекомендуются следующие условные сокращения имен слоев:

- § HY – математическая основа (Hypsography)
- § PH – рельеф, география (Physiography)
- § DN – гидрография (Drainage)
- § DS – гидрография дополнительная (Drainage – Supplemental)
- § PP – населенные пункты (Populated Places)
- § LM – линии связи и электролинии (Lines of electrical transmission)
- § RR – железные дороги (Railroads)
- § RD – дороги (Roads)
- § TS – транспортные сооружения (Transportation objects)
- § PO – политические и административные границы (Political boundaries)
- § CL – промышленные, сельскохозяйственные и социально-культурные объекты (Cultural Landmarks)
- § LC – земельное покрытие (Land Cover)
- § LS – земельное покрытие – дополнительное (Land Cover – Supplemental)
- § VG – растительный покров (Vegetation).

Третья литера однозначно определяет тип графического примитива, который используется для представления объектов покрытия (точ-

ки, линии или полигоны). Некоторые покрытия сочетают несколько типов графических примитивов (например, линии и полигоны), и такие покрытия называются сетевыми. Например, рекомендуются следующие условные обозначения типа покрытия:

- § Точка (Point) – P
- § Линия (Line) – L
- § Полигон (Area) – A
- § Сеть (Net) – N.

Следующие литеры в имени покрытия (если присутствует) уточняют его содержимое в том случае, если в одном тематическом слое находится несколько однотипных покрытий, содержащих объекты с различными характеристиками (например: DNAF – площади разливов, DNAC – контура болот).

Имена полей в атрибутивных таблицах покрытий также подчинены определенным соглашениям, и каждое из них является уникальным в базе данных, связанной с картой. Имя поля состоит из имени покрытия, знака подчеркивания и двух-, трехлитерного условного сокращения названия признака, характеризующего объект. Например, имя поля RDL_WID покрытия RDL (дороги) представляет собой ширину дороги, а RDL_MAT – материал дорожного покрытия.

В данном проекте также изложены общие требования к представлению объектов цифровой модели топографической карты, требования к оцифровке объектов различной геометрии, правилам цифрового описания, а также требования к их пространственному расположению – как в пределах одного покрытия, так и их отношениям между различными покрытиями.

4. Моделирующие функции в ГИС

Возможность проведения географического анализа – это главное, что отличает ГИС от систем цифровой картографии. В ГИС наиболее распространены четыре вида анализа:

- § OVERLAY – оверлейный (полигональный),
- § NETWORK – сетевой,
- § GRID – на основе регулярных сеток,
- § TIN – на основе нерегулярных сеток.

Все зависит от того, где определена функция (Z1...Zn): для OVERLAY и NETWORK – на полигонах и дугах, для GRID – в точках

регулярной сети, для TIN – в точках нерегулярной сети. Возможные аналитические функции ГИС можно представить в виде следующей классификации:

1. Полигональные операции:

- § Наложение полигонов.
- § Определение принадлежности точки полигону.
- § Определение принадлежности линии полигону.
- § Снятие границы и слияние полигонов.

2. Анализ близости:

- § Построение буферных зон.
- § Анализ близости на множестве точек.
- § Анализ близости относительно кривых.
- § Анализ близости на множестве полигонов.
- § Возможность взвешивания.

3. Генерация полигонов Тиссена.

4. Анализ сетей:

- § Поиск кратчайшего пути.
- § Суммирование значений атрибутов по элементам сети.
- § Размещение центров и распределение ресурсов в сети.
- § Поиск пространственной смежности.
- § Поиск ближайшего соседа.
- § Поиск по адресам (геокодирование).

5. Функции картографической алгебры:

- § Перекодирование и переклассификация.
- § Средние, максимальные и минимальные значения ячейки по множеству слоев.

- § Логические комбинации слоев.
- § Сложение/вычитание/умножение/деление слоев карты.
- § Возведение в степень/дифференцирование.
- § Операции анализа в режиме скользящего «окна».
- § Группировка или идентификация неразрывных зон равных значений.
- § Характеристика формы (вытянутость, ориентированность).

6. Цифровое моделирование рельефа:

- § Вычисление углов наклона.
- § Определение экспозиции склонов.
- § Интерполяция высот.

- § Определение границ зон видимости для точечных объектов.
 - § Определение зон видимости для линейных объектов и полигонов.
 - § Генерация горизонталей с задаваемым пользователем сечением.
 - § Расчет дренажной сети и оптимального пути по поверхности.
 - § Генерация профилей поперечных сечений.
 - § Вычисление объемов относительно заданной плоскости.
- 7. Прочие функции:**
- § Логические операции с множеством карт.
 - § Генерация случайной пространственной сети опробования.
 - § Работа с базами атрибутивной информации.

4.1. Картографическая алгебра. Оверлейные операции

Оверлейные операции (overlay) – это действия, в результате которых выполняется объединение пространственных характеристик покрытий ARC/INFO в новый слой и реляционное соединение их атрибутивных таблиц [53]. Полигональные оверлеи (polygon overlay) – это специальная операция наложения одного полигонального покрытия на другое полигональное покрытие и их атрибутов для создания нового полигонального покрытия. Другие оверлейные операции включают оверлей линии в полигон и оверлей точек в полигон, рис. 21.

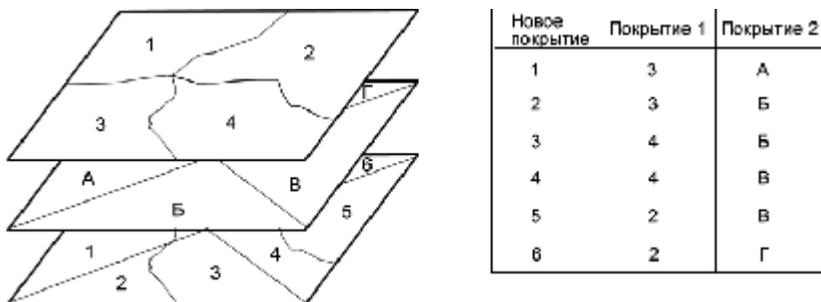


Рис. 21. Операция пространственного анализа – полигональный оверлей

Например, оверлейная операция дуга в полигоне (line-in-polygon) – это пространственное отношение, при котором дуги одного покрытия

налагаются на полигоны другого, чтобы определить, которые из дуг полностью или частично попадают в полигоны. Атрибуты полигонов связываются с соответствующими дугами в результирующем дуговом покрытии, рис. 22.

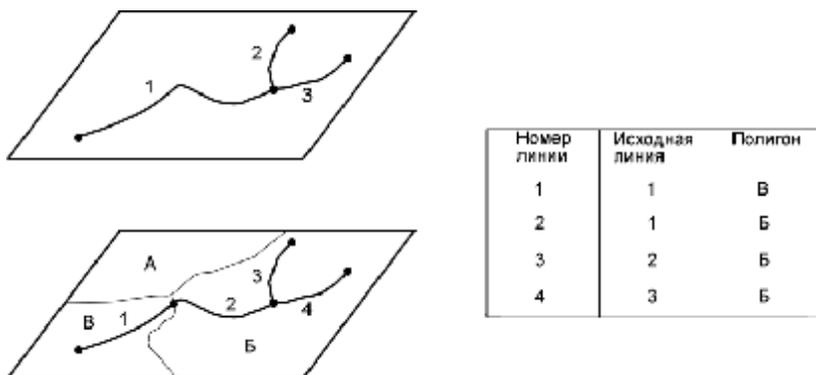


Рис. 22. Оверлейная операция пространственного анализа – дуга в полигоне

Соответственно оверлейная операция точка в полигоне (point-in-polygon) – это пространственная операция, при которой точки одного покрытия налагаются на полигоны другого, чтобы определить, которые из точек попадают внутрь полигонов. Атрибуты полигонов связываются с точками в результирующем точечном покрытии, рис. 23.



Рис. 23. Оверлейная операция пространственного анализа – точка в полигоне

Три команды ARC/INFO могут выполнять наложение полигонов: UNION (Объединение), IDENTITY (Тождественность) и INTERSECT (Пересечение). Эти команды похожи и отличаются лишь пространственными объектами, которые остаются в выходном покрытии. На рис. 24 показаны результаты действия этих команд.

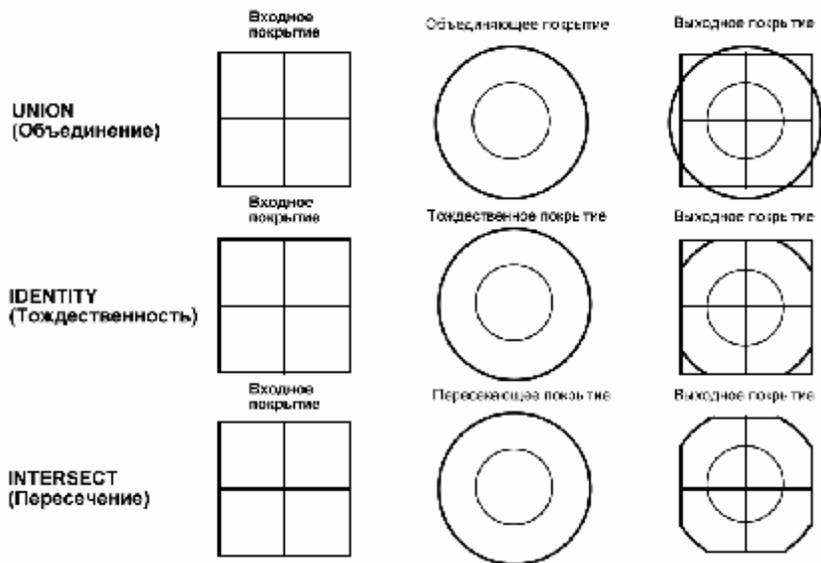


Рис. 24. Виды полигональных оверлейных операций в ГИС ARC/INFO

К числу важных команд ARC/INFO, позволяющих выполнять пространственный географический анализ территории с манипулированием пространственными объектами, относятся также операции, выполняемые по командам UPDATE, CLIP, SPLIT, ERASECOV, рис. 25.

Операции картографической алгебры являются ведущими при выполнении аналитических работ в ГИС по расчету экспликации земель, землеустроительных, кадастровых работах, поиску места по заданным критериям, составлению комплексного географического атласа территории и др.

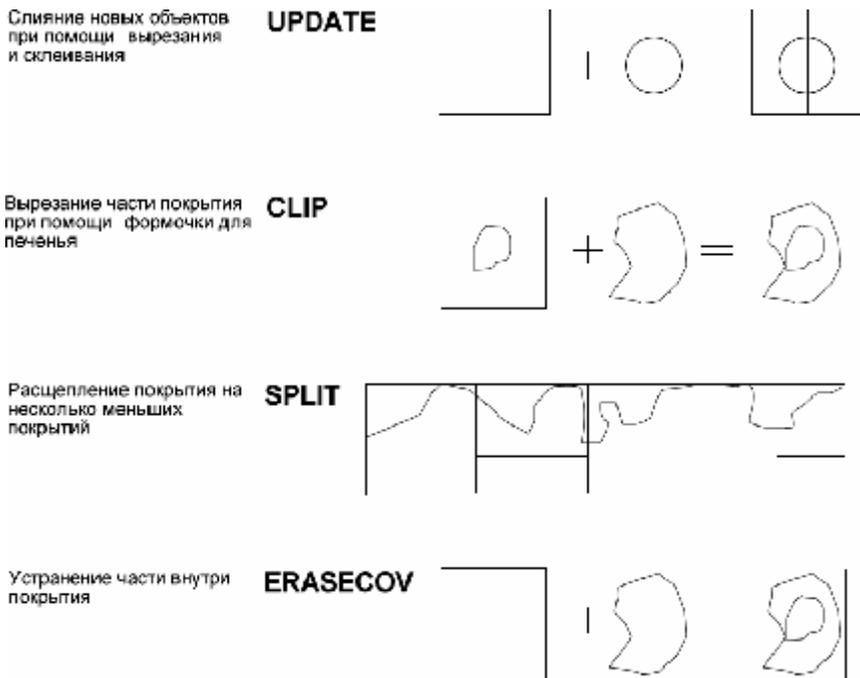


Рис. 25. Операции манипулирования пространственными объектами ARC/INFO [53]

4.2. Операции вычислительной геометрии (буферы)

Создание буферных зон – это географическая операция для определения областей, окружающих географические объекты [53]. В ГИС ARC/INFO операция выполняется командой **BUFFER**, в результате выполнения которой создаются один или более полигонов вокруг существующих географических объектов. При выполнении построения буферов могут быть созданы буферы как постоянной, так и переменной ширины. Результирующие буферные зоны представляют собой полигоны – области внутри и вне заданного буферного расстояния от каждого объекта. Построение буферных зон выполняется для любого типа географических объектов: точек, линий или полигонов, рис. 26.

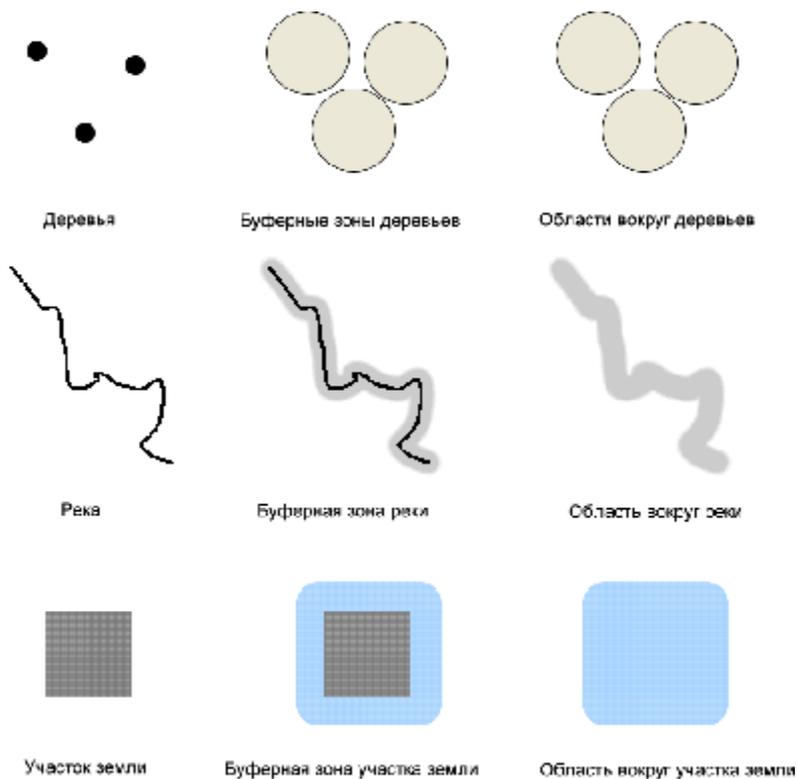


Рис. 26. Создание буферных зон вокруг точек, линий или полигонов

Операции вычислительной геометрии (построение буферных зон) являются ведущими при выполнении аналитических работ в ГИС по расчету санитарно-защитных зон предприятий, планированию водоохраных и природоохраных полос, размещению объектов инфраструктуры вдоль дорожных систем и т. д.

4.3. Картографическая генерализация

Одной из возможностей ГИС ARC/INFO является картографическая генерализация. Генерализация в ГИС имеет два аспекта: генерализация базы данных и непосредственно геометрическая генерализация

[22]. Генерализация информации в базе данных может быть представлена как построение масштабного ряда для всех объектов карты, выводимых при определенном масштабе. Геометрическая генерализация трактуется как упрощение контура или отдельных линий и реализована в ARC/INFO для векторных и грид-данных. Разработанная для операторов BENDSIMPLIFY и ORTIGONAL команда GENERALIZE в версии 8 расширена опцией поддержки топологической корректности при выполнении генерализации – (NOERRORCHECK/ERRORCHECK).

При использовании оператора ERRORCHECK выполняется проверка корректности создаваемого материала. В случае появления топологической ошибки расстояние генерализации будет уменьшено, а в атрибутивную таблицу будет добавлено поле TOLFLAG с указанием использованного расстояния для каждой линии. Следует отметить, что несколько циклов применения команды с последовательно уменьшаемым в 10 – 15 раз расстоянием дает более корректные результаты, чем одна генерализация. Специально для упрощения таких объектов, как строения, городские кварталы и улицы, может быть применена команда BUILDINGSIMPLIFY, которая работает с учетом ортогональности объектов. В версии 8 команда CENTERLINE реализует возможность автоматического построения центральных линий полигональных объектов, таких, как улицы, на основании заданных минимальной и максимальной ширины входных объектов.

4.4. Построение моделей непрерывно распределенных признаков

Построение моделей непрерывно распределенных признаков эффективно выполняется с помощью грид-моделей пространственных объектов. Например, гриды ГИС ArcView позволяют выполнять большое количество функций для проведения пространственного анализа. Гриды могут представлять непрерывно распределенные в пространстве данные, такие, как рельеф, расстояния до заданных объектов, данные спектрального отражения и др. Использование грида позволяет проводить аналитические операции, которые невозможны для векторных покрытий. Например, с помощью гридов можно моделировать водные потоки на местности, распространение пожара, загрязнение почвы радионуклидами и т. д., рис. 27.

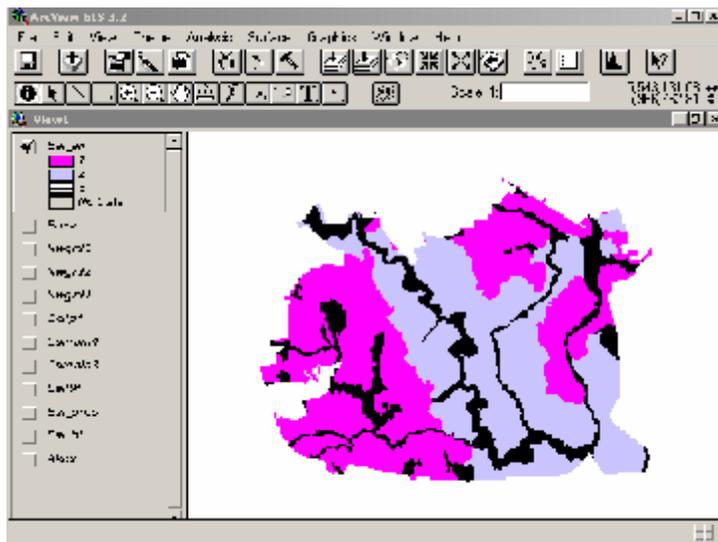


Рис. 27. Моделирование рельефа г. Минска способом создания грида

В ГИС ArcView работу с гридами поддерживает специальный программный модуль Spatial Analyst. При подключении этого модуля в ArcView большая палитра функциональных средств становится доступной через дополнительные пункты меню Анализа (Analysis), некоторые новые кнопки и инструменты, а также через запросы на языке Avenue. Прежде всего появляется возможность преобразовывать любую из векторных тем ArcView, включая темы в формате CAD, в растровый формат грид-темы, а затем использовать все доступные аналитические возможности грид-тем: создание поверхностей по этим темам, буферизация пространственных объектов, расчет близости точек пространства к тем или иным объектам и др.

Грид-темы могут быть также созданы из растровых изображений стандартных форматов, включая TIFF, BIL, Sun raster, USGS DEM, DTED и др. Специальные пункты меню позволяют моделировать поверхность по отдельным точечным данным, интерполируя изолинии, рассчитывая уклоны и экспозицию склонов полученной поверхности, а также подсчета плотности явления. Данные функции позволяют интерполировать поверхность или строить изолинии (векторная линейная

тема) по значениям отдельных точек с использованием одного из четырех предлагаемых в ArcView методов интерполяции:

- § **ОВР** – обратно взвешенных расстояний (средневзвешенных значений соседних точек по заданному числу соседей или в пределах указанного радиуса).
- § **Сплайн** – создание поверхности с минимальной кривизной.
- § **Тренд** – подбор функции, описывающей все входные точки с полиномом заданного порядка методом наименьших квадратов.
- § **Кригинг** – многоступенчатый подбор математической функции для заданного числа точек или для точек в пределах заданного радиуса для распространения зависимостей на все точки, рис. 28.

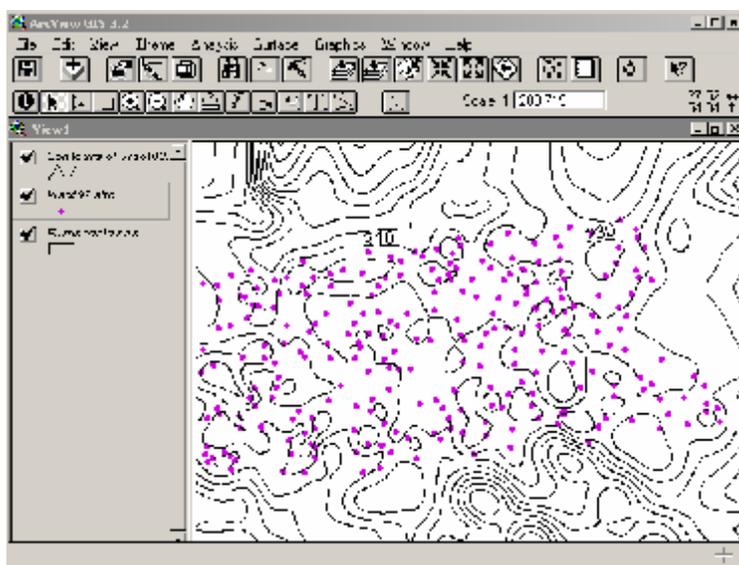


Рис. 28. Построение изолиний рельефа местности по отдельным точкам отметок высот

Функции второй группы позволяют проводить вычисления по темам грид: уклоны, экспозицию, отмывку (освещенности при регулируемых азимуте и высоте взгляда) рельефа, кривизну поверхности, а

также определять зоны видимости из одной или нескольких точек наблюдения.

Spatial Analyst располагает возможностями осуществления различных запросов к растровым темам. Эти запросы могут касаться как одной, так и сразу нескольких грид-тем. Например, можно запросить по отдельности районы, где концентрация загрязняющих веществ превышает определенный уровень (например, ПДК), или сформулировать этот запрос в специальном окне построения картографических запросов. Ответом на каждый запрос будет являться новая грид-тема, включающая удовлетворяющие запросу ячейки.

Любая из грид-тем может быть представлена в более удобном виде с помощью возможности классификации грид-тем при редактировании легенды. Для растровых слоев возможны два типа классификации: равноинтервальная или по стандартному отклонению от среднего. Количество классов задается пользователем. При необходимости можно перейти на оценочные единицы (например, баллы) с помощью функции переклассификации грид-темы. Используя эту функцию, можно присвоить любые новые значения классу или группе ячеек, относящихся к одной классификационной группе.

Любая из грид-тем может визуально получить объем за счет использования значений другой грид-темы (например, рельефа) в качестве показателя яркости отображения ячейки. Это особенно полезно для наглядного отображения зависимостей между данными двух тем, например между рельефом и использованием земель и т. д.

Особую группу представляют функции статистического анализа грид-тем. Различные статистические справки доступны как через пункты меню, так и через специальные кнопки. Например, при формировании легенды можно в редакторе легенды получить сведения о максимальном и минимальном значениях, а также о стандартном отклонении, что весьма полезно при выборе типа классификации и количества классов. С помощью кнопки гистограммы или отдельных пунктов меню можно также получить гистограммы распределения значений по ячейкам как по всей теме, так и в пределах произвольно обозначенного на карте района.

Специальный пункт меню предназначен для построения гистограммы распределения ячеек по определенным зонам другого покрытия. Например, можно подсчитать количество ячеек зоны затопления (или их общую площадь), попадающих в различные виды землепользо-

вания (селитебная зона, сельскохозяйственные угодья, транспортные магистрали и т. д.), или проанализировать распределение ячеек разной загрязненности в селитебной или производственной зоне, рис. 29.

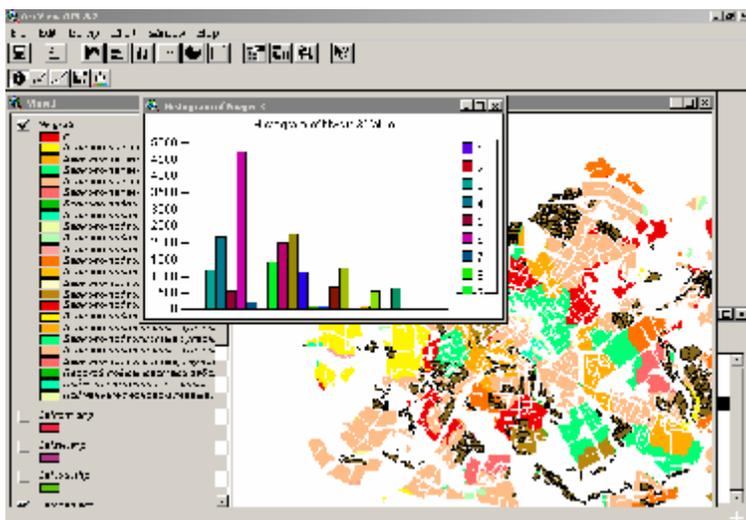


Рис.29. Подсчет по гистограмме площадей застроенных территорий г. Минска на различных видах почв

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

Представление грида, в котором определенное значение присваивается не всей ячейке, а ее центральной точке, называется решеткой (Mesh). Модель решетки позволяет производить точные расчетные операции с поверхностью, выполнять построение цифровой модели рельефа.

4.4.1. Цифровые модели рельефа и местности

Применение отмывки рельефа позволяет делать карты более привлекательными. Например, ГИС ARC/INFO обеспечивает построение модели рельефа с теневой пластикой как на базе векторной информации, так и используя уже имеющуюся грид-модель рельефа [22]. Для построения грид-модели по векторным данным имеется команда TOPOGRID. Она не только позволяет использовать информацию по горизонталям и точкам высот, но и учитывать данные по рекам, озерам и другую дополнительную информацию.

Отмывка рельефа в ARC/INFO строится на базе цифровой модели рельефа, представленной в виде грид-данных. Для этого могут быть применены команды HILLSHADE или SAI. Первая строит модель, где значение ячейки грида соответствует степени освещенности. Вторая создает модель уклонов и может быть выгружена в другие форматы или представлена на дисплее как отмывка рельефа с использованием специально созданного этой же командой файла цветов. В качестве параметров команд используются такие величины, как Z-фактор (т. е. определенный числовой атрибут геообъекта), азимут освещения и высота источника света. Отмечено, что в ряде случаев угол высоты освещения 55–65 град позволяет увеличить Z-фактор и делает рельеф более объемным.

4.5. Сетевой анализ

Одним из наиболее сильных направлений ГИС-анализа является сетевой анализ географических систем. Любая система связанных между собой линейных объектов – автомобильные и железные дороги, реки, трубопроводы, телефонные линии и линии электропередач – является сетью. Передвижения людей, транспортировка товаров и услуг, обмен информацией и передача энергии происходят по сетям. В этой связи с использованием новейших математических алгоритмов и ком-

пьютерной поддержки целесообразно использовать сети наиболее эффективно.

В качестве примера развитых инструментов сетевого анализа в ГИС можно привести модуль ГИС ArcView – Network Analyst [3]. Данный внешний модуль программы используется для анализа линейных сетевых тем, таких, как дороги, линии коммуникаций, городские улицы, реки и др. В качестве сетевых тем могут использоваться как покрытия ARC/INFO и шейп-файлы ArcView, так и темы AUTOCAD. Типичными задачами сетевого анализа являются: поиск ближайшего пункта; разработка кратчайшего маршрута с указанием направления движения; формирование маршрутного листа передвижения; определение зон обслуживания (доступности); определение местоположения по адресу – процесс, известный как геокодирование. Геокодирование преобразует адрес в местоположение точки и добавляет его в Вид ArcView. Это происходит в результате выполнения алгоритма сравнения адреса с адресными атрибутами каждого объекта в активной линейной теме. Атрибуты хранятся в специальных адресных полях в атрибутивной таблице, т. е. тема должна быть соответствующим образом подготовлена для использования при геокодировании.

При решении задачи Network Analyst по умолчанию использует длину каждого линейного объекта для расчета кратчайшего пути от одного местоположения до другого. Для этих вычислений используется поле в атрибутивной таблице линейной темы, именуемое стоимостным полем. Стоимостное поле содержит значения, представляющие «стоимость» пути вдоль конкретного линейного объекта. Стоимость может быть выражена средним временем или расстоянием, необходимым для преодоления объекта. Если стоимостное поле, которое используется, содержит значения расстояния, можно использовать следующие единицы: километры, метры, сантиметры, миллиметры, мили, ярды, футы, дюймы или морские мили. Если стоимостное поле содержит значения времени, можно в качестве единиц использовать часы, минуты и секунды или их комбинацию (чч:мм:сс).

При выполнении сетевого анализа также используются такие типы линейных объектов, как маршруты и секции. Маршруты являются упорядоченным набором дуг или их частей для представления линейных объектов. Вдоль маршрута можно расставить множество событий. Атрибутивная информация, которая содержит измерения расстояний по маршруту (это могут быть километровые столбы или адреса строений),

может использоваться для локализации событий на маршруте, например места аварий или качество дорожного покрытия. Секции являются дугами или их частями, которые используются для определения маршрута. Все вместе они формируют основу для построения маршрутных систем. Весь линейный маршрут состоит из упорядоченных серий секций. Секции несут информацию о дугах или их частях, составляющих маршрут, о направлении маршрута и о системе измерений, которая используется для динамического распределения событий вдоль маршрута.

4.6. Операции с трехмерными объектами

Наиболее эффективным направлением использования аналитических функций ГИС является работа с трехмерными моделями реальных географических объектов. Трехмерные поверхности часто используются в различных исследованиях. Особенно удобно трехмерное моделирование для отображения и анализа в таких сферах, как: анализ рельефа; анализ результатов дистанционного зондирования; нефтегазоносные (подземные) исследования; окружающая среда; транспортные и другие инженерные коммуникации и т.д. Следует сразу уточнить понятие 3D. Хотя его часто переводят как трехмерное, трехмерный, трехмерная (изображение, объект, визуализация и т. д.), реально это не что иное, как представление трехмерных объектов или явлений в двухмерной среде. Третье измерение (высота, координата Z) при этом создается средствами перспективы или такими методами, как оттенение (отмывка) и равномерно сгущающийся цвет.

В качестве примера реализованных алгоритмов по представлению трехмерных моделей географических объектов можно указать на модуль расширения ArcView – 3D Analyst [2]. Данный модуль предоставляет сложные функции трехмерного и перспективного отображения, моделирования и анализа поверхностей. 3D Analyst позволяет добавлять в ArcView новый тип документов – 3D WOLD document, который доступен для перспективного и трехмерного просмотра территории. С помощью специальных инструментов можно вращать, а также просматривать поверхность «в полете» над ней. Как и к обычным темам, к 3D поверхностям можно осуществлять запросы и привязывать базы данных. 3D Analyst создает и поддерживает новые векторные шейп-файлы: 3D-точки, 3D-дуги, 3D-полигоны, которые кроме координат

x , y хранят для каждой точки значение z . Модуль выполняет такие функции представления и аналитики для географических объектов, как создание реалистичных моделей поверхности по разного рода исходным данным; определение высот поверхности в любой ее точке; определение того, что можно увидеть из данной точки обзора (взгляда); расчет объемов между двумя поверхностями.

Для создания поверхностей могут использоваться разнообразные исходные данные. Можно создать регулярные модели поверхности, grids, импортируя цифровые модели рельефа форматов USGS DEMS, файлы DTED, исходные ASCII файлы, или файлы других поддерживаемых форматов растровых изображений. По этим поверхностям 3D Analyst может рассчитывать и показывать высоты точек, профили, изолинии, рельеф с отмывкой, линии наибольших уклонов и многое другое.

Эта новая информация, полученная с помощью функций анализа поверхности, может использоваться сама по себе или вместе с новыми пространственными данными и функциями являться источником данных для проведения продвинутого моделирования в ГИС-системах.

Помимо средств создания и анализа поверхностей, модуль 3D Analyst предоставляет мощный инструментарий для создания и визуализации трехмерных перспективных изображений. Перспективные изображения более информативны, их легче воспринимать и интерпретировать. При показе географических объектов в 3D пространстве можно не только передвигать (панорамировать) изображение и изменять его масштаб, как это проводится в Виде ArcView, но также в интерактивном режиме изменять наклон и вращать данные, чтобы изменить перспективу рассмотрения изображаемой поверхности или объектов.

5. Дизайн базы данных ГИС

5.1. Основы проектирования дизайна базы данных ГИС

Эффективность ГИС определяется хорошим построением баз данных. Разработка дизайна ГИС аналогична любой другой разработке дизайна, она начинается с понимания целей и развивается через повышение уровней детализации по мере сбора информации и перехода к реализации. Хороший дизайн ГИС приводит к построению качествен-

ной, функционально и оперативно эффективной базы данных, которая: соответствует требованиям и условиям предприятия; содержит все необходимые данные, но без дублирования; обеспечивает организацию данных многим пользователям; включает различные формы представления данных; правильно представляет, кодирует и организует географические объекты [1].

В руководствах по проектированию баз данных ГИС обычно выделяют три основных этапа. На первом этапе выполняется концептуальное моделирование базы данных ГИС, т. е. определение необходимых данных в соответствии с целями и задачами предприятия, организации. На втором этапе составляется логическая модель будущей ГИС. Логическое моделирование устанавливает соответствие между требованиями к данным и набором географических данных. На третьем этапе физического моделирования выполняется реализация дизайна и отладка для увеличения скорости работы системы.

Многолетний опыт проектирования ГИС указывает на необходимость учета правил дизайна ГИС, в которые входит привлечение пользователей к разработке дизайна ГИС; пошаговая разработка дизайна ГИС, т. е. нет необходимости создавать полностью детализированный дизайн для всей системы в рамках одного проекта; командный способ работы, так как требуется широкий спектр информации, навыков и принятия решений; тщательная документация своих действий.

Согласно рекомендациям института ESRI Inc. [1] основными шагами проектирования дизайна ГИС являются: моделирование знаний пользователя; описание примитивов и их взаимоотношений; выбор представления примитивов; сопоставление с моделью данных ГИС; организация в географические наборы данных.

При этапе моделирования взгляда пользователя выполняется последовательный цикл работ по определению функций, нужных для выполнения целей и задач предприятия; определение данных, необходимых для поддержки функций; организация данных в логические наборы объектов; реализация начального плана реализации.

Для логического осмысления функций предприятия, организации составляется соответствующая блок-схема, рис. 30.

Как, например, показано на рис. 30, для отдела по землеустройству отобраны такие функции, как ведение земельного баланса, контроль за целевым использованием, согласование проектов отвода земель

и др. Далее с использованием блок-схемы выполняется отбор функций, которым требуются географические данные.



Рис. 30. Блок-схема основных функций отдела по землеустройству

Следующим шагом является составление табличной матрицы перекрестных ссылок географических данных и функций (функции вдоль оси X, географические данные по оси Y) [1]. На этом же этапе выполняется графическое переставление функций и данных в матрице до тех пор, пока данные с аналогичными характеристиками не окажутся рядом, и функции, работающие с одними данными, также не окажутся рядом. Используя буквенные индексы, разработчик в клетках табличной матрицы ставит литеру «С», если функция создает данные

и литеру «И», если функция использует готовые географические данные, табл. 4.

Таблица 4

Парциальная матрица функций/данных

Данные	Функции							
	Ведение земельного баланса	Контроль за целевым использованием	Согласование проектов отвода земель	Количественный учет пользователей	Изъятие и предоставление участков	Оценка стоимости земельных участков	Планирование развития территории	Ведение регистров и реестров
Виды земель	С	И	С	И		И	С	И
Административное подчинение	И	И			И	И	И	
Границы земельных участков	И	И	С	И	С	И	С	И
Коммуникации		И	И		И	И	И	
Почвы	И	И	И		И			
Аэрофотоснимки	И	И	И				И	
Адреса		И		И		И		И
Налоговое деление участков		И		И	И	И		И

На следующем этапе разработчиком выполняется составление словаря географических данных (примитивов), в котором описывается каждый отдельный географический объект и его связи с другими географическими объектами с указанием его названия, определения, присвоением уникального идентификатора, описанием атрибутов, источников информации и т. д. [17].

Следующим шагом является выполнение классификации примитивов по типу их представления в ГИС и составление соответствующего списка. Например, примитивы с геометрическим представлением, примитивы в виде буквенно-числовой информации, примитивы в виде фотографий или рисунков. На основании списка примитивов выполняется объединение примитивов по тематическому признаку для объединения в одно покрытие ARC/INFO.

В заключение необходимо отметить, что из средств, затрачиваемых организацией на построение ГИС, до 80 % используется на построение и поддержку географической базы данных. Следовательно, важен хороший структурированный, продуманный подход к задаче, выбор дизайнера и реализации базы данных [14].

5.2. Пилотный проект ГИС

Учитывая большие материальные, технические, эксплуатационные, финансовые затраты по созданию ГИС, в практике принято выполнение предварительных пилотных проектов ГИС. Пилотный проект ГИС – это уменьшенный вариант проектируемой ГИС, но который способен продемонстрировать заказчику все основные функции и возможности от создаваемой системы. На этом этапе в процессе совместного обсуждения между исполнителями и заказчиком преимуществ, которые ожидаются от введения ГИС на предприятие или организацию, обсуждаются возможные улучшения, добавления и изменения.

5.3. Общие требования к документированию ГИС

Документирование ГИС должно включать создание следующих видов технической документации: *документация разработки ГИС; документация продукции ГИС; документация управления проектом создания и эксплуатации ГИС* [39].

Документация разработки ГИС должна описывать процесс разработки, определять требования, которым должна удовлетворять ГИС, определять проект ГИС, определять, как контролируется ее разработка, как обеспечивается ее качество, как осуществляется ее поддержка и развитие. Типовыми документами разработки ГИС могут являться: исходный заказ (техническое задание) на разработку ГИС и анализ осуществимости проекта; спецификация требований к ГИС; спецификация функций ГИС; проектные спецификации, включая спецификации программного обеспечения и данных; планы разработки; планы создания (сборки) и тестирования; планы обеспечения качества, стандарты и графики; планы поддержки, развития и использования.

Документация продукции ГИС должна определять виды геоинформационной продукции, обеспечивать информацию, необходимую для производства, преобразования, обновления, определения качества

и передачи продукции, создаваемой в процессе эксплуатации ГИС. Типовыми документами продукции ГИС могут являться: описание продукции, включая форму, вид, территориальный охват, показатели качества содержания, цифрового представления и проч.; спецификация внешних форматов представления и форматов передачи.

Документация управления ГИС-проектом должна создаваться на основе информации управления проектом, такой, как: планы и графики каждой стадии процесса создания ГИС и отчеты об изменениях графиков; отчеты о согласованных изменениях первоначального проекта разработки; отчеты о решениях, связанных с разработкой; распределение обязанностей среди разработчиков; принятые стандарты и нормативные документы создания и эксплуатации ГИС и использования геоданных в предметно-проблемных областях, определенных заказчиком на разработку ГИС.

6. Опыт применения ГИС

6.1. Использование ГИС-технологий

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

ГИС используются для решения самого широкого круга задач, основные из которых можно сгруппировать следующим образом: поиск и рациональное использование природных ресурсов; планирование и управление размещением промышленности, транспорта, сельского хозяйства, энергетики и др.; мониторинг экологических ситуаций и опасных природных явлений, оценка воздействий на среду и их последствий, обеспечение экологической безопасности страны и регионов; контроль условий жизни населения, здравоохранение, социальное обслуживание и т. п.; обеспечение деятельности органов власти, политиче-

ских партий, средств массовой информации; научные исследования и образование; создание тематических карт и атласов, обновление карт, оперативное картографирование [37].

Перспективным направлением является развитие мобильных географических служб, когда с использованием ГИС предоставление географических данных и их обработка выполняются по беспроводным сетям [33]. В этой новой сфере ГИС-приложений географические службы получают запросы от клиентов (пейджеров, телефонов, карманных персональных компьютеров и т. п.) на географические данные и результаты их обработки (например, создание карты, геокодирование (адресный поиск), загрузку данных по какому-то району местности). Операции запроса, анализа и картирования выполняются на сервере, а результаты отображаются у клиента. Результатом может быть карта, список геокодированных адресов, или файл данных.

Существующие ГИС различаются по пространственному охвату и назначению. Принято различать следующие территориальные уровни ГИС и соответствующие им масштабы: глобальные (1:1 000 000 – 1:100 000 000), национальные (1:1 000 000 – 1:10 000 000), региональные (1:100 000 – 1:2 500 000), городские (1:1 000 – 1:50 000), локальные (заповедники, национальные парки и др.) (1:1 000 – 1:100 000).

В обозримом будущем перспективы развития картографии почти целиком связываются с геоинформационным картографированием. В этой связи существенно сократится необходимость готовить печатные тиражи карт. По запросу можно будет всегда получить на экране электронную карту изучаемой территории. Недалеко то время, когда компьютерные картографические изображения создадут полную иллюзию реальной местности [37].

6.2. Глобальные и международные проекты

В число известных крупных геоинформационных проектов входит комплексный электронный атлас «Наша Земля». Первая презентационная версия электронного атласа «Наша Земля» состоялась в СП «Дата+» 5 января 1996 г. (Россия). Идея его создания принадлежит двум известным ученым: академику РАН А. А.Лютому – заведующему лабораторией картографии Института географии РАН и Дж. Данджермонду – президенту ESRI Inc. Атлас был задуман как континентально-тематический, в состав которого входят следующие груп-

пы карт: 1. Социальные карты (Политические границы. Плотность населения. Крупные города). 2. Экономические карты (Полезные ископаемые. Добывающая промышленность. Обрабатывающая промышленность. Транспорт. Производство электроэнергии). 3. Карты ресурсов (Почвы. Растительность. Использование земель. Сельское хозяйство. Антропогенные ландшафты. Ареалы животных. Охраняемые территории). 4. Геологические карты (Геологическая структура. Геоморфологическая структура. Четвертичные отложения. Землетрясения. Вулканы. Ударные кратеры. Высочайшие вершины мира). 5. Гидрографические карты (Гидрографическая сеть. Полный речной сток. Крупные водохранилища. Подземный сток. Снежный покров. Ледники). 6. Климатические карты (Солнечная радиация. Осадки. Температура воздуха. Число дней со снегом. Безморозный период. Вечная мерзлота).

В итоге – атлас содержит 262 карты, сгруппированные в 6 разделов и 44 темы на каждый из 5 континентов (Сев. и Южную Америку, Евразию, Африку, Австралию). Многие из бумажных карт были созданы специально для этого атласа и поэтому уникальны. Карты были подготовлены в масштабах 1:20 000 000 – 1:25 000 000 для всех континентов, а для Европы – в масштабе 1:10 000 000. В качестве основы выбрана американская электронная базовая карта ArcWORLD, оцифрованная в ESRI с карт масштаба 1:3 000 000 и генерализованная до масштаба 1:25 000 000. Атлас проиллюстрирован 119 космическими снимками и слайдами, имеющими координатную привязку и краткие описания [29].

Известным межнациональным ГИС-проектом является ГИС Балтийского университета (BUGIS) [23]. Проект предусматривает создание геоинформационной системы и базы данных на водосборный бассейн Балтийского моря. Проект основан на использовании карт масштаба 1:500 000 и физико-географической и социально-экономической информации по странам Балтийского региона.

В настоящее время материалы проекта по Балтийскому региону представлены в Internet на сайте <http://www.grida.no/boing>. Этот сайт разработан информационным центром природоохранной программы Организации Объединенных Наций, как часть проекта Службы онлайн-интерактивной географической и природоохранной информационной программы (BOING), спонсируемого Европейским Сообществом. На сайте представлена разнообразная информация о странах ре-

гиона, экологических организациях, проводимых ими мероприятиях в области охраны природы. По этим же материалам дополнительно создан web-сайт атласа Балтики.

С помощью стандартного Web-браузера теперь можно просматривать и создавать карты природной среды Балтийского региона. Web-сайт атласа Балтики работает под управлением картографического серверного приложения ArcIMS. Он позволяет выбрать тематические данные: например, землепользование, политические границы, водосборы или плотность населения, отобразить их вместе с другими данными и создать карты на нужную территорию в пределах региона. Представленные данные сфокусированы на факторах, воздействующих на природу региона. Большое внимание уделено экологическим и экономическим аспектам евтрофикации, которая пагубно влияет на биоразнообразие, сокращает рыбные ресурсы, снижает рекреационный потенциал прибрежных областей Балтийского моря.

6.3. Национальные программы

Примером использования ГИС для пространственного анализа медико-биологических данных в крупном эпидемиологическом исследовании является работа по созданию йодной карты Беларуси [28]. Методами интерполяции поверхностей в ArcView Spatial Analyst были созданы гриды, представляющие модели непрерывного пространственного распределения на территории Беларуси таких показателей, как йодная обеспеченность и развитие зоба.

Использование ГИС-технологий в Национальной системе мониторинга окружающей среды Республики Беларусь позволяет интегрировать и анализировать информацию о состоянии компонентов природной среды со стационарных пунктов наблюдений [9].

На примере составления комплекса электронных карт хозяйств «Колхоз им. Ленина» Червенского района Минской области, «Судково» Хойникского района Гомельской области с использованием ГИС решаются вопросы оперативной оценки плодородия почв, проверки моделей по прогнозированию и планированию выноса радиоактивных материалов продукцией растениеводства [38].

Отраслевая ГИС «Лесные ресурсы» создается для лесхозов и лесничеств на основе белорусского ГИС-продукта – ГИС FORMAP, а на республиканском уровне (Минлесхоз, ГЛПО «Белгослес») – в системах

ArcView GIS и ARC/INFO. В настоящее время из 87 лесхозов Минлесхоза республики Беларусь ГИС FORMAP внедрена на 45 предприятиях. Данная система включает картографическую базу данных (электронные цифровые лесоустроительные планшеты М 1:10 000) в формате DXF и атрибутивную базу данных в формате DBF. Основное применение ГИС FORMAP при непрерывном лесоустройстве – внесение текущих изменений в картографическую и атрибутивную базы данных, актуализация лесного фонда, получение достоверной и оперативной информации о лесных ресурсах [7].

7. Перспективы развития ГИС

7.1. SDE-технологии в ГИС

При переходе крупных подразделений или всей организации к работе с ГИС целесообразно использовать SDE-технологии. Программное обеспечение Spatial Database Engine (SDE) позволяет создать современную многопользовательскую корпоративную систему. SDE, как мощный сервер баз данных, обеспечивает возможности одновременного обращения и быстрого получения ответов на пространственные запросы многих клиентов [13].

С помощью SDE можно управлять большими объемами данных, распространяемых через различные платформы и СУБД. SDE-технология предоставляет разнообразные возможности оперирования географическими данными, проведения их многостороннего пространственного анализа, рассылки данных и результатов анализа по сети, введения функций запроса и анализа в любые приложения. Работать с базой одновременно могут много (сотни и даже тысячи) клиентов-пользователей, в том числе и не пользователи ГИС, часто не имеющие навыка работы с геоданными.

SDE – это не ГИС в традиционном понимании и не обычная картографическая система. По сути, это инструмент доступа к географической информации на программном уровне, предоставляющий пользователям набор средств оперирования геоданными [1].

К функциональным возможностям SDE относятся:

- § Управление миллионами пространственных объектов, хранящихся в базах данных по земельным участкам, дорогам, инженерным сетям и т. д.

- § Очень быстрый доступ к данным и проведение выборок. Благодаря кооперированию процессов в клиент/серверной архитектуре, SDE работает быстрее всех других аналогичных технологий, позволяя при пространственных запросах проводить поиск требуемых объектов за доли секунды. Очень незначительное снижение производительности происходит лишь при одновременной работе нескольких десятков или даже сотен клиентов.
- § Использование функций пространственного и геометрического анализа для изучения спроса на недвижимость, построения буферов вокруг охраняемых территорий, оценки риска вредного воздействия на окружающую среду и т. д.
- § Получение доступа к пространственным данным через локальные и глобальные сети. Используя протокол TCP/IP и XDR, SDE-технология обеспечивает быстрый доступ к данным через различного рода сети, включая системы UNIX, Windows 3.1, Windows NT и Windows 95.
- § Интегрирование своих приложений с ARC/INFO, ArcView GIS и MapObjects. Эти продукты ESRI могут быть установлены в качестве клиентов SDE.
- § Взаимодействие с другими информационными системами, работающими как с пространственными данными, так и не имеющими средств для работы с ними, но в которых требуется пространственный анализ.

7.2. Интеграция ГИС и глобальной сети Internet. Web-картографирование

Развитие и совершенствование сетевых коммуникаций сопровождается процессами интеграции ГИС и глобальной сети Internet. С помощью стандартного Web-браузера можно просматривать и создавать карты. Технологии Web-картографирования позволяют в интерактивном режиме через Internet выбирать с удаленных компьютеров тематические данные и их обрабатывать.

Наиболее распространенными программными обеспечениями для организации картографических серверов Internet являются: MapObjects Internet Map Server, который является компонентой для публикации карт в Intranet/Internet, MapGuide фирмы AutoDesk, GeoMedia Web Map

– Intergraph, Spatial Net – ObjectFX и ArcView Internet Map Server (ArcIMS), который представляет собой готовое средство для публикации карт в Intranet/Internet компании ESRI Inc. Например, программа MapObjects Internet Map Server обеспечивает технологические средства для доступа к базе данных ГИС через Internet, разработки собственных приложений для создания карт по имеющимся собственным данным, поддержки пространственных запросов к Web-серверу с любого места в сети [13].

Соответственно ArcView Internet Map Server предоставляет готовые средства для распространения картографических материалов через Internet без необходимости дополнительного программирования и обеспечивает интеграцию географических данных из многих источников для их отображения и анализа на настольном компьютере. ArcIMS может обеспечить одновременный доступ к данным, расположенным в сети Web и к расположенным локально шейп-файлам, слоям Spatial Database Engine (SDE) и растровым изображениям [13]. Примером реализации интегрированной технологии web-gis является Web-сайт атласа Балтики, который работает под управлением картографического серверного приложения ArcIMS (<http://maps.grida.no/Baltic>).

В целом в настоящее время на базе данных программных продуктов в сети Internet уже созданы или создаются информационные серверы, позволяющие осуществлять Web-картографирование. Простейший сервер состоит как минимум из двух базовых функциональных блоков: пользовательского интерфейса (непосредственно – сервер) и геоинформационного «ядра» (условно ГИС-сервер).

Это дает основание в дальнейшем для простоты называть серверы, интегрирующие Web- и ГИС-технологии с целью организации сетевого взаимодействия с геопространственными данными в форме Web-картографирования Web-серверами [45]. В свою очередь, геоинформационное ядро такого Web-сервера может иметь как бы собственное «продолжение», например, в виде обширной базы картографических и атрибутивных данных, для поддержки и редактирования которых используется профессиональная ГИС.

Web-сервером управляет специальная программа, которая, с одной стороны, по итогам взаимодействия с пользователем формирует CGI-скрипт (содержащий управляющие параметры для геоинформационного «ядра»), с другой – принимает результат работы этого «ядра» в виде, как правило, растрового изображения синтезированной карты и разме-

щает его на HTML-странице. Таким образом, функциональные возможности подобных серверов во многом определяются тем, насколько широко и разнообразно могут быть представлены в формальном стандарте CGI запросы пользователя и насколько оперативно и адекватно эти запросы, «прочитанные» геоинформационным ядром, могут быть воплощены им в виде готового картографического изображения.

Одним из пионеров среди подобных серверов по праву считается National Atlas Information Service (NAIS) Канады (<http://ellesmere.corn.emr.ca/vvnaismap/naismap.html>), прототип которого был готов еще весной 1994 г. На сервере NAISmap размещены тематические карты из электронного атласа Канады.

Сейчас в набор функциональных возможностей различных Geb-серверов входят, как правило:

- § позиционирование запрашиваемой карты в рабочем окне HTML-страницы по географическим координатам центральной точки, номенклатурным разграфкам листов, собственным названиям картографируемых территорий, почтовому адресу объекта;
- § смещение карты относительно рабочей рамки HTML-страницы по румбам на заданный шаг;
- § масштабирование карты;
- § выбор картографических слоев и их цветное/штриховое оформление;
- § подключение косметических слоев с внемасштабными знаками и подписями;
- § авторское редактирование косметического слоя и создание его пользовательского варианта с возможностями последующего просмотра иными клиентами;
- § создание тематического слоя определенным картографическим способом изображения по выбранному показателю.

Новые возможности для организации Web-картографирования предоставляют специально разрабатываемые модули типа plug-in. Эти модули, по сути дела, добавляют стандартному Web-навигатору возможность читать документы, выполненные в векторных или растровых картографических форматах конкретных ГИС или более универсальных графических форматах. Так, подобный модуль, названный ActiveCGM, предлагается Intergraph Corp в качестве обязательного plug-in компонента интерактивной работы со специально созданным

программным продуктом GeoMedia Web Map. Практически ActiveCGM – это формат представления картографических данных, с помощью которого GeoMedia Web Map передает их от сервера клиенту. По сравнению с подходом, когда сетевое взаимодействие с геоданными организовано исключительно посредством скрипта CGI и осуществляется стандартным Web-навигатором, использование модуля plug-in требует его физического присутствия на компьютере клиента и «подключения» к его Web-навигатору. Хотя подобные модули в Internet распространяются свободно и их размер по нынешним мировым меркам совсем невелик (до 2 – 3 Мб), это все же доставляет пользователям (особенно тем, для которых пока существуют определенные ограничения работы в Internet) ряд неудобств. По этим же причинам весьма ограничено число Geb-серверов, использующих сетевые приложения, реализованные на Java.

7.3. Экспертные системы и ГИС

В последние годы в технологию ГИС стали широко внедряться экспертные системы. Экспертную систему можно определить как систему «искусственного интеллекта», использующую знания из сравнительно узкой предметной области для решения возникающих в ней задач, причем так, как это делал бы эксперт-человек.

Компьютерные системы, которые могут лишь повторить логический вывод эксперта, принято относить к экспертным системам первого поколения. Экспертные системы, относящиеся ко второму поколению, называют партнерскими, или усилителями интеллектуальных способностей человека.

Отличительная черта экспертных систем – это умение обучаться и развиваться, т. е. эволюционировать [35]. Экспертные системы в географии используются для управления базами данных, для принятия управленческих решений, в вопросах классификаций в географии, возможности экологически безопасного размещения производства и т. д.

Экспертные системы подразделяются на: интерпретирующие, т. е. позволяющие на основе имеющихся фактов делать описания и выводы; прогнозирующие, т. е. выводящие следствия из совокупности состояний исследуемых явлений, например прогноз погоды, урожайность сельскохозяйственных культур и др.; диагностики, проектирования, планирования, обучения, ремонта и т. д.

Для экспертных систем необходимы три компонента: факты, правила и управляющие структуры. Архитектура, основанная на правилах, содержит большое число таких элементов, как: **если** (условие 1), **то** (действие 1); **если** (условие 2), **то** (действие 2); **если** (условие 3), **то** (действие 3) и т. д. Каждый их подобных элементов называется правилом. Вся структура экспертной системы состоит из 4–5 компонент: базы знаний, машины вывода, системы накопления метазнаний (для самообучения системы), системы объяснений и общения с пользователем.

Знания в базе знаний представлены семантическими сетями с произвольной структурой и регуляризованными сетями-фреймами. Фреймы выражают общие понятия, а слоты или ячейки дают их детализацию, что приводит к типичной иерархической структуре. Например, фреймовое представление знаний на примере оценки состояния природной среды в условиях загрязнения. Образовав фрейм «состояние природной среды», в качестве слотов выступают определения: «степень загрязненности атмосферы», «загрязнение поверхностных и подземных вод», «состояние геологической среды», «состояние растительного покрова» и т. д.

Каждый слот кроме имени может иметь одно или несколько значений (качественных или количественных), например «выбросы вредных веществ в атмосферу» характеризуются: «изобутилен» «200», «600», «400», «600», где 1-е значение – фоновое, 2-е значение – максимальные концентрации, 3-е значение – реальные концентрации, 4-е значение – предельно допустимые концентрации.

Примером экспертной системы в географии может служить Litho 1.0, разработанная во ВНИИ космоаэрогеологических методов (Россия) для дешифрирования вещественного состава коренных горных пород [11].

Экспертная система (ЭС) Litho 1.0 способна поддерживать базу данных в виде классифицированного набора аэро- и космических снимков, их описаний и схем дешифрирования, а также базу знаний в форме правил анализа материалов дистанционного зондирования Земли и условий их применения.

Экспертная система дает возможность аккумулировать имеющийся опыт экспертов и позволяет геологу-интерпретатору использовать накопленные в отрасли знания в повседневной практической работе.

Составными частями ЭС являются пользовательский интерфейс, база данных (БД), база знаний и набор инструментальных средств.

Основными функциями пользовательского интерфейса являются: просмотр изображений, составляющих базу данных системы, и материалов пользователя; поиск изображений, отвечающих заданным условиям; формирование описания фрагмента изображения для решения задач дешифрирования и получения экспертного заключения системы; просмотр описания правил дешифрирования, которыми пользуется ЭС в процессе логического вывода.

База данных содержит аэро- и космоснимки и их унифицированные описания по следующим разделам: тип и возраст горных пород; геоструктурное положение; форма залегания геологических тел; обнаженность и дислоцированность пород; климат; расчлененность рельефа; технические данные; комментарий.

База знаний поддерживает наборы дешифровочных признаков для различных условий классификации объектов дешифрирования, процедуры логического вывода для получения заключений о типе горных пород на основе имеющихся признаков и процедуры объяснения для обоснования сделанного заключения.

Схема описания включает следующие разделы: строение геологических тел; рельеф; гидрографическая сеть; растительность; тон (цвет) фотоизображения. ЭС в состоянии дешифрировать основные группы осадочных, магматических и метаморфических пород.

Инструментальные средства экспертной системы – это язык описания знаний и вспомогательные утилиты, предоставляющие следующие возможности: работа с неметрическими данными; проведение логического вывода, основанного как на нечетких знаниях, так и на нечетких данных; представление заключений в нечеткой форме; графическая форма языка представления знаний, позволяющая эксперту использовать при построении моделей только понятия из его предметной области; определение минимально требуемых заключений.

ЭС ориентирована на активный диалог с пользователем, она дает возможность мобильного извлечения из базы данных информации по заданной пользователем геологической ситуации.

В целом экспертные системы могут рассматриваться как одно из самых мощных средств географических исследований на ближайшую перспективу.

7.4. Геоиконика и ГИС

В 1985 г. А. М. Берлянтю была выдвинута идея разработки нового направления – геоиконика как синтетической отрасли знания, изучающей теорию геоизображений, методы их анализа, преобразования в науке и практике [8]. При этом геоиконика является не просто пограничной, а скорее связующей дисциплиной между картографией, аэрокосмическими методами и машинной графикой.

Автором выделены три класса геоизображений, различающихся прежде всего метрическими свойствами, методами получения, статичностью/динамичностью и назначением: плоские или двумерные геоизображения; объемные или трехмерные геоизображения; динамические трех- и четырехмерные геоизображения.

К плоским геоизображениям относятся карты и планы, знаковые, генерализованные модели, построенные в картографических проекциях: топографические, тематические карты самых разных масштабов, назначения и содержания, а также всевозможные производные картографические модели, аэро- и космические снимки, фотографии морского дна, телевизионные, радиолокационные, гидролокационные, сканерные изображения и т. п.

Объемные геоизображения объединяют трехмерные графические модели, зрительно воспроизводящие объемность реального мира.

Динамические геоизображения передают изменения объектов не только в пространстве, но и во времени. Это плоские или стереоскопические картографические фильмы и мультипликации, получившие название анимаций. По динамическим геоизображениям легко, например, следить за разрастающимися пятнами нефтяного загрязнения на поверхности океана, за путями перемещения очагов эпидемий, изменениями температурных полей на суше и в океане, за движениями ледников и т. п.

Новейшие компьютерные технологии позволяют перемещать картографическое изображение по экрану, менять скорость демонстрации, возвращаться к нужному кадру или двигаться в обратной последовательности. Отдельные знаки могут мигать, а фоновые окраски – пульсировать, как бы предупреждая об опасности, можно также выполнять панорамирование, изменять ракурс, поворачивать все изображение и даже создавать эффект движения над картой, словно совершая «облет» территории, причем с разной скоростью.

Кроме рассмотренных классов геоизображений, есть много комбинированных моделей, сочетающих в себе разные свойства. Например, широко распространенные космофотокарты (иконокарты), на которых знаковая картографическая нагрузка напечатана поверх фотоизображения, так что читатель одновременно видит и генерализованную карту, и детальный снимок одной и той же местности.

В других случаях фотоизображение как бы натягивается на трехмерную модель рельефа, в результате чего получаются фотоблок-диаграммы, обладающие большой наглядностью. К комбинированным геоизображениям относятся фототелевизионные и синтезированные многоспектральные снимки.

Решающую роль в становлении нового направления играют цифровое картографирование и геоинформационные системы. Именно с их помощью изготавливают электронные карты, трехмерные модели, анимации и сложные гипергеоизображения, предоставляющие пользователю информацию в формах, наиболее удобных для решения конкретных задач.

ЧАСТЬ 2

АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИС

1. Аппаратные средства ГИС

Задачи ГИС резко выделяются из других проблем, решаемых с помощью современной вычислительной техники. Для успешного использования всех преимуществ компьютерного проектирования и моделирования необходимо специализированное аппаратное обеспечение.

В настоящее время ГИС работают на различных типах компьютерных платформ – от централизованных серверов до отдельных или связанных сетью настольных компьютеров. Для ввода географической информации в ГИС необходимы периферийные устройства ввода – дигитайзеры, сканеры, устройства ввода данных и позиционирования курсора (клавиатура, мышь) и специализированная геодезическая аппаратура. Для вывода географической информации из ГИС необходимы периферийные устройства вывода, к которым относятся принтеры, плоттеры и некоторая другая специализированная аппаратура. Для хранения и архивирования информации необходимы устройства хранения информации (магнитооптические диски, сменные ZIP-диски, перезаписываемые оптические диски, стриммеры для резервного копирования данных).

Базовые технические характеристики компьютеров, используемых в ГИС, в целом определяются основными структурными компонентами:

- § микропроцессором, который управляет работой компьютера и выполняет все вычисления. В настоящее время наибольшее распространение получили процессоры Pentium Intel, AMD, Cugix. Быстродействие компьютера зависит от частоты используемого процессора – 1000, 1600 МГц и т. д.;
- § оперативной памятью, в которой располагаются программы, выполняемые компьютером в момент их работы и используемые ими данные. От объема оперативной памяти сильно зависит быстродействие ГИС;
- § контроллерами, которые управляют работой различных устройств компьютера (монитор, накопитель на магнитных и оп-

тических дисках и т. д.) и периферии (мышь, принтер, плоттер, сканер и т. д.).

На сегодняшний день для комфортной работы с программным ГИС-обеспечением можно рекомендовать следующую конфигурацию персонального компьютера – Pentium IV (процессор) / 512 MB (емкость оперативной памяти) / 40 GB (емкость жесткого диска) / 64 MB (емкость видеопамати) / 17" SVGA (размер диагонали цветного монитора).

Рабочая станция – это гораздо более мощный компьютер, отличительной особенностью которого является возможность подключения большого количества менее мощных персональных компьютеров. Поскольку функционирование большинства ГИС связано с манипулированием графикой высокого качества, что требует огромных ресурсов по объему памяти и скорости работы, то рабочие станции в ГИС-технологиях получили наибольшее распространение. Базовые технические характеристики рабочих станций также определяются основными структурными компонентами: процессором, видеосистемой, системным интерфейсом. В настоящее время пользователи ГИС располагают рабочими станциями на базе разнообразных архитектур (RISC, SPARC, MIPS, PowerPC, Pentium Pro и т. д.) различных производителей (SUN, Silicon Graphics, Digital, Hewlett-Packard, IBM и др.).

По способу объединения технических средств можно выделить: автономные рабочие станции; многотерминальные ЭВМ; одноранговые локальные сети; локальные сети с выделенным сервером; гетерогенные сети со сложной структурой. По используемым техническим средствам и периферийному оборудованию ГИС можно выделить:

- § ГИС минимальной конфигурации – монитор 15 дюймов, устройства ввода данных и позиционирования курсора (клавиатура, мышь), устройства вывода информации (матричный, струйный или лазерный (светодиодный) принтеры формата А4; карандашный, перьевой или струйный плоттер формата А1), устройства хранения информации (стриммер для резервного копирования данных).
- § Технически развитые ГИС – один или несколько мониторов от 17 дюймов и выше, устройства ввода данных и позиционирования курсора (клавиатура, мышь); дигитайзер (цифровой планшет) формата А0; сканер формата А1-А0; устройства вывода информации (струйный или лазерный принтер формата А3-А4); один или несколько плоттеров формата А1-А0 (перье-

вой рулонный, струйный, лазерный); устройства хранения информации (магнитооптические диски, сменные ZIP-диски, перезаписываемые оптические диски).

В настоящее время на рынке представлен широкий ассортимент аппаратного обеспечения ГИС, такого, как мощные графические рабочие станции отечественного и зарубежного производства; серверы для управления корпоративными данными; графические планшеты (дигитайзеры); профессиональные широкоформатные плоттеры и сканеры; инженерные широкоформатные копировальные устройства.

2. Периферийные устройства ввода данных в ГИС

2.1. Дигитайзер

Дигитайзер – это устройство планшетного типа, предназначенное для ввода информации в цифровой форме. Дигитайзер состоит из электронного планшета и курсора. Дигитайзер имеет собственную систему координат и при передвижении курсора по планшету координаты перекрестья его нитей (визира) передаются в компьютер. Размеры планшета дигитайзера колеблются от А4 до А0.

Точность является основной характеристикой дигитайзера и включает в себя следующие факторы: точность курсора; совпадение электронного центра с центром визира (10 мкм); величина зазора между поверхностью дигитайзера и поверхностью курсора (10...50 мкм); качество визира, наличие линзы с 2–4-кратным увеличением; подсветка; точность поля (величина отклонения проволочных или печатных проводников от идеальных прямых); разрешение (минимальный шаг, с которым может считываться информация); повторяемость (способность дигитайзера воспроизводить координаты считываемой точки без изменений); стабильность (способность дигитайзера воспроизводить координаты считываемой точки без изменений в течение длительного времени).

Достоинствами дигитайзера являются: наиболее высокая точность оцифровки, возможность расслоения по цветам, возможность работы с носителями информации, имеющими большую толщину (до 5 мм), возможность оцифровки плохо сохранившихся или сильно загрязненных документов, получение векторных моделей данных. Что касается

недостатков, то здесь выделяется необходимость постоянной визуальной проверки вводимой информации, что заставляет оператора переводить взгляд от дигитайзера к компьютеру, что быстро вызывает усталость, а следовательно, возможность пропуска информации.

На рынке компьютерной периферии представлены широкоформатные дигитайзеры CalComp серии DrawingBoard III для САПР и ГИС. ГИС-разработчикам предлагаются модификации дигитайзеров со стандартной точностью ($\pm 0,2$ мм), повышенной ($\pm 0,1$ мм) и высокой ($\pm 0,05$ мм). Модели дигитайзеров с высокой точностью комплектуются курсором с подсветкой рабочей зоны с разными типами указателей: (беспроводной 4-х или 16-ти кнопочный курсор).

В настоящее время наряду с дигитайзерными технологиями все большее распространение получают методы оцифровки карт путем сканирования с последующей векторизацией растрового изображения.

2.2. Сканер

Сканер – устройство автоматической оцифровки графической информации. Современный сканер функционально состоит из двух частей: сканирующего механизма и программной части (TWAIN-модуль, система управления цветом и прочее). Без собственного драйвера сканер работать не сможет, так как не является стандартным для Windows устройством.

Производятся модели монохромных и цветных сканеров. Монохромные сканеры могут работать в двух режимах – черно-белом и полутоновом. При полутоновом режиме число градаций серого составляет 256 оттенков. В цветных сканерах применяется кодирование, обеспечивающее воспроизведение палитры в 17,8 млн различных оттенков.

Все существующие на данный момент сканеры можно разделить на 5 подгрупп: *ручные сканеры; листовые (протяжные) сканеры; планшетные сканеры; слайд-сканеры; барабанные сканеры.*

Ручные сканеры – это достаточно простые компактные устройства, предназначенные для сканирования небольших участков изображения (любительских фото, небольших журнальных картинок, для web-мастеринга) с невысоким разрешением. Ручные сканеры обладают наименьшей ценой из всех групп сканеров, но, благодаря снижению стоимости планшетных сканеров, на сегодняшний день ручные сканеры практически не производятся и вытеснены с рынка. К основным

недостаткам ручных сканеров можно отнести довольно узкое поле сканирования (обычно 10 – 14 см), из-за чего часто приходится сканировать изображение в два приема с последующей склейкой изображения в компьютере, следствием чего практически всегда являются дефекты изображения. Второй существенный недостаток ручных сканеров кроется в их принципе действия, основанном на ручном перемещении сканирующего элемента по изображению, что приводит к неравномерности перемещения и смазыванию отсканированного изображения. Ручные сканеры обычно имеют достаточно медленный интерфейс передачи данных в компьютер, что также делает их непригодными для сканирования изображений высокого качества.

Листовые (протяжные) сканеры, по сравнению с ручными, обладают специфическими особенностями, которые можно трактовать как их преимущества. Листовые сканеры, как правило, представляют собой компактные устройства, позволяющие при помощи встроенного механизма равномерно (без передергиваний и вибрации) протягивать лист под сканирующим элементом. К достоинствам листовых сканеров можно отнести их компактность, легкое и недорогое подключение автоподатчика листов бумаги (для моделей, допускающих автоподачу). К недостаткам – невозможность сканирования сброшюрованных листов (книг, журналов), высокую критичность к качеству бумаги.

Планшетные сканеры являются на сегодняшний день наиболее универсальными и популярными устройствами, предназначенными для сканирования текста и изображений. Богатый выбор дополнительного оборудования: слайд-адаптеры, податчики листов и др. позволяют им с успехом заменять листовые и слайд-сканеры. Широкий выбор устройств разного ценового диапазона и назначения позволяет говорить о доминирующем положении данной продукции на рынке. Планшетные сканеры комплектуются богатым набором программного обеспечения, включая графические редакторы, программы распознавания текста (OCR), TWAIN-модули, связывающие сканер с приложениями Windows. К недостаткам планшетных сканеров в первую очередь следует отнести не очень высокое разрешение, недостаточное для высококачественной цветной полиграфии, и малый динамический диапазон, мешающий считыванию и качественной передаче деталей в самых темных областях оригинала.

Слайд-сканеры – это узкоспециализированные устройства, предназначенные для ввода изображения с прозрачного материала (фотоплен-

ки) с высоким разрешением и качеством изображения. Они обладают ярко выраженной профессиональной направленностью и высокой стоимостью. Слайд-сканеры могут иметь специализированные механизмы для подачи пленки и коррекции изображения. В отличие от планшетных сканеров, которые считывают картинку и в отраженном (непрозрачные), и в проходящем свете (прозрачные оригиналы), слайд-сканеры используются для сканирования только изображений на пленках. Обычно это очень маленькие оригиналы – 35-миллиметровые кадры. Такие сканеры обеспечивают очень высокое разрешение, но из-за микроскопичности оригинала окончательное изображение приходится увеличивать. Изображение, сканированное с разрешением 1200 пикселей на дюйм, увеличенное в четыре раза, имеет разрешение 300 пикселей на дюйм. В то же время слайд-сканеры предлагают лучший динамический диапазон и могут «видеть» очень мелкие отличия в цвете и оттенках серого даже в самой темной части спектра. Большинство слайд-сканеров снимают картинку, используя как минимум 10-битовую глубину цвета на каждый канал, а некоторые даже более 16 бит. Столь высокая чувствительность, учитывая ограниченные возможности использования устройства, делает слайд-сканеры приемлемыми для профессионального графического дизайна или медицины.

Барабанные сканеры представляют собой профессиональные стационарные устройства, предназначенные для применения в полиграфии и сканирования крупноформатных изображений. Основным преимуществом барабанных сканеров является высокая скорость и точность сканирования, благодаря стационарно закрепленному сканирующему элементу и высокой равномерности вращения барабана с размещенным на нем сканируемым изображением. Барабанные сканеры имеют высокую стоимость.

Сканер, использующий технологию CIS (ContrastImageSensor), отличается отсутствием оптики. Приемный элемент с шириной, равной ширине рабочего поля, располагается на подвижной каретке с лампой и непосредственно воспринимает отраженный от сканируемого оригинала свет. Достоинства этой технологии: простота конструкции и малая высота сканера. Недостатки: высокие шумы, низкая разрешающая способность, очень малая глубина резкости. Данный тип сканеров практически не применим для полноцветных работ, поэтому данная технология наиболее часто применяется в листовых сканерах и сканерах, предназначенных для ввода текстов.

Сканер с ССD-матрицей. В сканере, использующем ССD-матрицу, оригинал располагается на прозрачном неподвижном стекле, вдоль которого передвигается сканирующая каретка с источником света (если сканируется прозрачный оригинал, используется так называемый слайд-адаптер – крышка, в которой параллельно сканирующей каретке сканера перемещается вторая лампа). Оптическая система сканера (состоит из объектива и зеркал или призмы) проецирует световой поток от сканируемого оригинала на приемный элемент, осуществляющий разделение информации о цветах – три параллельных линейки из равного числа отдельных светочувствительных элементов, принимающие информацию о содержании «своих» цветов. В трехпроходных сканерах используются лампы разных цветов или же меняющиеся светофильтры на лампе или ССD-матрице, и сканирование происходит в три этапа. Приемный элемент преобразует уровень освещенности в уровень напряжения. Далее, после возможной коррекции и обработки, аналоговый сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП). С АЦП информация выходит уже в «знакомом» компьютеру двоичном виде и, после обработки в контроллере сканера, через интерфейс с компьютером поступает в драйвер сканера – обычно это так называемый TWAIN-модуль, с которым уже взаимодействуют прикладные программы.

Разрешение – это важнейший параметр сканера, показывающий, каким количеством пикселей будет описываться отсканированное изображение. Единицы измерения этого параметра – dpi (количество точек на дюйм).

Быстродействие сканера оценивается либо временем сканирования документа определенного формата (в секундах), либо скоростью движения бумаги (дюйм/с). Скорость сканирования зависит от заданного разрешения. Обычно этот параметр приводится для разрешения 200 dpi. Все современные модели сканеров имеют развитое программное обеспечение, которое позволяет получать файлы растровых форматов.

Из числа предлагаемых на рынке моделей сканеров для ГИС можно отметить сканеры Contex серий Chameleon и Cougar, рис. 31.

Сканеры серий Chameleon и Cougar предназначены для работы с форматами до А1 по ширине, а их характеристики соответствуют широкоформатным профессиональным сканерам в области САПР и ГИС. Подключив сканер Chameleon, Cougar или Crystal к широкоформатно-

му цветному принтеру, можно получить совершенное цифровое копировальное устройство. Механизм подачи All-Wheel-Drive подстраивается по контуру оригинала, а специальные резиновые ролики обеспечивают подачу оригиналов без перекоса и деформации. Допускается сканировать оригиналы толщиной до 15 мм, в том числе изображения на пенокартоне и других материалах. Цветные сканеры Contex – единственные широкоформатные устройства, которые могут быть настроены пользователем так, чтобы сканирование в цвете всегда соответствовало международным стандартам. Уникальная система точности цветопередачи позволяет в любое время откалибровать сканер непосредственно на рабочем месте.



Рис. 31. Сканеры Contex серий Chameleon и Cougar

Монохромные роликовые сканеры серии FSS предназначены для использования в САПР и ГИС. Сканеры работают с форматом A0; шириной бумаги 152.4 – 1016 мм; максимальная ширина поля сканирования 965 мм; длина не ограничена; 256 полутонов; интерфейс SCSI-II, платформы DOS, Windows, UNIX (SUN, Silicon Graphics, и др.). Режим работы сканера предусматривает функции обработки раstra в реальном времени: кадрирование, инверсия, выравнивание, устранение «мусора», заполнение пропусков в линиях, поворот изображения; 2-D адаптивный порог для сканирования неконтрастных оригиналов (синьки); преобразование между различными выходными растровыми форматами; просмотр, масштабирование и печать отсканированных изображений.

Также хорошо себя зарекомендовали широкоформатные сканеры американской фирмы «Vidar System»: монохромные – Vidar TruScan Select и цветные – Vidar TruScan Titan. Эти сканеры предназначены для сканирования документов большого формата в таких областях, как САПР, тиражирование, ГИС, картография.

Для высокоточного сканирования изображений на гибких носителях, особенно ветхих, прекрасно подходят барабанные сканеры. Отлично зарекомендовал себя сканер ProfScan 5020С российской разработки для сканирования монохромных и цветных карт.

Для сканирования аэрофотоснимков можно использовать старшие модели планшетных сканеров, поскольку точность профессиональных сканеров, как по геометрии, так и по глубине передачи полутонов, вполне достаточна для этого вида документов. Например, картографический планшетный сканер «План-Скан», который предназначен для сканирования карт на носителе любой толщины, рис. 32.

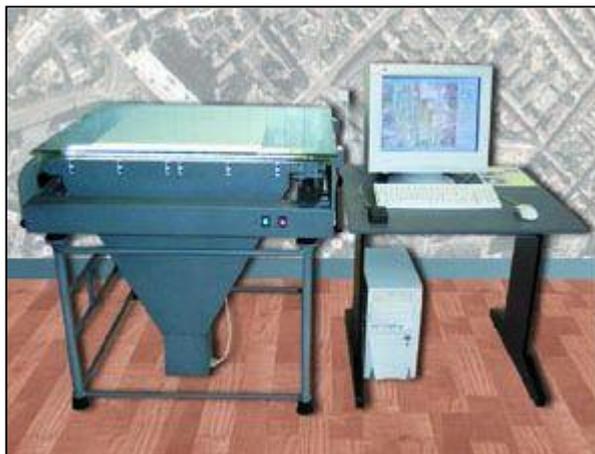


Рис. 32. Картографический планшетный сканер «План-Скан»

Фотограмметрические сканеры предназначены для высокоточного сканирования: космических снимков, аэрофотоснимков. Для этих целей используется сканер ProfScan Photo российской разработки [48], цветной фотограмметрический сканер «Дельта-Скан».

В целом рынок сканеров в настоящее время достаточно наполнен и выбор моделей определяется потребностями пользователя.

В заключение необходимо отметить, что в качестве отдельного вида применения растровых данных в ГИС можно рассматривать использование отсканированных растровых карт. Такие карты используются как растровая подложка для векторной ГИС, часто значительно повышая наглядность представления информации при одновременном значительном снижении затрат на создание пространственной базы данных. Как правило, бумажные карты необходимо сканировать с разрешением не более 600–500 точек на дюйм – это вполне доступно обычному недорогому офисному сканеру (часто достаточно и меньшего разрешения) [27].

3. Подготовка сканированной информации для использования в ГИС

Даже самый совершенный сканер не может компенсировать все недостатки бумажных оригиналов, используемых при сканировании. Полученный при сканировании растровый файл перед использованием в ГИС приходится корректировать специализированными программными средствами.

Специфика обработки сканированных картографических материалов связана прежде всего с тем, что они могут быть очень большого размера (для современных сканеров формат А 0 – далеко не предел). Кроме того, следует учесть высокие требования к точности геометрии объектов изображения. Это особенно важно, если растр нужно использовать для векторизации. Поэтому в программах-корректорах используются специальные процедуры и средства, не применяемые в обычных растровых редакторах.

К числу наиболее распространенных дефектов получаемых растровых изображений после сканирования относятся: растровый мусор (шум, фон), небольшие отверстия в линиях, зазубренность краев растровых объектов. Подобные дефекты устраняются с помощью процедур фильтрации, когда все изображение или выбранная область обрабатывается по определенному алгоритму (фильтру).

Вторая группа дефектов, которые отмечаются на отсканированных растровых изображениях, – это геометрические искажения всего изображения: перекося (бумагу вставили в сканер с небольшим угловым отклонением), неправильная ориентация («бокком» или «вверх ногами»), нестандартный формат (отсканированная с перекося карта бу-

дет иметь нестандартные размеры) и т. п. Для устранения этих дефектов используют процедуры устранения перекоса или приведение размеров изображения к ближайшему стандартному формату. Средства растровой коррекции могут исправить значительные дефекты сканированных картизображений, но если в отсканированную карту нужно внести изменения по географическим объектам или возникает потребность использовать ее для расчетов, то необходимо применять другие методы, например векторизацию и гибридное редактирование.

4. Способы ввода графической информации в ГИС

Отсканированные растровые карты являются в настоящее время основным полуфабрикатом для ручной или полуавтоматической векторизации карт, поскольку дигитайзерные технологии практически уходят в прошлое за исключением отдельных, довольно редких ситуаций, где они все еще имеют преимущество перед сканерными.

Векторизация – процесс обработки (ручной, автоматической или полуавтоматической) растрового изображения бумажной карты или фотографии местности, в результате которого различаемые на растре формы объектов описываются (формируются, аппроксимируются) целостными векторными объектами [39].

При автоматической векторизации оператором указываются параметры и далее программа сама определяет, какие растровые линии нужно аппроксимировать отрезками, дугами, а что является растровым текстом. Профессиональные пакеты автоматической векторизации, например программы Vector, Spotlight Pro, RasterDesk Pro, EasyTrace, распознают типы линий, размерные стрелки, штриховки, тексты. Они проводят коррекцию полученного векторного рисунка: сводят концы векторных объектов, выравнивают их по ортогональным направлениям и т. д.

При высоком качестве исходного изображения можно получить очень хорошие результаты автоматической векторизации. Такой метод векторизации также используется при пакетной обработке набора растровых файлов, что дает возможность провести обработку большого объема материалов без участия оператора, например в нерабочее, ночное время. Но, как правило, программное обеспечение не может на сто процентов правильно векторизовать растровое изображение. Эту про-

цедуру лучше всего использовать как компонент процесса преобразования, а не как общее решение. Для получения качественного векторного изображения требуется достаточно большая доработка.

Интерактивная полуавтоматическая векторизация (трассировка) – один из наиболее перспективных методов преобразования растрового изображения в векторное. При трассировке оператор указывает растровые линии на экране и они преобразуются в векторные объекты. Этот метод позволяет совместить интуитивное знание пользователя с автоматизированным процессом преобразования. Средства трассировки позволяют оператору разделить объекты растрового изображения по значению и преобразовать только то, что необходимо.

Например, при обработке растрового изображения топографической карты можно сначала оттрассировать растровые изолинии в векторные полилинии. Оператор указывает точку на растровой линии, а программа прослеживает эту линию до ближайшего пересечения или разрыва и создает аппроксимирующую векторную ломаную полилинию. Затем процесс повторяется. После этого каждой полилинии можно присвоить значение высоты и получить трехмерную модель поверхности для ГИС. В режиме ручной векторизации оператор с использованием манипулятора ввода (мышь) пошагово трассирует растровые объекты.

Гибридная технология сочетает возможности растрового и векторного редактирования и предоставляет средства преобразования раstra в вектора и векторных объектов в растр. Изображения, с которыми работают гибридные редакторы, обычно состоят из графики двух видов: полученных при сканировании растровых данных и векторных объектов. Симбиоз растровых данных и векторных объектов дает качественно новые возможности обработки сканированных изображений.

Например, для изменения радиуса растровой окружности необходимо на нее указать курсором и она трассируется векторным кругом определенного радиуса. После необходимого изменения радиуса векторной окружности ее можно растеризовать. В итоге этих процедур радиус окружности изменен, а чертеж остался полностью растровым. Если же не растеризовать векторный объект, то чертеж можно сохранить как гибридный (растрово-векторный) файл. При следующем редактировании пользователь заменит еще несколько растровых объектов на векторные. Пройдя несколько стадий редактирования, чертеж постепенно становится векторным. В конечном итоге его можно дора-

ботать и получить чисто векторное изображение. Такой естественный, последовательный процесс векторизации возможен при выполнении гибридной технологии.

Гибридная технология стала возможна в результате разработки алгоритмов локального распознавания геометрических примитивов. С их помощью программа с высокой скоростью, не проводя анализа большого участка изображения, идентифицирует растровую линию как отрезок, дугу или окружность. Это дает возможность реализовать интерактивные операции, которые проводятся без ощутимых задержек. Подобные алгоритмы используются и при работе средств интеллектуального растрового редактирования.

Соответственно в процессе работы с ГИС-технологией, бывает необходимость представить имеющееся векторное изображение в растровой форме путем растеризации. Растеризация – операция дискретизации векторного изображения, имеющего единую координатную сетку с растром, в результате которой каждая точка растра (пиксел) получает значение локального свойства той части векторного объекта, положение которой совпадает с положением пиксела [39].

4.1. Экспресс-оценка точности цифровых карт

Создание цифровой картографической информации представляет собой сложный технологический процесс, который включает работу с классификаторами цифровой картографической информации, классификаторами справочно-технологических параметров, библиотеками условных знаков, правилами цифрового описания, форматами цифрового представления [6]. В этой связи на всех основных этапах создания цифровой карты в ГИС необходимо выполнять промежуточные формы контроля.

Первичным является контроль качества исходного картографического материала, на котором проверяется соответствие года издания и точность математической основы, т. е. размеры сторон и диагоналей для топографических карт не должны превышать 0,2–0,3 мм от теоретических, для обзорно-географических карт и планов городов – 0,3 и 0,4 мм от теоретических.

Контроль качества сканирования включает контроль точности и полноты результатов сканирования, а также оценку качества растрового изображения. Точность сканирования контролируется измерением

рамки и диагоналей растрового изображения исходного картографического материала. Отклонения не должны превышать 0,2 мм от фактических размеров. На растровом изображении должны быть все элементы исходного картографического материала, а само изображение не должно иметь разрывов, слипаний и посторонних шумов.

При контроле качества цифрования проверяются: точность цифрования, полнота оцифрованной информации, достоверность оцифрованной информации. Точность цифрования пунктов и точек геодезической основы, километровой и картографической сеток проверяется путем сравнения с теоретическими данными и со списками координат.

Остальная информация проверяется или путем наложения оцифрованной информации на растровое изображение или вывода контрольных точек на графопостроитель с последующим сравнением с исходным картографическим материалом.

Типичными ошибками являются: ошибка кода и характеристик объекта; ошибка в плановом положении объекта; образование петель; разбиение объектов на части; незамкнутые контуры; ошибка в абсолютной высоте объекта; ошибка рамки, планово-высотной основы; взаимного пересечения объектов, контуров; пропуск объектов; наличие двойных объектов; несоответствие рельефа орографическим линиям; несводка номенклатурных листов по внутренним и внешним рамкам; расхождение между положением точечного объекта и его изображением на цифровой карте более чем на 0,15 мм в масштабе карты, линейного – 0,2 мм, вершин углов рамки и пунктов геодезической основы, километровой и картографической сеток на 0,15 мм и др.

Также для быстрой оценки точности цифровой карты необходимо проверить значения реальных координат объектов карты в увеличенном масштабе изображения. Для проверки рельефа можно выборочно построить профили вдоль ломаных линий, проходящих по характерным участкам местности. При пересечении границ листов не должно происходить скачков.

Общее представление о качестве цифрования рельефа можно получить путем построения и визуализации простой трехмерной модели рельефа местности. Также осуществляется проверка объектов, которые располагаются на двух смежных листах карты.

4.2. Форматы графических данных

Географические информационные системы используют для ввода, выполняют пространственный анализ и подготавливают к печати пространственные данные в растровой и векторной формах. Наиболее распространенными растровыми форматами, используемыми в ГИС, являются TIFF, BMP, JPG.

TIFF (Tagged Image File Format) – это платформенно-независимый формат файла, предназначенный для обмена изображениями высокого качества между настольными издательскими системами и связанными с ними приложениями. Разрабатывается Aldus Corporation. Предполагает два варианта: основной и расширенный. Многочисленные расширения формата принимают форму дополнительных тегов в структуре файла. Формат TIFF считается одним из лучших форматов для изображений: компактен и хорошо оперирует черно-белыми и цветными изображениями, а также изображениями в градациях серого. Основным недостатком формата является большое количество расширений, что требует точной передачи в заголовке типа расширения.

GeoTIFF – это DRG расширение формата файла TIFF, предназначенное для передачи изображений, имеющих пространственную привязку. Разрабатывается лабораторией по разработке ракетных и реактивных двигателей (Jet Propulsion Laboratory) NASA. Формат поддерживает представления изображений, растр; дополнительно передается система координат, проекция, параметры геометрической коррекции.

BMP (bit map, bitmap) – простой и широко распространенный формат файла для хранения растровых изображений в виде битового двоичного массива, разработанный фирмой Microsoft. Используется также для экспорта и импорта изображений между приложениями операционных систем Windows и OS/2. Файлы аппаратно независимого BMP могут содержать изображения с глубиной пиксела 1, 4, 8 или 24 бита. Обеспечивает передачу 2, 16, 256 или 16 млн цветов. Для 4- и 8-битовых изображений иногда применяется сжатие RLE.

JPEG (Joint Photographic Experts Group) – объединенная экспертная группа по фотографии, рабочая группа по созданию стандартов видео- и мультимедийных изображений, в частности одноименного формата и стандарта JPEG для сжатия (упаковки) изображений на основе алгоритма косинусного преобразования DCT (Discrete

Cosine Transform). Формат представляет собой сжатый BMP. Позволяет передавать до 16 млн цветов с глубиной пиксела до 32 бит. Несмотря на медленную программную распаковку и упаковку, обеспечивает наилучшее сжатие за счет кодирования с большими потерями.

Из числа используемых в ГИС-пакетах векторных форматов следует отметить DXF, SXF, шейпы ArcView.

DXF (Drawing Interchange (eXchange) Format) – это открытый формат файла компании Autodesk Inc., предназначенный для обмена данными САПР. Формат является самым популярным для обмена данными, предусмотренного в большинстве коммерческих программных средств ГИС. Формат поддерживает векторную нетопологическую модель пространственных данных. Позволяет передавать фиксированное число атрибутов вместе с элементом векторного изображения.

SXF (Storage and eXchange Format) – это формат файла для хранения цифровой информации о местности, создания цифровых и электронных карт, обмена данными между различными системами и решения прикладных задач, разрабатываемый Топографической службой ВС РФ. Формат поддерживает векторную нетопологическую модель пространственных данных, использует иерархический классификатор для передачи атрибутивной информации. Позволяет также передавать номенклатуру листа, проекцию, систему координат, систему высот, масштаб и другие характеристики передаваемой цифровой карты.

Шейпы ArcView (SHAPEFILE) представляют собой простой открытый нетопологический формат хранения геометрической и атрибутивной информации о географически привязанных объектах, который представлен пятью файлами с определенными расширениями, которые следует сохранять в том же рабочем каталоге, что и соответствующий проект. Преимущество SHAPE-файлов – в поддержке атрибутивной информации и в том, что этот формат является базовым для популярной системы ArcView.

Этот формат постоянно совершенствуется, так, в 1997 г. в него были добавлены средства для корректного хранения трехмерной информации (т. е. наряду с X и Y введена еще и Z-координата). Благодаря этому, а также тому, что SHAPE-файлы легко переносимы между DOS/Windows и UNIX средами, формат SHAPEFILE, вероятно, с течением времени станет основным форматом обмена пространственной информацией с векторной формой представления для программных продуктов ESRI [25].

4.3. Обменные форматы в ГИС. Проблемы стандартизации обменных форматов

Формат F1M (формат цифровой картографической информации) в настоящее время утвержден Роскартографией (Россия) как единый формат обмена для отрасли [36]. В формате F1M (или в его более ранней версии F1) [44] накоплен большой банк данных цифровых карт в масштабе 1:1 000 000 на территорию России; продолжается накопление банка данных масштаба 1:200 000.

Цифровая картографическая информация номенклатурного листа в формате F1M состоит из паспорта номенклатурного листа и информации по 8 сегментам: математическая основа; рельеф; гидрография; населенные пункты; объекты промышленного и социально-культурного назначения; дорожная сеть; растительный покров; границы и подписи, а также файл справочной информации. Информация по каждому сегменту хранится в четырех файлах, в том числе в файлах семантической информации, метрической информации, формуляра сегмента.

Формат очень тесно привязан к конкретной технологии – картометрическому способу получения информации на территории, которая представлена не более чем 4 номенклатурными листами. Из этого предназначения формата вытекают его все принципиальные недостатки [36]. К их числу относится то, что формат рассчитан только на ту систему координат, высот и разграфку, которые приняты для номенклатурного листа, при этом не указывается определение системы координат, высот, единиц измерения и точности координат.

У формата отсутствует возможность передачи в метрическом файле третьей координаты (высота или какая-либо характеристика), при этом любые корректировки информации требуют просмотра и корректировки многих файлов. Формат перенасыщен избыточной и ненужной информацией, такой, как минимальные и максимальные номера объектов, длины файлов, число строк, нулевые строки в справочном файле.

Формат не поддерживает топологию объектов [44]. Это приводит к тому, что многие линейные объекты разорваны, а площадные объекты одного сегмента могут накладываться друг на друга и прилегающие объекты обязательно имеют двойные границы. Формат содержит почти в каждом слое объекты различного характера (точечные, линейные, площадные), а в современных коммерческих ГИС такие объекты помещены в разные слои-покрытия. Семантические характеристики в

F1M приписываются объектам или группам объектов, что вызывает трудности сохранения атрибутов при конвертации в другие форматы.

К сильным сторонам цифровых карт в формате F1M относятся следующие: объектный состав, как правило, отвечает соответствующим исходным номенклатурным картам; объекты имеют точную географическую привязку; атрибутивная информация по объектам соответствует той, которую можно получить из анализа исходных бумажных носителей.

В связи с массовым использованием коммерческих ГИС-пакетов актуальным является отработка технологии преобразования цифровых картографических данных и формата F1M в форматы используемых ГИС. Например, методика работ по технологии преобразования исходных цифровых топографических карт формата F1M в форматы ARC/INFO состоит из нескольких этапов.

На первом этапе информация цифровых карт разделяется на слои и покрытия в соответствии с принципами представления пространственных и атрибутивных данных в ГИС ARC/INFO. Имя каждого покрытия однозначно определяет класс объектов, отнесенных к покрытию, и характер их локализации (точечные, линейные и площадные).

На втором этапе выполняется построение первичной топологии покрытий в ARC/INFO. На третьем и четвертом этапах выполняется редактирование созданных покрытий со сверкой с бумажным оригиналом, исправлением ошибок, дополнением карты информацией.

На пятом этапе работы цифровая информация выгружается в международные форматы и архивируется.

GENERATE – формат, разработанный ESRI и используемый ARC/INFO (UNIX/NT и PC версии) в качестве одного из основных форматов обмена пространственной информацией [25]. Стандартное расширение – .gen. Данные в формате GENERATE представляют собой ASCII файлы (файлы GEN), в которых последовательно представлены объекты, характерные для векторной формы представления пространственной информации: точечные, линейные, полигональные и некоторые другие.

В одном файле может содержаться только один тип объектов. Формат не поддерживает топологические отношения между объектами. Не поддерживается также атрибутивная информация, однако имеется несложная процедура, позволяющая передавать атрибуты. Формат также позволяет хранить аннотации, регистрационные точки, маршру-

ты, связки (links), дуги, окружности и сети прямоугольных элементов (fishnet). Формат применим для обмена пространственной информацией между большинством систем. Благодаря своей простоте и тому факту, что ASCII-файлы используются в большинстве платформ, обменный формат GENERATE является универсальным средством для обмена пространственными данными между широким спектром систем в средах DOS/Windows 3.x/95/NT (GIS, CAD и т. д.) и UNIX. ASCII-файлы также можно просматривать и редактировать практически в любом текстовом редакторе.

5. Периферийные устройства вывода данных ГИС

В связи с тем, что потребность в картографической информации постоянно возрастает, для любой оперативной работы необходимы бумажные рабочие копии, даже если нужные архивные материалы уже имеются в ГИС. Одновременно возрастают требования к качеству картографической информации, сопровождающей различные конкурсы, тендеры, связанные с привлечением иностранных и отечественных инвесторов. Для вывода всех документов требуется огромное количество различных принтеров и плоттеров.

5.1. Принтеры

Принтеры предназначены для вывода информации на бумагу. Существует несколько тысяч моделей принтеров. Принтеры классифицируют следующим образом: матричные (9 и 24 иглоочные); струйные (10...60 с на стр.); литерные (20 с – 15 мин на стр.); лазерные (3...15 с на стр.), а также черно-белые и цветные.

В настоящее время рынок принтеров достаточно наполнен для обеспечения работ по созданию и эксплуатации ГИС. В качестве примера используемой модели принтера для ГИС можно указать на принтер XES ColografX X2 Tech 36"/54", который разработан для вывода инженерной, проектной и картографической продукции. Данная модель принтера выполняет высокое разрешение печати (360 или 720 точек на дюйм), что обеспечивает точное воспроизведение растровых изображений, линий и текста. Конструкция из шести печатающих головок и наполнение четырьмя цветами (голубой, пурпурный, желтый и

3 черных) обеспечивают высококачественную цветную печать и высокоскоростную черно-белую печать.

5.2. Плоттеры

Плоттер (или графопостроитель) – это устройство, которое позволяет получать выводимые из компьютера данные в виде технических чертежей, схем, карт и различных графиков, а также большеформатных рисунков и плакатов, выполненных на бумаге. Для нанесения на бумагу текста или графики плоттеры используют специальные перья, фломастеры или карандаши.

Все плоттеры можно разделить на два типа: векторные и растровые [48]. В векторных плоттерах пишущий узел перемещается по двум или одной координате, в растровых плоттерах используется принцип создания изображения заполнением поверхности носителя точками красителя. Так как в ГИС преобладают растровые изображения, то плоттеры второго типа более предпочтительны.

В свою очередь растровые плоттеры делятся по своим основным характеристикам, таким, как технология печати (струйная, электростатическая, лазерная и др.), формат вывода (A1, A0 и более), разрешающая способность печати (300 dpi, 600 dpi, 720 dpi и др.) и другим характеристикам (рулонная подача, система непрерывной подачи чернил). В борьбе технологий широкоформатной плоттерной печати побеждает струйная. Однако ее развитие продолжается: постоянно растет разрешение и производительность плоттеров.

Кроме струйных плоттеров, сегодня находится в эксплуатации небольшое количество электростатических и лазерных плоттеров. Все они имеют высокую производительность, а последний тип – еще и низкую стоимость расходных материалов. Их общим недостатком на сегодняшний день является весьма высокая цена (более \$ 20 000). Однако при очень больших объемах печати, за счет более дешевых расходных материалов, может оказаться более выгодным использование этих первоначально более дорогих устройств.

Основным и решающим аргументом при выборе плоттера для ГИС является точность. Согласно требованиям построения топографических планов, средняя квадратическая ошибка определения пункта не должна превышать 0,4 мм, которые складываются из двух ошибок: ошибки геодезических измерений; ошибки вычерчивания [40]. Например, струйные плоттеры компании Mutoh выпускаются с гарантированной

точностью вычерчивания $\pm 0,1\%$ или 0,25 мм. Учитывая, что топографические планы в большинстве случаев имеют размеры 500x500 мм, то при использовании данного плоттера допустимая погрешность для топографического плана составит ± 1 мм на 500 мм. Однако этот недостаток у плоттеров Mutoh решается путем подстройки точности, рис. 33.



Рис. 33. Плоттеры компании Mutoh для ГИС

Однако необходимо заметить, что искомая точность вычерчивания топографических планов достижима только на синтетических носителях (в частности, на полиэтилентерефталатных пленках). Это связано с тем, что носители на основе бумаги не обеспечивают требуемой точности, поскольку подвержены воздействию температуры и влажности воздуха. Наиболее распространенные модели плоттеров для использования в ГИС приведены в табл. 5.

Таблица 5

Наиболее распространенные ГИС-модели плоттеров

Модель	Скорость печати А1	Разрешение (min/max)	Точность	Технология печати
Mutoh Falcon RJ-800/801 (610/915 мм)	Мах. 131 с	360/720 dpi	$\pm 0,1\%$ или 0,25 мм	Пьезоэлектрическая
Mutoh Falcon RJ-4100 (935 мм)	Мах. 131 с	360/720/1440 dpi	$\pm 0,1\%$ или 0,25 мм	Пьезоэлектрическая
Canon VJ-W3000/3050 (610/915 мм)	Мах. 84 с	360 color/720 dpi mono	Нет данных	Термоструйная

5.3. Цветовая калибровка плоттеров и принтеров

Значительной проблемой при выводе картографических результатов ГИС на печать является получение ожидаемых цветов. Это обстоятельство связано с тем, что для работы с цветом на компьютере используется аддитивная цветовая модель, или палитра RGB (красный/зеленый/синий), а в плоттерах и принтерах (и вообще в полиграфии) используется субтрактивная цветовая модель, или палитра CMY (голубой/пурпурный/желтый), к которой добавляют еще черный цвет, чтобы не получать его смешением трех основных цветов. Палитру CMY с добавленным черным цветом называют CMYK, и именно она является базовой для любого печатающего устройства.

Таким образом, при выводе изображения из компьютера на плоттер (принтер) необходимо решить задачу преобразования палитры RGB в CMYK. К сожалению, эта задача не имеет однозначного и точного математического решения, и сегодня ее решают, используя таблицы соответствия цветов [34]. Естественно, нельзя задать точного соответствия для каждого из 16 млн оттенков при цветности 24 бита (тем более для миллиарда оттенков при цветности 36 бит), поэтому, аппроксимируя какие-либо цветовые переходы, табличные методы продуцируют ошибки (искажения цветов).

Поскольку различные программные продукты используют различные методы цветового преобразования, то при выводе одного и того же изображения из разных графических редакторов получаются отличающиеся отпечатки. Ситуация усугубляется тем, что в каждом типе плоттера и принтера используется своя модель формирования того или иного цвета (т. е. свои алгоритмы получения полутонов за счет псевдосмешения основных красок), и это также усложняет задачу воспроизведения истинных цветов. Отметим, что воспроизводимый цвет зависит от типа бумаги (пленки) и чернил и при их замене цвета будут «плавать». В этой связи целесообразным является использование системы калибровки цвета для плоттера (принтера).

Система калибровки цвета позволяет вывести из различных графических пакетов повторяющиеся и правильные по цветам изображения, используя при этом любые доступные расходные материалы за счет настройки на каждую отдельную ситуацию.

На сегодня оптимальным является использование денситометра DTP-51 фирмы X-Rite, мирового лидера на данном рынке. Денситометр

работает в комплексе с каким-либо растеризатором (например, программа PrintShop фирмы ScanVec). Работа по калибровке включает следующие этапы: получение на плоттере (принтере) тестового отпечатка, который вставляется в денситометр, и он производит его считывание. Далее денситометр сравнивает полученные цвета с эталонными, хранящимися в его памяти, и формирует таблицу коррекции, которая в автоматическом режиме передается по интерфейсу RS-232 в компьютер и записывается на жесткий диск.

После выполнения данной операции можно выводить изображение на плоттер из любой программы, используя файл коррекции и получая откалиброванное по цветам изображение. Такие файлы коррекции можно получить для разных типов бумаги, пленки и чернил и выбирая соответствующую настройку.

6. Подготовка к печати пространственных данных ГИС

До недавнего времени для подготовки карт к изданию использовались главным образом классические оформительские программные продукты, такие, как Adobe Illustrator, Corel Draw, FreeHand, Adobe Photoshop и т. п. Но использование программного обеспечения, не адаптированного для работ с географической информацией, не позволяет готовить тиражи с возможной оперативностью, а также может привести к таким грубым нарушениям, как искажение математической основы карты или ошибкам оформления, вызванным человеческим фактором. В большинстве случаев эти погрешности могут быть обнаружены при работе с картой с использованием ГИС или при специальном анализе [22].

ГИС позволяют оперативно с достаточной точностью переводить цифровой материал в нужную проекцию, подготавливать и оформлять тематические данные непосредственно из цифровых источников, применяя методики работ с векторным топологическим материалом.

Однако необходимо отметить, что ГИС-системы ориентированы на широкий спектр потребителей и задач, поэтому создаваемые с их помощью карты и планы часто являются упрощенными и даже примитивными, во многом проигрывая традиционно исполненным картографическим продуктам [43]. В этой связи прослеживается тенденция к созданию дополнительных функциональных возможностей в ГИС для качественного оформления картпредставления с грамотным, эстетиче-

ски привлекательным аннотированием, т. е. размещением текстовых подписей географических объектов.

Наиболее известными продуктами картпроизводства, работающими, например, с данными в формате ГИС ArcInfo, являются системы CPS шведской фирмы T-kartor и Maplex от ESRI. При этом, если CPS представляет собой надстройку над ARC/INFO, позволяющую создавать аннотации в формате ESRI, то Maplex является самостоятельной специализированной программой.

Основное назначение программы Maplex – автоматическое размещение текстовых подписей к географическим объектам и подготовка к изданию высококачественных карт. По оценкам разработчиков, использование Maplex позволяет сократить время подготовки карт на 40 %.

Maplex использует цифровые картографические данные, отображает их в соответствии со спецификациями пользователя и автоматически размещает подписи географических объектов. С помощью Maplex можно автоматически размещать подписи к точечным, линейным, полигональным элементам карты по правилам, которые редактор формулирует и оформляет в виде специальной базы правил. Кроме этого, картосоставительская программа позволяет готовить карты в форматах PostScript, Adobe Illustrator и FreeHand, экспортировать текстовые подписи в виде аннотаций ArcInfo, DGN и др., читает данные векторных форматов ESRI: шейп-файлов и покрытий, данные SDE, а также MAPDATA, Laser-Scan IFF, VPF, CAD и топологические отношения этих данных.

ЧАСТЬ 3

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИС

1. Рынок программных ГИС-продуктов

В октябре 2002 г. компания Daratech Inc. выпустила очередной ежегодный обзор состояния рынка ГИС за 2001 г. «Geographic Information Systems: Markets & Opportunities». В нем анализируется структура и составляющие рынка ГИС, тенденции и направления его развития, основные потребности пользователей, даются рекомендации о том, как наиболее эффективно использовать возможности, открывающиеся в этой сфере деятельности.

Согласно этому отчету общие мировые продажи программного ГИС обеспечения за 2001 г. достигли \$ 1,1 млрд долларов, что на 14,3 % больше показателей предыдущего года, рис. 34.

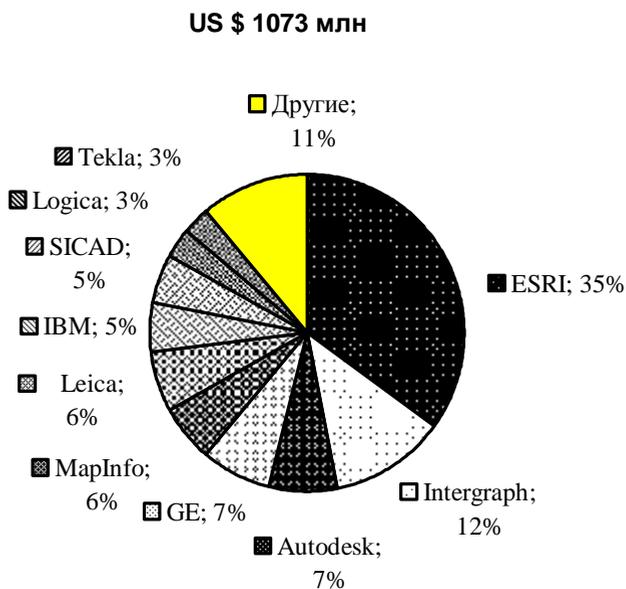


Рис. 34. Общие продажи ГИС в мире в 2001 г. (только программное обеспечение) [55]

Компания ESRI Inc. упрочила свое лидирующее положение, осуществив поставки своих ГИС-продуктов на сумму в \$ 371,5 млн, что составляет 34,6 % общемировых. Второе место по-прежнему занимает Intergraph с объемом продаж в \$ 134,1 млн (12,5 %). На третью позицию переместилась корпорация GE Network Solutions (\$ 72,3 млн – 6,7 %). По пятам следуют Autodesk (\$ 70,7 млн – 6,6 %), Leica Geosystems (\$ 68,2 млн; 6,4 %, с учетом систем ERDAS и LH Systems) и MapInfo (\$ 61,7 млн; 5,7 %).

Общий размер рынка ГИС, включая годовые продажи программных ГИС-продуктов, аппаратных средств, предназначенных для работы с ними, и дополнительных услуг, связанных этой сферой деятельности, достиг \$ 7 млрд и продолжает расти. Рост ГИС индустрии обуславливается быстрым проникновением средств картографирования и анализа пространственных данных в новые прикладные области. В то же время в традиционно применяющих эту технологию сферах все больше средств вкладывается в интеграцию ГИС в информационные системы крупных подразделений компаний и системы общекорпоративного уровня [56].

2. Функциональная и предметная классификации программного обеспечения ГИС

В настоящее время прослеживается значительная активизация отечественных фирм-разработчиков программного обеспечения ГИС и фирм-поставщиков зарубежных коммерческих ГИС-пакетов. Периодически в печати и на сайте ГИС-ассоциации (www.gisa.ru) публикуются обзоры программного ГИС-обеспечения. Для структурирования динамично изменяющейся информации используются функциональная и предметная классификации программного обеспечения для ГИС [24].

По функциональной классификации можно выделить следующие группы программного ГИС-обеспечения:

- § Информационно-справочные системы (МОСГИС, CityInfo (г. Минск) и др.).
- § Системы приема ДДЗ (Лиана, Лиана-М, СканЭкс, ASCOT и др.).
- § Системы обработки растровых изображений и ДДЗ (Интелфото, Комплекс лабораторных работ по цифровой фото-

грамметрии, CT-Mosaick, CT-PCLook, CT-TifPres, ERDAS IMAGINE, ER Mapper, Idrisi, SOCET SET и др.).

- § Системы сбора и обработки геодезической и маркшейдерской информации
(Автоматизированное рабочее место маркшейдера на открытых разработках, Инвент-Град, LisCad, МГАИС и др.).
- § Векторизаторы, системы цифрования
(Интелвек, CAD OVERLAY, CartaLinux v1.0, Easy Trace, GeoDraw, MapEDIT 4.0 for Windows, PLANAR, R2V, Spotlight Pro, Spotligh Vectory и др.).
- § Системы цифрового картографирования и подготовки карт к изданию
(Условные знаки, AccuPrint, MagicMap, Maplex и др.).
- § Конверторы:
(Конвертор из формата F1M в формат MIF/MID, Серия конверторов из формата F20V и др.).
- § Вьюеры
(Карт-Видео, ScanViewer, ArcExplorer и др.).
- § Инструментальные ГИС
(ГеоГраф, ИНТЕГРО, Интелкарт, Карт-Дизайн, МАГИС, Панорама, ALGIS, ARC/INFO, ArcCAD, ArcView, Atlas GIS, AutoCAD Map, Geolink 2.0, GeoMedia GeoMedia PRO, GeoVec, WinPlan 4.1, Manifold system, MapInfo Professional, Map-Manager, WinGIS и др.).
- § Средства разработки ГИС-приложений
(ИКГС, MapObjects, MapBasic, MapXtreme, Гео-Граф/GeoConstructor и др.).
- § Средства разработки ГИС-Internet-приложений
(Autodesk MapGuide, CSI-Track, Internet CSI-MAP Server, Geomedia Web Map, ArcIMS и др.).
- § Системы моделирования
(Комплекс программ для прогноза деформаций земной поверхности при подземной разработке угольных месторождений, CAD RELIEF, Idrisi и др.).
- § Системы управления распределенными базами геоданных:
(SpatialWare, SDE и др.).

Согласно предметной классификации ГИС-продукты распределяются следующим образом:

- § Системы ведения земельного кадастра, учета аренды и использования земель
(Геополис-98, Земельный кадастр, Система формирования и учета договоров аренды земли, Учет земель района, Geosad System и др.).
- § Системы учета и управления недвижимостью
(Система формирования и учета договоров аренды муниципального имущества, Система формирования и учета земельно-имущественных комплексов и др.).
- § Системы ведения городского кадастра
(АИС ГК2, Исток и др.).
- § Системы создания и ведения дежурного топографического плана или цифровой модели местности
(Аккорд, Недра-ГЕО, ПЛАНИКАД, Топокад, CREDO_TER, GeoCosm и др.).
- § Системы управления инженерными коммуникациями
(SUS25, АРМТЕСТ-ZULU 4.1, ГАЗКАД, ИнжКом (CityCom), Телефония, FRAMME и др.).
- § Системы управления транспортом
(АВТОГИС, ТРАНСГИС и др.).
- § Системы ведения лесного кадастра и лесоустройства
(Учет лесного фонда и лесопользование, Учет лесного и лесосечного фонда для лесхоза и др.).
- § Системы для архитектуры и градостроительства
(ArCon и др.).
- § Системы обеспечения инженерных изысканий и проектирования
(CAD CREDO, CREDO_GEO, CREDO_MIX, CREDO_PRO и др.).
- § Системы сбора и обработки экологической информации
(Автоматизированная система сбора и обработки экологической информации, ECOL и др.).

В настоящее время в условиях активно развивающихся Internet-представительств фирм-разработчиков программного обеспечения для ГИС самые новые сведения о последних версиях программных продуктов можно найти на фирменных сайтах, пользуясь поисковыми системами или имеющимися Internet-адресами.

3. Обзорные характеристики некоторых программных продуктов для работы с ГИС

В настоящее время маркетинговые исследования как по рынку предлагаемых ГИС-продуктов, так и по видам уже используемых коммерческих ГИС-продуктов в Беларуси отсутствуют. Работающее в нашей стране представительство российской компании SoftLine (<http://www.softline.by>), которая является авторизованным партнером известных мировых производителей: Microsoft, IBM, Oracle, VERITAS Software, Borland, Symantec, Novell и др., также предлагает пользователям ГИС-продукты компаний ESRI Inc., Autodesk Inc. Ряд предприятий Беларуси располагает лицензионными версиями программных продуктов КБ «Панорама», ГИС MapInfo, векторного редактора GeoDraw, векторизатора Easy Trace, растрового процессора Color Processor и др. Активную политику продвижения программных продуктов собственных разработок проводят ГИС-специалисты БГУ (ГИС Map Manager), фирмы «Кредо-Диалог» (комплекс программных продуктов Credo).

3.1. Комплекс программных продуктов ESRI Inc., США

3.1.1. ArcView GIS

ArcView GIS – это самый популярный и распространенный программный продукт ESRI. Он легок в освоении и может использоваться в различных сферах деятельности для визуализации, запроса и анализа любой пространственной информации. ArcView GIS объединяет векторные, растровые, табличные данные в единую аналитическую систему. С помощью этого программного продукта можно создать и поддерживать собственную географическую базу данных; использовать данные других организаций, в том числе обращаться к серверным базам данных посредством SQL-запросов; проводить анализ и моделирование пространственных объектов и явлений; использовать растровые данные в процессе картографического анализа и отображения; связывать имеющиеся документы в режиме горячей связи; управлять картографическими проекциями, масштабом и единицами измерений; создавать высококачественные карты (интерактивные и печатные); настраивать функциональность системы под решение собственных задач с помощью встроенного языка программирования Avenue [46].

ArcView GIS обеспечивает интеграцию данных из разных источников. Помимо создания и редактирования пространственных данных в собственном формате (шейп-файлы), ArcView обеспечивает доступ к данным ARC/INFO, PC ARC/INFO, ArcCAD, AutoCAD, Intergraph, а также импорт картографических данных из MapInfo, Atlas GIS и ASCII. Формат шейп-файлов нетопологический, поэтому предпочтительно использовать в ArcView векторные данные, прошедшие топологический контроль в системах ARC/INFO или PC ARC/INFO. Растровые изображения также могут поступать в разных форматах – ERDAS IMAGINE, JPEG, BSQ, TIF, GeoTIF, BIL, BIT, SUN, RS, RLS, GRID ARC/INFO. В зависимости от типа растровых данных они используются и как иллюстрации к карте, и как картографическая подложка, и как самостоятельный объект пространственного анализа.

ArcView GIS работает непосредственно с базами данных, поступающими с покрытиями ARC/INFO в виде атрибутивных таблиц формата dbf или INFO. Атрибутивные данные также могут храниться в текстовом формате, форматах dBase III, dBase IV или в стандартных СУБД (ORACLE, SYBASE, INFORMIX, Excel, Access и др.), воспринимающих SQL-запросы. Подгруженные данные могут быть различными способами связаны между собой: объединены в единую таблицу в режиме «один к одному» или связаны по единому признаку в режиме «один ко многим». Любые запросы к данным могут быть отображены на карте или в диаграмме.

Обширные наборы картографических знаков, штриховок и закрасок поставляются в готовом виде вместе с ArcView GIS. Знаки хранятся в формате TrueType. Большой спектр условных знаков и дополнительные возможности по созданию и использованию собственных условных знаков позволяют оформлять карты в соответствии с принятыми в картографии правилами и осуществлять высококачественную печать карт. Структура пакета состоит из базовой оболочки и набора внутренних и внешних модулей. Модули могут добавляться по мере необходимости, расширяя функциональность основного ядра.

Встроенные модули ArcView GIS 3.2 включают:

- § *Report Writer* (Генератор отчетов), который обеспечивает прямую связь с Crystal Reports для увеличения возможностей построения отчетов и графиков.

- § *Geoprocessing* (Пространственные операции) – использует интерфейс Мастеров для создания буферных зон, разбиения, пересечения, вырезания, объединения объектов разных тем.
- § *Grid and Graticules* (Координатная сетка) – используется в компоновках для добавления заданных пользователем координатных и других сеток к карте.
- § *Legend Tool* (Конструктор легенды) включает Мастер по работе с легендой в компоновке.
- § *CAD Reader* обеспечивает прямую поддержку для файлов AutoCAD (DWG, DXF) и MicroStation (DGN).
- § *VPF Viewer* обеспечивает прямое чтение данных формата Vector Product Format (VPF) и поддержку 2D и 3D VPF файлов. Формат является стандартом американского Министерства обороны и принят также в качестве международного обменного формата.
- § *Image Reader* поддерживают форматы ADRG, CADRD, CIB, IMAGINE, JPEG (JRF), MrSID, NITF, TIFF 6.0.
- § *Database Access* обеспечивает непосредственный доступ к данным SDE (Spatial Database Engine).
- § *Dialog Designer* включает средства для построения диалоговых окон, собственных наборов инструментов и других вспомогательных средств.
- § *Digitizer* позволяет производить ввод данных с дигитайзера.
- § *Projection Utility* дает возможность изменения параметров картографических проекций.

Внешний модуль *ArcView Network Analyst* дополняет ArcView GIS функциями анализа линейных сетевых тем, таких, как дороги, коммуникации, реки, а также решает задачи поиска и локализации объекта по адресу, нахождения оптимального маршрута и генерации маршрутного листа, определения ближайшего пункта обслуживания, зон доступности.

ArcView Spatial Analyst предназначен для создания, отображения и анализа растровых данных в виде регулярной сетки (грид). Возможности модуля включают: преобразование векторных данных в грид; создание буферных зон и поверхностей близости; построение карт плотностей и изолиний; построение карт уклонов и экспозиций; картографический анализ по ячейкам грида; логические запросы по нескольким грид-темам; анализ соседства; классификация и отображение гридов.

Модуль поддерживает расширенные возможности программирования на языке Avenue для разработки приложений для пространственного анализа.

ArcView 3D Analyst включает средства для создания, анализа и отображения трехмерных данных. Изображение 3D-поверхности можно вращать, а также просматривать поверхность «в полете» над ней. Как и к обычным темам, к 3D-поверхностям можно осуществлять запросы и привязывать базы данных. 3D Analyst предоставляет пользователю широкий набор функциональных возможностей: построение TIN и грид-поверхностей, построение трехмерных объектов, планиметрическое изображение поверхностей и трехмерных форм, перспективное изображение поверхностей, построение изолиний, вычисление уклонов поверхностей и экспозиции склонов, расчет зон видимости, вычисление площадей и объемов выемок и многое другое.

ArcView Image Analysis – разработка компании ERDAS. Этот внешний модуль обеспечивает быстрое и интерактивное отображение данных дистанционного зондирования ДДЗ (в том числе многозональные снимки) и их привязку к карте. Содержит средства настройки яркости и контраста для улучшения визуальных характеристик изображения. Предоставляет функции автоматического дешифрирования изображений – выделение границ площадных объектов со сходными характеристиками изображения, распознавание объектов по эталону, построение карт состояния растительности на основе расчета вегетационного индекса, автоматизированная классификация многозональных изображений по типу кластерного анализа, выявление временных изменений (по снимкам или тематическим растром).

ArcView Stereo Analyst – разработка компании ERDAS. Предназначен для создания и обработки стереопар аэрокосмических снимков и преобразования имеющихся двумерных ГИС-данных в трехмерные.

ArcView Business Analyst интегрирует реальные бизнес-задачи с широким набором соответствующих данных в простом, удобном интерфейсе.

ArcView Internet Map Server позволяет разместить картографические и ГИС-приложения на web-сервере без применения программирования.

ArcView Tracking Analyst – совместная разработка ESRI и компании TASC позволяет в режиме реального времени отображать, соби-

рать и воспроизводить данные, например, данные систем спутниковой привязки GPS.

ArcPress for ArcView – растеризатор графических метафайлов, улучшающий возможности печати и экспорта. Работает с компоновкой ArcView.

ArcView Street Map и *StreetMap 2000* содержат большие базы данных по США с поддержкой адресного геокодирования [46].

3.1.2. ARC/INFO

ARC/INFO – это современное программное обеспечение для обработки любой пространственной (организованной по географическому принципу) информации, работающее на высокопроизводительных компьютерах с Windows NT и UNIX рабочих станциях. Программное обеспечение ARC/INFO – это первая географическая информационная система, ориентированная на базу данных. В результате ее внедрения произошел настоящий переворот в цифровой картографии и в способах работы с пространственной информацией. Десятки тысяч ведомств и организаций более 80 стран используют программное обеспечение ARC/INFO, так как в нем реализованы самые передовые идеи в технологии управления географической информацией.

ARC/INFO является первой ГИС, использующей векторно-топологическую структуру данных и полностью интегрирующей возможности реляционной базы данных. Поскольку ARC/INFO одинаково успешно работает с разнообразным аппаратным обеспечением и периферийными устройствами, пользователи всегда имеют возможность быстро модернизировать свои системы под новые задачи и адаптировать их к самой современной компьютерной технике. Макроязык ARC/INFO (AML) облегчает доступ ко всем базовым возможностям пакета, позволяет создавать на их основе собственные приложения пользователя или использовать приложения, разработанные другими пользователями.

Геоинформационная система ARC/INFO активно применяется в различных приложениях. Например, картографирование собственности, налоговое, кадастровое картографирование земель и недвижимости; планирование землепользования, анализ пригодности земель, районирование и комплексная оценка территорий; высококачественная картография; управление на транспорте, планирование и оптимизация

перевозок, организация новых транспортных маршрутов; демографические и социологические исследования, выделение избирательных округов; каталогизация и управление природными ресурсами (лесными, водными, минеральными и т. д.); изыскания под строительство – транспортное, промышленное, жилищное; управление распределенным хозяйством (энергосети, трубопроводы, дорожное хозяйство); картографирование происшествий для полицейской, пожарной, медицинской и других служб; экологический мониторинг, оценка и прогнозирование состояния окружающей среды; оптимизация размещения предприятий и распределение зон обслуживания; планирование инвестиций в регионы и отрасли, маркетинговые исследования и др.

3.1.3. ArcIms

ArcIMS устанавливает стандарт для быстрого и мощного картографирования по сети Internet, обеспечивает готовое решение для создания, дизайна и управления web-сайтами, которое внедряет возможности картографирования и ГИС. Уникальность ArcIMS заключается в том, что с его помощью обеспечивается доступ ко многим серверам в сети организации или по всему миру. ArcIMS позволяет увидеть и использовать ГИС-данные, расположенные как локально, так и в любом месте в Internet по простым и разветвленным сетям, в том числе через WWW.

Помимо этого, ArcIMS поддерживает распространение информации и в виде растра, и в виде потока векторных данных. Встроенные мастера и шаблоны с понятными пошаговыми инструкциями проводят пользователя через все основные задачи, связанные с авторизацией и публикацией карт, не требуется никакого дополнительного программирования. Достаточно просто создать карту, скомпоновать Web-страницу или выбрать ее дизайн из имеющего набора шаблонов и затем опубликовать карту.

Одной из ключевых черт ArcIMS является интеграция географических данных из многих источников для их отображения и анализа на настольном компьютере. ArcIMS может обеспечить одновременный доступ к данным, расположенным в сети Web, к расположенным локально шейп-файлам, слоям Spatial Database Engine (SDE) и растровым изображениям, т. е. это программное обеспечение предоставляет воз-

возможность работы с любой доступной по сети информацией на компьютере.

Информацию о программах ESRI Inc. можно получить на сайте <http://www.dataplus.ru>.

3.2. Комплекс программных продуктов КБ «Панорама» (Россия)

В настоящее время КБ «Панорама» разрабатывает и поддерживает серию геоинформационных продуктов: профессиональная ГИС «Карта 2000»; настольная ГИС «Карта 2000»; настольная ГИС «Панорама»; профессиональный векторизатор «Панорама-редактор»; ГИС-вьювер; СУРЗ «Земля и право».

Например, «Карта 2000» – это универсальная геоинформационная система, имеющая средства создания и редактирования электронных карт, выполнения различных измерений и расчетов, обработки растровых данных, средства подготовки графических документов в электронном и печатном виде, а также инструментальные средства для построения информационных систем с применением различных СУБД.

Универсальность ГИС основана не только на разнообразных инструментах обработки пространственных данных, но и на разнообразии видов поддерживаемых электронных карт – векторных, растровых и матричных. В системе «Карта 2000» обеспечивается работа с векторными картами различных масштабов, проекций, систем координат: от плана помещения до космонавигационной карты Земли. Обеспечивается преобразование карт из одной проекции в другую. Состав отображаемых объектов может изменяться по запросу пользователя.

Векторные карты могут содержать описание реальных объектов местности и их свойств или тематическую информацию. Растровые карты являются масштабируемым, измерительным изображением местности в заданной системе координат. Поверх растровой карты могут наноситься векторные объекты. Растровые карты могут создаваться на основе отсканированных картматериалов, материалов аэрофотосъемки или космических снимков центральной проекции, панорамных и щелевых.

Матричные карты могут содержать данные об абсолютной высоте рельефа или качественную характеристику местности, полученную путем анализа и обобщения атрибутов объектов в пределах участка

местности. Соответственно существуют матрицы высот и матрицы качеств. Матрицы могут отображаться в плоском или трехмерном виде. Все виды электронных карт могут обрабатываться совместно, без ограничения на их количество. Размер отдельной карты может быть до 4 Гбайт.

Электронные карты, составляющие общий документ, могут располагаться отдельно на разных серверах в сети и редактироваться в многопользовательском режиме. К объектам векторных карт могут быть логически привязаны записи таблиц баз данных. Запросы на отбор объектов для последующей обработки могут выполняться с учетом содержания записей таблиц. Оформленная карта может быть распечатана на различных типах устройств вывода.

ГИС «Карта 2000» имеет встроенные и подключаемые задачи. К встроенным задачам относятся: редактор векторной карты; редактор растровой карты; управление базой данных; расчеты по карте; печать карты. Подключаемые задачи расширяют возможности ГИС в соответствии с требованиями пользователя.

В состав ГИС входят подключаемые задачи построения ортофотоплана по космической и аэро съемке, конверторы для форматов DBF, MIF/MID, Shape, S57, редактор библиотеки условных знаков карт, трансформирование карт в различные проекции, контроль качества карты и др. Редактор векторной карты выполняет более 70 различных режимов редактирования. В том числе полуавтоматическая векторизация по растру, операции над группой объектов, построение сплайнов, окружностей, согласование контуров, перенос объектов в пределах произвольного криволинейного участка на другую карту и многое другое.

Все изменения на карте регистрируются в протоколе транзакций и могут быть отменены в любой момент времени. Данные из протокола применяются для согласования разных экземпляров одной карты, когда они редактируются отдельно. Редактор растра позволяет вносить изменения непосредственно в растровую карту, используя различные графические примитивы.

Задача «База данных» обеспечивает подключение к карте баз данных различного формата. Для работы с таблицами имеется конструктор форм, позволяющий настроить интерфейс пользователя с учетом решаемых задач. Средства построения отчетов позволяют применять программы Word и Excel для автоматизированной подготовки и печати

документов. Информация об объектах карты может быть сохранена в базе данных. На карте могут быть созданы новые объекты по данным из базы. Расчеты по векторной карте позволяют определить длину, площадь, периметр объектов, расстояния, азимут, превышения между заданными точками, построить буферную зону, матрицы высот или качеств, проложить линию ортодромии или локсодромии, построить профиль на заданный участок, области пересечения или объединения объектов и др.

Задача печати карты обеспечивает вывод карты на растровые и векторные устройства печати или печать в файл. Область печати, масштаб изображения, состав печатаемых объектов, интенсивность цветового оформления, разбивка на листы, их ориентация и другие параметры могут быть установлены пользователем.

Сайт фирмы-разработчика: <http://www.gisinfo.ru>.

3.3. ГИС MapInfo (Mapinfo Corp., США)

MapInfo Professional – это картографическая настольная система, в основном предназначенная для выполнения анализа и представления статистической деловой информации. Основные функции MapInfo Professional дают возможность: создавать качественные карты для повышения наглядности презентаций и оказания помощи в процессе принятия решений, выполнять анализ различного вида и степени сложности на основе процедур геокодирования и составления SQL-запросов, получить в результате анализа информацию о моделях и общих тенденциях развития данных, управлять пространственно-ориентированными данными.

В MapInfo вся информация хранится в таблицах (tables). Таблица задается регистрационным файлом, который управляет данными, графическим представлением, индексацией, кодировками. Возможна работа с файлами форматов Lotus 1-2-3, Excel, dBase, причем созданные для них таблицы рассматриваются как файлы MapInfo, загружаясь в дальнейшем без повторного импорта. Таблицы атрибутивных данных можно также создавать и редактировать средствами самой программы.

Таблица может быть визуализирована на экране в соответствующих окнах как один из слоев карты, электронная таблица (список) и в виде графиков разных типов. Географические данные представлены векторной графикой, причем площадные, линейные и точечные объек-

ты могут содержаться в одной таблице (слое). Существует возможность использовать в качестве подложки растровые изображения. Количество окон Карт, Списков, Графиков, Выборок и Отчетов неограниченно. Все используемые таблицы можно объединить в Рабочий набор, содержащий информацию об открытых таблицах и виде их представления. При сохранении Рабочего набора игнорируются результаты редактирования таблиц, а также операции над косметическим слоем. Их сохранение производится отдельно.

В последних версиях программы имеется возможность на заданном множестве точек строить полигоны Вороного, известные так же как полигоны Тиссена или Дирихле. Полигоны Вороного – области, образуемые на заданном множестве точек таким образом, что расстояние от любой точки области до данной точки меньше, чем для любой другой точки множества. Границы полигонов Вороного являются отрезками перпендикуляров, восстановленных к серединам сторон треугольников в триангуляции Делоне, которая может быть построена относительно того же точечного множества. Команда позволяет строить такие полигоны из указанного набора точек, причем точки и полигоны могут находиться как на одном, так и на разных слоях.

MapInfo Professional предусматривает прямое чтение Shape-файлов. При открытии такого файла можно выбрать его проекцию, а также определить стили объектов. Программа поддерживает базы данных для картографирования точечных объектов по их координатам X и Y: SQL Server 7, Informix 9.2.1, MS Access 2000 и Oracle 9i XY и растровые форматы: JPEG 2000, MrSid, ECW, ADRG, CADRG, CIB, ASRP и NITF.

Сайт фирмы-разработчика: <http://www.mapinfo.com>.

3.4. Векторный редактор GeoDraw (г. Москва, Россия)

Векторный редактор GeoDraw предназначен для создания баз цифровых карт и планов, соответствующих требованиям современных геоинформационных систем. GeoDraw поддерживает построение корректной топологической и многослойной структуры пространственных объектов, идентификацию объектов и связывание их с базами атрибутивных данных, широкий спектр функций трансформации цифровых карт и растровых изображений для их дальнейшей интеграции в еди-

ные базы, работу с 40 картографическими проекциями, экспорт и импорт цифровых карт в форматы, используемые наиболее популярными ГИС.

Редактор обеспечивает перевод карт и планов в цифровую форму при помощи дигитайзера, путем векторизации по черно-белым и цветным растровым изображениям любой цветности и разрешения (поддерживается загрузка более 30 популярных форматов растровых изображений), ввод координат пространственных объектов вручную и «перекачка» их с электронных геодезических приборов и приборов GPS, возможность цифрования одновременно в нескольких окнах, с индивидуально формируемым набором слоев и легендой в каждом окне.

GeoDraw работает одновременно с любым количеством векторных и растровых слоев, выполняет оперативное изменение их статуса и атрибутов изображения, осуществляет ввод и редактирование пространственных объектов типа точка, дуга, узел, полигон (при помощи дигитайзера, «мыши» или клавиатуры), создание векторных слоев с большим числом пространственных объектов (более 2 млрд).

Редактор использует функции идентификации пространственных объектов цифровых карт для связи с имеющимися или создаваемыми базами атрибутивных данных, выполняет операции преобразования плоскости (аффинные, проективные, квадратичные и полиномиальные преобразования, поворот оси) для задач интеграции цифровых карт и растровых изображений, полученных из разных источников.

GeoDraw поддерживает экспорт и импорт цифровых карт в обменные форматы ведущих ГИС (GEN ARC/INFO, VEC/VEH SPANS, MOSS, VEC IDRISI, MIF/MID MapInfo, VPF DCW DMA USA, DXF AutoCAD и др).

Контактная информация разработчиков: <http://geocnt.geonet.ru>.

3.5. Комплекс программных продуктов для ГИС Autodesk Inc., США

3.5.1. AutoCAD Map 2000

AutoCAD Map 2000 – это высокоточное программное обеспечение для создания цифровых карт и осуществления геоинформационного анализа, включающее все функциональные возможности базового про-

дукта AutoCAD. Программный продукт содержит все необходимые средства и эффективные функции для изготовления картографической основы и обработки географической информации, поддерживает любые графические форматы, осуществляет экспорт данных во все популярные программы обработки географической информации, обеспечивает мгновенное получение дополнительных данных для геоинформационного проекта через сеть.

AutoCAD Map 2000 предоставляет разработчикам более 2 тысяч глобальных координатных систем (более 100 из них новые), дает наилучшие инструменты для быстрого и точного скальвания карт с бумажных носителей. Скальвание карт значительно ускоряет перевод бумажных карт в цифровую форму.

Программное обеспечение включает мощные средства для формирования запросов, изменения свойств, пространственного анализа и отличное управление выводом на печать. Благодаря встроенным функциям Internet AutoCAD Map 2000 приобрел совершенно новые возможности.

3.5.2. Autodesk CAD Overlay

Autodesk CAD Overlay – это удобный инструмент для работы с растрово-векторной информацией. Использование AutoCAD Map вместе с Autodesk CAD Overlay позволяет пользователям в интерактивном режиме трансформировать сканируемые карты и другие растровые изображения для интеграции в базы данных ГИС.

Программные средства CAD Overlay также позволяют в полной мере использовать изображения с геопривязкой, полученные с помощью аэрофотосъемки или спутников для улучшения информационных характеристик проектов. В составе программы Autodesk CAD Overlay присутствует полный набор инструментов для обработки растра, геопривязок, калибровки и редактирования изображений.

3.5.3. AutoCAD Land Development Desktop

AutoCAD Land Development Desktop является программным обеспечением на платформе AutoCAD для проектирования землеустроительных работ, которое поддерживает работу специалистов гражданского строительства, инженеров по генпланам, геодезистов и карто-

графов в единой среде проектирования. AutoCAD Land Development Desktop предоставляет пользователю мощные средства топографического анализа, работы с координатной геометрией, цифрового моделирования местности, разработки планов земляных работ и расчета объемов земляных масс, а также другие высокоэффективные инструменты и функции.

Ключевыми возможностями программы являются решение задач координатной геометрии при обработке геодезической информации – ввод, редактирование и управление точечной базой данных; цифровое моделирование рельефа земной поверхности и создание на этой основе картографических материалов; разработка и анализ планов земельных работ при проектировании водоемов, зон парковок, строительных площадок, насыпей и др.

3.5.4. Autodesk MapGuide

Программное обеспечение Autodesk MapGuide – первое коммерческое изделие для распространения по Intranet/Internet карт, основанных на векторной модели. Набор изделий Autodesk MapGuide интегрирует картографические данные в стандарт HTML-документа, тем самым повышая уровень их использования и распространения, позволяет в кратчайшее время размещать подробные готовые карты в тех местах, где они наиболее нужны – в поле, на рабочем месте, на столах у клиентов и т. д.

Сайт фирмы-разработчика: <http://www.autodesk.com>.

3.6. Геоинформационная система Map Manager (БГУ, г. Минск, Беларусь)

Программный комплекс имеет в своем составе ряд модулей по моделированию техногенных процессов. Например, 2D\3D визуализация текущего состояния процесса разработки нефтяных месторождений, численное моделирование вытеснения нефти водой, моделирование деформационных процессов на земной поверхности в районах подземных горных работ и др. [6].

3.7. Комплекс программных продуктов Credo (г. Минск, Беларусь)

Credo_Pro – инструмент геометрического моделирования. В качестве подложек может использоваться картматериал в виде BMP и DXF-подложек, цифровые точки местности. Плановая геометрия объекта создается на базовых геометрических элементах: точка, прямая, окружность, круговая кривая и др. На базовых геометрических элементах оператор создает полилинии – части или целые объекты. Это оси, контуры сооружений, границы участков, границы застройки, красные линии и т. д. Созданному объекту оператор присваивает свойства: имя, выделяет цвет, тип, толщину и др.

Credo_Ter используется для создания цифровой модели местности при решении следующей группы задач: выпуск крупномасштабных топографических планов; ведение дежурных планов застраиваемой территории; формирование данных для кадастровых (землеустроительных, градостроительных и др.) систем; расчеты объемов земляных работ и др.

Цифровая модель местности в системе Credo_Ter состоит из цифровой модели рельефа и цифровой модели ситуации. Цифровая модель ситуации представляет собой площадные, линейные и точечные объекты. Семантическая информация об объектах местности выражается условными знаками и текстовой информацией. Цифровая модель рельефа представляет собой триангуляцию, которая строится по критериям Делоне.

Credo_Transform выполняет трансформацию и координатную привязку растровых картматериалов. В программе обрабатываются многоцветные изображения с глубиной цвета 8 бит/пиксель (256 цветов) и монохромные (черно-белые изображения) (1 бит/пиксель) формата BMP.

Credo_Geo позволяет создавать и корректировать объемную модель геологического объекта. Исходными данными для создания геологической модели являются: список грунтов, данные по скважинам, шурфам и т. д., представляющие собой качественные и количественные характеристики – литология, гидрогеология и т. д. Система вычисляет площади в текущем разрезе по грунтам, площади между поверхностями и др. Геологические слои могут быть увязаны с рельефом местности.

Credo_Mix используется для аналитического расчета сложных геометрических построений на основе цифровой модели местности. Например, для проектирования горизонтальной и вертикальной планировки городов, микрорайонов, промышленных предприятий и т. д. Цифровая модель проекта многослойна, т. е. вся информация распределяется по слоям.

Сайт фирмы-разработчика находится по адресу: <http://www.credo-dialogue.com>.

3.8. Векторизатор EasyTrace (г. Рязань, Россия)

Векторизатор Easy Trace – это инструмент, позволяющий быстро и качественно создавать электронные карты на основе их оригиналов (бумажные носители, растры и др.).

Задача переноса картографической информации с бумаги в ГИС является трудоемким и затратным по времени этапом работы. В этой связи функциональными возможностями векторизаторов определяется как скорость, так и качество выполнения данного этапа при создания ГИС.

В основе технологии, реализованной в векторизаторе Easy Trace, лежит мозаичное растрово-векторное поле практически неограниченных размеров. Размеры отдельных растров могут превышать 2 Гб и иметь любую глубину цветности. Многослойная растровая мозаика может состоять из произвольной комбинации растров различной цветности и масштаба. Количество векторных слоев не ограничено, в свою очередь, каждый слой может содержать до миллиона объектов.

Технологическая цепочка переноса картографической информации с бумаги в ГИС состоит, как правило, из следующих этапов: сканирование и ввод растровой информации; обработка (подготовка) растров; векторизация; редактирование, сшивка и верификация векторных данных; экспорт материалов в ГИС.

На этапе сканирования и ввода растровой информации векторизатор Easy Trace выполняет сканирование непосредственно из векторизатора, поддерживает произвольную совокупность растров различной глубины цветности и разных масштабов, поддерживает растровые форматы: PCX, BMP, RLE, TIFF, JPEG и др. На этапе обработки (подготовки) растров векторизатор Easy Trace выполняет геометрическую коррекцию и фильтрацию растров, привязку растров, объединение рас-

тровых фрагментов, операции цветоделения и создание пакета тематических растровых слоев для цветных растров, редактирование растров, предпечатную подготовку.

Векторизатор поддерживает автоматический, полуавтоматический (самообучающийся), ручной, ортогонализирующий, линеаризующий, выделения границ заливок, восстановления границ заштрихованных областей режимы векторизации. Программа имеет возможность сопровождения векторизации вводом атрибутивных данных и выполнения многокритериального контроля и редактирования векторных примитивов. На этапе редактирования, сшивки и верификации векторных данных векторизатор выполняет интерактивное объектно-ориентированное, групповое, топологическое редактирование. На заключительном этапе векторизатор выполняет экспорт векторных данных и файлов регистрации растров и обеспечивает совместимость с ГИС: ARC/INFO, ArcView, AutoCAD, Credo, MapInfo, MicroStation, WinGIS и др.

Сайт разработчика – <http://www.easytrace.com>.

3.9. Color Processor растровый процессор (Россия)

Color Processor 2.2 – эта программа предназначена для повышения качества сканированных изображений и расслоения цветных и полутонных изображений на несколько монохромных растровых слоев. Программа позволяет регулировать яркость, контрастность, цветность, насыщенность, глубину цвета изображения; устранять его перекося; компенсировать линейные и нелинейные деформации при помощи калибровки; распознавать цвета с автоматической настройкой зоны чувствительности; преобразовывать цветные изображения в один или несколько монохромных растровых слоев для последующей векторизации или редактирования.

Созданные программой многослойные растровые изображения можно экспортировать в такие популярные САПР и ГИС, как Spotlight, RasterDesk, Vector, AutoCAD, Mapinfo и др., для последующей автоматической и интерактивной векторизации и гибридного редактирования. Размер обрабатываемого растрового изображения не ограничен.

Сайт фирмы-разработчика: <http://www.csoft.ru>.

ЛИТЕРАТУРА И РЕСУРСЫ INTERNET

1. ARC/INFO. Управление данными. Концепции, модели данных, разработка баз данных и хранение данных. ESRI Inc., 1994.
2. ArcView 3D Analyst. Руководство пользователя. ESRI Inc., 1997.
3. ArcView Network Analyst. Руководство пользователя. ESRI Inc., 1997.
4. *Андреанов В.* Координаты пространственных данных // ArcView. – 2001. – № 2. – С. 5.
5. *Андреянов В.* Свойства данных дистанционного зондирования // ArcView. – 2001. – № 2. – С. 3.
6. *Астахов С. И.* Контроль качества цифровых и электронных карт в Топографической службе ВС РФ // Информационный бюллетень. – 1996. – № 5(7). – С. 48-49.
7. *Апрощенко О. А., Кулагин А. П., Романов А. М.* Лесное хозяйство и мониторинг лесов Беларуси // ArcReview. – 1999. – № 3. – С. 2.
8. *Берлянт А. М.* Геоиконика. – М., 1996.
9. *Высоченко А. В., Капилевич Ж. А., Фейгельман М. Е.* и др. ARC/INFO и ArcView в Национальной системе мониторинга окружающей среды Республики Беларусь // ArcReview. – 2000. № 3. – С. 14.
10. *Гаврилов С. Г.* Современные средства автоматизации сбора полевой информации // ГИС-обозрение. – Лето 1995. – С. 46–47.
11. *Гальперов Г. В., Вострокнутов Е. П., Брусничкина Н. А.* Экспертная система для дешифрирования вещественного состава горных пород // Информационный бюллетень. ГИС-ассоциация. – 1999. – № 1(18). – С. 53.
12. Государственная программа информатизации Республики Беларусь на 2003 – 2005 годы и на перспективу до 2010 года «Электронная Беларусь». УТВЕРЖДЕНО Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 27.12.2002. № 1819.
13. *Гохман В., Калмыков Д.* Выбор подходящей ГИС для Вас и вашей организации // ArcReview. – 1999. – № 1.– С. 2–3.
14. *Гурьянова Л. В.* Семь раз отмерь... Роль методического географического обеспечения на основных этапах разработки ГИС // ГИС-обозрение. – 1997. – № 2.– С. 28–30.

15. *Гурьянова Л. В.* Информационные ресурсы ИНТЕРНЕТ // Информационный бюллетень ГИС-ассоциации. – 1997. – № 5(12). – С. 39.
16. *Гурьянова Л. В.* Цифровая география: состояние и перспективы ГИС-образования для географических специальностей // Современные проблемы школьного и вузовского географического образования и топонимических исследований. Тез. докл. Респ. науч.-практ. конференции 27 – 30 ноября 2001 г., г. Минск. – С. 40-42.
17. *Гурьянова Л.В.* ГИС-сценарий для поддержки управления территорией водоохраной зоны малой реки (опыт ГИС-проектирования) // Вестник БГУ. Сер. 2. – 1998. – № 1. – С. 45–50.
18. *Жуков А.* Полевая геоинформатика. Применение современных геодезических приборов и программных средств для создания и ведения ГИС // www.infars.ru
19. *Журавков М.А., Видякин В.В.* ГИС-технологии в прикладной механике. Мн.: БГУ, 2000.
20. *Зорин Р.* Как сделать Ваш собственный файл привязки для использования растрового изображения в ArcView, не используя Arc/info // ArcReview. – 1997. – № 2.– С. 10.
21. *Иванченко В.* Иконография земли как сумма технологий // Компьютера. – 02.11.1999. – www.computerra.ru
22. *Илюнин И., Кушнарев Д.* Возможности ARC/INFO для подготовки данных к изданию // ArcView. – 2001. – № 1. – С. 4.
23. *Ионов В. В.* Международная программа «Балтийский Университет» // ГИС-обозрение. – Зима 1994.– С. 52–54.
24. *Капралов Е., Миллер С.* Каталог программного обеспечения // www.gisa.ru
25. *Королев Ю. К., Москаленко И. В.* Обменный формат GENERATE // www.gisa.ru
26. *Королев Ю.* Как подойти к обработке снимков? // ArcReview. – 1999. – № 4.– С. 2–3.
27. *Королев Ю.* О роли растровой информации в сегодняшних ГИС // ArcReview. – 1998. – № 1.– С. 14.
28. *Лантенюк С. А., Аринчин А. Н., Быль В. И.* ГИС помогает оценить состояние здоровья детей и подростков Беларуси // ArcReview. – 2001. – № 1.– С. 7.

29. *Лебедева Н. Я.* Комплексный электронный атлас мира «Наша Земля» // ГИС-обозрение. – Весна 1996.– С. 18–19.
30. *Лебедева Н. Я.* Везет ли вам в картах... // ArcReview. – 2001. – № 1.– С. 2.
31. *Лебедева Н. Я., Илюнин И. А.* Создание качественных цифровых карт // Информационный бюллетень. ГИС-ассоциация.– 1997.– № 2. – С. 24–25.
32. *Лурье И. К.* Географические информационные системы для высшей школы // Геоинформатика и образование. Составители: Н. В. Разумовская, Е. Г. Капралов, А. В. Симонов. – М.: ГИС-ассоциация, 1998.– С. 115–118.
33. *Магвайра Д.* Взросление мобильных географических служб // ArcView. – 2001. – № 4.– С. 18–19.
34. *Макачев А.* Плоттеры // Информационный бюллетень. ГИС-ассоциация. – 1996. – № 5(7). – С. 38–39.
35. *Марселлус Д.* Программирование экспертных систем на Турбо Прологе. –М.:Финансы и статистика, 1994.
36. *Мительман Е.Я.* Различные подходы к выбору формата обмена цифровой картографической информации // Информационный бюллетень. ГИС-ассоциация.– 1997.– № 1 (8).– С. 22.
37. *Неклюева Н. П.* География. Справочник для старшеклассников и поступающих в вузы. – М., 2002.
38. *Оболонкин В., Чистик О., Куканов Г. и др.* Геоинформационная система поддержки принятия экологически значимых решений на уровне хозяйства // ArcReview.– 2000.– № 3.– С. 14.
39. Отраслевой стандарт Минобразования России. Информационные технологии в высшей школе. Геоинформатика и географические информационные системы. Общие положения. ОСТ ВШ 02.001-97. Дата введения 01.03.98.
40. *Ошкин Д.* Плоттеры... извечная проблема выбора // САД мастер. – 2002. – № 1 (Internet-версия)
41. *Плюшкин В. Г., Вдовин В. С.* Вопросы защиты топогеодезической информации в условиях формирования единого геоинформационного поля Российской Федерации // Материалы Форума ГИС 97. – М.: ГИС-Ассоциация, 1997. – С. 140–143.
42. Постановление Правительства РФ от 28 июля 2000 г. № 568 «Об установлении единых государственных систем координат» // www.gisa.ru

43. *Радионов Г.* Система автоматического размещения аннотаций Maplex 3.4 // ArcView. – 2001. – № 4. – С.16.
44. *Семин Н. Н., Токарчук Д. Н., Бирман Б. Е. и др.* Конвертирование картографической информации из формата картографической службы России F1 M в обменный формат MapInfo // Информационный бюллетень. ГИС-ассоциация. – 1997. – № 1(8). – С. 23, 25.
45. *Симонов А. В.* Web-картографирование: новое направление развития и использования сети Internet // Информационный бюллетень. ГИС-ассоциация. – 1996. – №5 (7). – С. 57.
46. *Смирнова Е.* Обзор настольных ГИС от ESRI // ArcView. – 2001. – № 4. – С. 17.
47. *Столтаков А. В.* Цифровые модели топографических карт. Проект отраслевого стандарта // ArcReview. – 2000. – № 3. – С. 3.
48. *Сулименко Я. В.* Средства ввода-вывода растровой и векторной графики для ГИС и картографии // www.myland.org.ua
49. *Теобалда Д. М.* Топология и шейп-файлы // ArcView. – 2001. – № 4. – С. 20–21.
50. *Тихонова Н.* Данные дистанционного зондирования Земли сегодня // ArcReview. – 1999. – № 4. – С. 4.
51. Топографо-геодезические термины. Справочник. – М: Недра, 1989.
52. Atlas Florae Europaeae: UTM and MGRS // www.dmap.co.uk
53. Understanding GIS. The ARC/INFO Method. ESRI.Inc. 1997.
54. <http://cnit.pgu.serpukhov.su>
55. <http://www.daratech.com>