

INSTITUTE OF ARCHAEOLOGY RAS
Lomonosov MOSCOW STATE UNIVERSITY
Faculty of History

D.S. Korobov

INTRODUCTION TO GEOINFORMATICS IN ARCHAEOLOGY

A manual

Approved by Educational and Methodological Association
on Classical University Education
as a study guide
for students of higher educational institutes
majoring in History
(specialization 030600)



Moscow
University Press
2011

ИНСТИТУТ АРХЕОЛОГИИ РАН
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. Ломоносова
Исторический факультет

Д.С. Коробов

ОСНОВЫ ГЕОИНФОРМАТИКИ В АРХЕОЛОГИИ

Учебное пособие

Допущено Учебно-методическим объединением
по классическому университетскому образованию
в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению подготовки
030600 «История»



Издательство
Московского университета
2011

Рецензенты:

доктор исторических наук, профессор *Г.Е. Афанасьев*,
кандидат исторических наук, доцент *Т.А. Пушкина*

Коробов Д.С.

К68 Основы геоинформатики в археологии: Учебное пособие. —
М.: Издательство Московского университета, 2011. — 224 с.
ISBN 978-5-211-06170-5

Учебное пособие «Основы геоинформатики в археологии» включает 11 разделов, соответствующих шести лекциям (введение в ГИС, основы картографии, использование данных глобального спутникового позиционирования и данных дистанционного зондирования в археологии, геофизические и неdestructивные методы в археологии) и пяти практическим занятиям (основы работы с настольными ГИС MapInfo 8.0, ArcView 3.1 и ArcGIS 9.0; введение в пространственный анализ и использование трехмерных моделей в ГИС). Пособие снабжено электронным CD-носителем с многочисленными иллюстрациями, несколькими примерами работы в ГИС, а также обширным списком рекомендованной литературы к каждому разделу.

Издание предназначено для археологов, историков и широкого круга читателей, интересующихся применением геоинформационных методов в археологии.

Ключевые слова: археология, геоинформатика, данные дистанционного зондирования, глобальное спутниковое позиционирование, геофизические и неdestructивные методы, пространственный анализ, трехмерное моделирование в ГИС

Korobov D.S.

Introduction to geoinformatics in archaeology: Manual. — Moscow: Moscow University Press, 2011. — 224 pp.

The manual "Introduction to geoinformatics in archaeology" includes 11 chapters of six lectures (introduction to GIS, basic foundations of cartography, using of GPS and remote sensing data in archaeology, geophysical and non-destructive methods in archaeology) and five practical lessons (main principles of using desktop GIS MapInfo 8.0, ArcView 3.1 and ArcGIS 9.0; introduction to spatial analysis and 3D modeling in GIS). The manual includes CD-ROM with numerous colorful illustrations and several examples of work with GIS, and extensive list of recommended literature to every chapter.

Key words: archaeology, geoinformatics, remote sensing data, global positioning systems, geophysical and non-destructive methods, spatial analysis, 3D modeling in GIS

УДК 902
ББК 63.4

© Коробов Д.С., 2011

© Издательство Московского университета, 2011

ISBN 978-5-211-06170-5

Предлагаемое вниманию читателей пособие разработано в ходе подготовки специального курса «Основы геоинформатики в археологии», который в течение последних лет читается автором студентам исторического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, изучающим специальность «Археология», и аспирантам Института археологии РАН. Согласно Государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования, утвержденному Министерством образования Российской Федерации 17 марта 2000 г., учебная дисциплина «Археология» относится к **федеральному компоненту общепрофессиональных дисциплин** и входит в основную образовательную программу выпускника по специальности «История».

Необходимость получения археологами специальных знаний в области геоинформатики обусловлена широким внедрением в нашу жизнь геоинформационных технологий, без которых уже не мыслится осуществление полевой и камеральной археологической деятельности. С другой стороны, мы не ставим целью подготовить профессионалов по использованию ГИС — для этого существуют особые учебные заведения, специализирующиеся в данной области (например, кафедра картографии и геоинформатики географического факультета МГУ). Наша цель — дать общее представление заинтересованным лицам об основных методах ГИС и возможностях их применения в археологической науке. Особую задачу мы видим во внедрении в отечественную археологическую практику неdestructивных методов, к которым относятся прежде всего изучение данных дистанционного зондирования и методы геофизики и объединение разных подходов к мультидисциплинарным исследованиям, базирующимся на применении ГИС-технологий.

Данное пособие является первым опытом обучения российских студентов и аспирантов-археологов основам геоинформатики. При его подготовке учитывались общие работы по геоинформатике: учебники и учебные пособия под редакцией В.С. Тикунова¹ и ставший классическим учебник Майкла Н. ДеМерса в переводе В. Андрианова², появившиеся

¹ Основы геоинформатики. Кн. 1 / Под ред. проф. В.С. Тикунова. М., 2004; Геоинформатика. Кн. 1 / Под ред. проф. В.С. Тикунова. М., 2008.

² *Де Мерс М.Н.* Географические информационные системы. М., 1999.

недавно работы по исторической геоинформатике¹, а также опыт зарубежных коллег, прежде всего превосходное издание Дэвида Уитли и Марка Джиллинга «Пространственные технологии и археология»².

Структура пособия соответствует структуре специального курса, включавшего как лекционные, так и практические занятия. При этом возникают технические сложности при подготовке иллюстративного материала, который весьма объемён и состоит, помимо графических изображений, также из файлов мультимедиа. Данное обстоятельство обусловило выбор CD-носителя в качестве иллюстративной части пособия, который прилагается к изданию и содержит одиннадцать презентаций, соответствующих разделам пособия. Некоторые иллюстрации дублируются в тексте пособия в черно-белом варианте, при этом сохраняется их общая нумерация.

Помимо презентаций, на CD-диске содержится несколько примеров карт, созданных с помощью программы ArcGIS 9.1, которые можно просматривать с помощью специальной программы ArcReader 9.3, находящейся в свободном доступе. Эту программу можно бесплатно получить на Интернет-сайте компании ESRI <http://www.esri.com/software/arcgis/arc-reader/download.html> (русскоязычная версия доступна на сайте компании «Дата+» <http://www.dataplus.ru/Soft/ESRI/ArcGIS/ArcReader/Index.html>). Ее установочная версия вместе с русификатором находится также на CD-ROM, прилагаемом к пособию, в папке GIS.

Примеры, подготовленные для ознакомления читателей, являются авторской работой в археолого-географической системой «Кисловодск», разработанной в Институте археологии РАН. По соображениям охраны культурного наследия мы не приводим карт археологических памятников, по которым можно было бы узнать их географические координаты. Для учебных целей были созданы слои с точками, не имеющими отношения к реальным археологическим объектам.

Автор считает своим долгом поблагодарить преподавателей исторического факультета МГУ и руководство Института археологии РАН за организационную помощь в проведении специального курса и в подготовке данного пособия к выходу в свет, в особенности доцента кафедры археологии кандидата исторических наук А.Р. Канторовича и заведующего кафедрой исторической информатики исторического факультета МГУ доктора исторических наук профессора Л.И. Бородкина. Особую благодарность выражаю также сотруднику Гнездовской археологической экспедиции МГУ М.О. Жуковскому за ценные советы по содержанию работы. Я благодарю также всех слушателей курса «Основы геоинформатики в археологии» за проявленный энтузиазм, послуживший толчком к написанию данного труда.

Д.С. Коробов

¹ Владимир В.Н. Историческая геоинформатика: геоинформационные системы в исторических исследованиях. Барнаул, 2005.

² Wheatley D., Gillings M. Spatial Technology and Archaeology / Chap. 1. Archaeology, space and GIS. L.; N.Y., 2002.

ВВЕДЕНИЕ В ГЕОГРАФО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Предметом нашего рассмотрения будут основы использования в археологии методов геоинформатики. *Геоинформатика* (GIS technology, geo-informatics) — наука, технология и производственная деятельность по научному обоснованию, проектированию, созданию, эксплуатации и использованию географических информационных систем, по разработке геоинформационных технологий, по прикладным аспектам, или приложениям ГИС (GIS application) для практических или научных целей¹. Таким образом, основное внимание в данном учебном пособии уделяется применению в археологии географо-информационных систем и геоинформационных технологий.

1.1.

Что такое географо-информационная система?

Согласно общепринятому определению, географической информационной системой (geographic(al) information system, GIS) называют информационную систему, обеспечивающую сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение *пространственно-координированных данных*. Географическая информационная система (ГИС) содержит данные о пространственных объектах в форме их цифровых представлений (векторных, растровых и иных), включает соответствующий набор функциональных возможностей ГИС, в которых реализуются операции геоинформационных технологий, поддерживается программным, аппаратным, информационным, нормативно-правовым, кадровым и организационным обеспечением.

¹ Толковый словарь по геоинформатике / Под ред. А.М. Берлянта и А.В. Кошарева. Ст. «Географическая информационная система». Интернет: <http://biology.krc.karelia.ru/misc/geoinf/titul.htm>

Следует обратить внимание на то, что основным в данном определении является источник информации, которым оперирует ГИС — *пространственно-ориентированные данные*, т.е. данные с известным местом расположения в пространстве. Это месторасположение может выражаться в географических координатах (используется при работе с картографической основой) или в условных координатах ХУ, например, при работе с топографическими планами или планами раскопов, могильников и т.д. Таким образом, в археологии может использоваться широкий набор данных, поскольку практически любой вид археологического источника имеет пространственную привязку. Исходя из этого с помощью ГИС можно изучать любые археологические объекты, начиная с самого общего уровня (археологическая культура, группы памятников, отдельные памятники — поселения, могильники, святилища, курганные группы и т.д.) до наиболее детального (распределение находок в культурном слое памятника, особенности размещения инвентаря в погребении или предметов в жилище и т.д.). Сам предмет изучения археологической науки является предпосылкой широкого применения геоинформационных технологий в археологии, что уже отмечалось специалистами в области геоинформатики¹.

1.2.

Отличие ГИС от компьютерной картографии

Иногда встречаются утверждения, что геоинформационные системы являются неким вариантом компьютерного или электронного картографирования. Между тем, эти понятия имеют ряд существенных различий. Прежде всего *системы компьютерного картографирования* разработаны для создания карт в сочетании с описательными атрибутами. Они выполняют ряд операций, в результате которых у пользователя появляется карта с нанесенной на нее информацией в виде точечных объектов или ареальных областей (рис. 1.1). В качестве примера можно привести работы В.Б. Ковалевской в области компьютерного картографирования массового археологического материала эпохи раннего Средневековья². При-

¹ См., например, *Владимиров В.Н.* Указ. раб. С. 4–5.

² См., например, *Ковалевская В.Б.* Компьютерная обработка массового археологического материала из раннесредневековых памятников Евразии // Хронология восточно-европейских древностей V–IX веков. Вып. 2. Стекланные бусы и поясные наборы. М., 2000.

водимые в данной работе карты являются конечным продуктом, и для внесения в них любых изменений необходимо повторить весь набор процедур по созданию карт с использованием новой информации. В отличие от компьютерного картографирования, специфической чертой ГИС является *оперирование пространственно-ориентированными данными в динамическом режиме*. В этом случае пользователь может моментально получать отображение своей информации на карте, изменив набор картографируемых данных, или произвести изменения в пространственном расположении изучаемых объектов, которые будут немедленно отображены в наборе исходных данных.

Существует еще одна черта ГИС, которую некоторые исследователи считают основополагающей, отличающей ее от компьютерного картографирования. Это наличие инструментов анализа информации. Так, согласно одному из определений ГИС, — это «компьютерные системы для сбора, проверки, интеграции и анализа информации, относящейся к земной поверхности»¹.

1.3.

История использования ГИС

Фактически предшественником ГИС в какой-то мере являлось наложение нескольких слоев карт на прозрачной основе, применявшееся еще в «докомпьютерную» эпоху (с конца XVIII — середины XIX в., особенно в начале XX в.). Прототипами ГИС служили проекты, направленные для решения транспортных задач, которые осуществлялись на первых компьютерах в середине 1950-х гг. в университете Вашингтона. Именно тогда происходила разработка первых пространственных алгоритмов, до сих пор применяющихся в ГИС.

Первая работающая географическая информационная система была создана в начале 1960-х гг. Р. Томлисоном для управления земельными ресурсами южной Канады (Canada Geographic Information System, CGIS)². На развитие ГИС с середины 1960-х и по начало 1980-х гг. большое влияние оказывает Гарвардская лаборатория Говарда Фишера, специализировавшаяся в области графического и пространственного компьютерного анализа и создавшая пакеты программ SYMAP, SYMVU, GRID, ODISSEY.

¹ *Rhind D.W.* A GIS Research Agenda // International Journal of Geographical Information Systems. # 2. 1988. P. 23–28.

² *Tomlinson R.F., Marble D.F., Calkins H.W.* Computer Handling of Geographic Data. Unesco Natural Resource Research Series. # 13. 1976.

В учебнике по геоинформатике под редакцией В.С. Тикунова названы основные причины, в результате которых появились географо-информационные системы¹:

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

Пожалуй, главной причиной, послужившей широкому внедрению геоинформатики в различные области человеческой деятельности, стало появление и распространение персональных компьютеров и разработка соответствующего программного обеспечения ГИС, с которым могли работать не только специалисты-профессионалы, но и любой заинтересованный пользователь. С этой точки зрения важной вехой в становлении ГИС стал 1969 г., когда в США был основан Институт исследования систем окружающей среды (Environmental Systems Research Institute, ESRI), разрабатывающий серию программ ГИС, предназначенных для широкого круга пользователей. Начало этому процессу было положено в 1982 г., когда ESRI выпускает первую коммерческую ГИС — ARC/INFO. В настоящее время компания распространяет программу ArcGIS версии 9.3 в 150 странах мира, занимая более 30% рынка продаж программного обеспечения ГИС. В России официальным дистрибьютором этих программных продуктов является компания «Дата+», созданная в 1992 г. Институтом географии РАН совместно с ESRI².

В нашей стране интерес к ГИС возник благодаря проходившему в Москве в 1976 г. XXIII Конгрессу международного географического союза, к которому был приурочен выход сборника «Новые идеи в географии». В сборнике были впервые опубликованы на русском языке работы, посвященные ГИС³. Однако вплоть до падения «железного занавеса» в начале 1990-х гг. исследований с использованием ГИС в СССР не проводилось. Их количество стало стремительно увеличиваться с появлением доступа к зарубежным

программным продуктам и литературе, что привело к созданию в 1995 г. ГИС-Ассоциации в России. Теперь в нашей стране, как и во всем мире, ГИС успешно применяется в самых разнообразных сферах человеческой деятельности. ГИС настолько прочно вошел в нашу повседневную жизнь, что с 1998 г. по инициативе Национального Географического общества США, Ассоциации американских географов и ESRI был учрежден Всемирный День ГИС, который отмечается ежегодно в середине ноября.

1.4.

Составные части, подсистемы и процедуры ГИС

К составным частям ГИС, согласно определениям, приводимым на официальном сайте компании «Дата+», относятся:

Аппаратные средства — компьютер, на котором запущена ГИС. В настоящее время ГИС работают на различных типах компьютерных платформ, от централизованных серверов до отдельных или связанных сетью настольных компьютеров. Для полевой археологической практики бывают полезны карманные персональные компьютеры (КПК), позволяющие оперативно работать с ГИС прямо на памятниках (рис. 1.2).

Программное обеспечение ГИС, которое содержит функции и инструменты, необходимые для хранения, анализа и визуализации географической (пространственной) информации. Ключевыми компонентами программных продуктов являются: инструменты для ввода и оперирования географической информацией; система управления базой данных (DBMS или СУБД); инструменты поддержки пространственных запросов, анализа и визуализации (отображения); графический пользовательский интерфейс (GUI или ГИП) для легкого доступа к инструментам.

Данные — это, вероятно, наиболее важный компонент ГИС. Данные о пространственном положении (географические данные) и связанные с ними табличные данные могут собираться и подготавливаться самим пользователем либо приобретаться у поставщиков на коммерческой или другой основе. В процессе управления пространственными данными ГИС интегрирует пространственные данные с другими типами и источниками данных, а также может использовать СУБД, применяемые многими организациями для упорядочивания и поддержки имеющихся в их распоряжении данных.

Исполнители. Широкое применение технологии ГИС невозможно без людей, которые работают с программными продуктами

¹ Основы геоинформатики. Кн. 1. Указ. раб. С. 33.

² См. официальный сайт компании в Интернет: <http://www.dataplus.ru>

³ Геоинформатика. Кн. 1. Указ. раб. С. 32–33.

и разрабатывают планы их использования при решении реальных задач. Пользователями ГИС могут быть как технические специалисты, разрабатывающие и поддерживающие систему, так и обычные сотрудники (конечные пользователи), которым ГИС помогает решать текущие каждодневные дела и проблемы.

Методы. Успешность и эффективность применения ГИС во многом зависит от правильно составленного плана и правил работы, которые разрабатываются в соответствии со спецификой задач и работы каждой организации. В нашем случае важным является тот набор методов пространственного анализа, который позволяет изучать археологическую информацию.

Согласно определению М.Н. ДеМерса, основными подсистемами ГИС являются¹:

1. Подсистема сбора данных, которая собирает и проводит предварительную обработку данных из разных источников. Эта подсистема также в основном отвечает за преобразование различных типов пространственных данных (например, от изолиний топографической карты к модели рельефа ГИС).

2. Подсистема хранения и выборки данных, организующая пространственные данные с целью их выборки, редактирования и обновления.

3. Подсистема манипуляции данными и анализа данных, которая выполняет группировку и разделение данных, устанавливает параметры и ограничения при их отборе, занимается моделированием.

4. Подсистема вывода, которая отображает всю базу данных или ее часть в табличной, диаграммной или картографической форме.

Работа пользователя с ГИС сводится к серии процедур. Назовем основные из них.

Ввод данных. Для использования в ГИС данные должны быть преобразованы в подходящий цифровой формат. Процесс преобразования данных с бумажных карт в компьютерные файлы называется оцифровкой. В современных ГИС этот процесс может быть автоматизирован с применением сканерной технологии, что особенно важно при выполнении крупных проектов, либо при небольшом объеме работ данные можно вводить с помощью дигитайзера. Многие данные уже переведены в цифровые форматы, напрямую воспринимаемые программами ГИС.

Помимо картографических, используются атрибутивные данные, представляющие собой таблицу с информацией, относящейся к пространственно-ориентированным данным. Возможности атрибутивных таблиц в ГИС, как правило, ограничены, поэтому в большинстве программ предусмотрена возможность подключения информации, хранящейся с помощью систем управления базами данных (СУБД). СУБД предназначены для хранения и управления всеми типами данных, включая географические (пространственные) данные, наличие которых дает возможность картографирования этой информации в ГИС.

Манипулирование данными. Часто для выполнения конкретного проекта имеющиеся данные нужно дополнительно видоизменить в соответствии с требованиями используемой системы. Например, географическая информация может быть в разных масштабах, которые для совместной обработки и визуализации удобнее представить в одном. Или для обработки требуется не вся совокупность данных, а их выборка (например, интересующие специалиста археологические памятники конкретной эпохи или культуры). ГИС-технология предоставляет разные способы манипулирования пространственными данными и выделения данных, нужных для конкретной задачи.

Управление данными. В небольших проектах географическая информация может храниться в виде обычных файлов. Но при увеличении объема информации и росте числа пользователей для хранения, структурирования и управления данными эффективнее применять системы управления базами данных (СУБД), т.е. специальные компьютерные средства для работы с интегрированными наборами данных (базами данных). Как уже говорилось выше, в ГИС наиболее удобно использовать реляционную структуру, при которой данные хранятся в табличной форме. При этом для связывания таблиц применяются общие поля. Этот простой подход достаточно гибок и широко используется во многих как ГИС, так и не ГИС приложениях.

Запрос и анализ. При наличии ГИС и географической информации пользователь может получать ответы как на простые вопросы (например, о типах памятников и времени их существования, или на каком расстоянии друг от друга расположены те или иные объекты), так и на более сложные, требующие дополнительного анализа запросы (например, где есть удобные места для расположения поселения или стоянки? Каков основной тип почв под

¹ Де Мерс М.Н. Указ. раб. С. 10–11.

земледельческими угодьями данной культуры? Какую территорию можно обозреть с данного городища?).

С помощью ГИС можно выявлять и задавать шаблоны для поиска, проигрывать сценарии по типу «что будет, если...». Современные ГИС имеют множество мощных инструментов для анализа, среди них наиболее часто применяются два: анализ близости и анализ наложения. Для проведения анализа близости объектов относительно друг друга в ГИС применяется процесс, называемый буферизацией. Он помогает ответить на вопросы типа: сколько родников находится в пределах 500 м от этого поселения? Сколько памятников археологии попадает в зону отвода 250 м при строительстве данного газопровода?

Процесс наложения включает интеграцию данных, расположенных в разных тематических слоях. В простейшем случае это операция отображения, но при ряде аналитических операций данные из разных слоев объединяются физически. Наложение, или пространственное объединение, позволяет, например, интегрировать данные о почвах, уклоне, растительности и плотности памятников на единицу площади.

Визуализация данных. Для многих типов пространственных операций конечным результатом является представление данных в виде карты или графика. Раньше карты создавались на столетия. ГИС предоставляет новые удивительные инструменты, расширяющие и развивающие искусство и научные основы картографии. С ее помощью визуализация самих карт может быть легко дополнена отчетными документами, трехмерными изображениями, графиками и таблицами, фотографиями и другими средствами, например мультимедийными.

1.5.

Типы ГИС

Все ГИС могут быть разделены на типы согласно их пространственному охвату или функциональным особенностям. Функционально ГИС делятся на:

- интегрированные ГИС, ИГИС (integrated GIS, IGIS), которые совмещают функциональные возможности ГИС и систем цифровой обработки изображений (данных дистанционного зондирования) в единой интегрированной среде (рис. 1.3). Примером такой ГИС может являться археолого-географическая информационная система «Кисловодск», разработанная в Институте археологии РАН под руководством Г.Е. Афанасьева;

- полимасштабные, или масштабно-независимые ГИС (multiscale GIS), основанные на множественных, или полимасштабных, представлениях пространственных объектов (multiple representation, multiscale representation), обеспечивая графическое или картографическое воспроизведение данных на любом из избранных уровней масштабного ряда на основе единственного набора данных с наибольшим пространственным разрешением (рис. 1.4). В археологии это, как правило, ГИС, созданные при изучении археологического памятника с использованием материалов его раскопок разного уровня, позволяющие получить информацию о любом объекте вплоть до отдельной находки. Один из прекрасных примеров таких работ — ГИС по раскопкам знаменитого городища Хелебю на севере Германии¹;
- пространственно-временные ГИС (spatio-temporal GIS), которые оперируют пространственно-временными данными (рис. 1.5). Этот весьма распространенный способ изучения археологической информации активно используется археологами, например, в Украине².

По территориальному охвату различают:

- глобальные, или планетарные ГИС (global GIS) (рис. 1.6);
- субконтинентальные ГИС (рис. 1.7);
- национальные ГИС, зачастую имеющие статус государственных (рис. 1.8);
- региональные ГИС (regional GIS) (рис. 1.9);
- субрегиональные ГИС и локальные, или местные ГИС (local GIS) (рис. 1.10).

Археологи, как правило, имеют дело с последними двумя типами ГИС — региональными и локальными, однако важность задачи создания национальной ГИС археологических памятников России неоднократно обсуждалась и продолжает обсуждаться в отечественном археологическом сообществе.

ГИС различаются также предметной областью информационного моделирования:

¹ Карнап-Борнхайм фон К., Хильберг Ф., Кальмринг С., Шульце Й. Хелебю, поселение и порт: старые материалы и новейшие исследования // РА. 2010. № 1. С. 53–63.

² Дараган М.Н. Использование ГИС-технологий для изучения пространственно-временной концентрации курганов скифского времени Нижнего Поднепровья // Археология и геоинформатика. Вып. 5. М., 2008 [Электронный ресурс]. (CD-ROM).

- городские ГИС, или муниципальные ГИС, МГИС (urban GIS) (рис. 1.11);
- природоохранные ГИС (environmental GIS) (рис. 1.12);
- земельные информационные системы (кадастр) (рис. 1.13);
- различные сферы бизнеса (в России это, в основном, газо- и нефтедобывающая промышленность) (рис. 1.14);
- научные проекты, в том числе археолого-географические информационные системы (АГИС) (рис. 1.15).

1.6. Применение ГИС в археологии¹

Применение ГИС в археологии¹

Применение ГИС в археологической науке насчитывает уже более двадцати лет, с момента презентации в 1985 г. в Денвере на Симпозиуме международного общества доисторических и протоисторических наук работ С. Джилла, Д. Хоуэrsa и К. Квам². С тех пор применение ГИС в археологических исследованиях неуклонно расширялось, занимая значительное место в науке по сравнению с историческими или этнологическими дисциплинами. Так, В.Н. Владимиров приводит данные с сайта Сиднейского университета, где была размещена библиография археологических работ, написанных с использованием ГИС, которая уже в 1995 г. насчитывала 328 наименований³. Разумеется, с тех пор число этих работ резко увеличилось и уже перевалило за тысячу.

В настоящее время можно говорить уже о нескольких сформировавшихся направлениях использования геоинформационных технологий в археологии. С. Сэвейдж выделяет три таких направления:

- 1) охрана археологического наследия (Cultural Resource Management) и предиктивное моделирование (predictive modeling);
- 2) моделирование исторической ситуации на основе археологических источников;

¹ Геоинформационное направление в археологии не следует путать с направлением, называемым *геоархеологией*. Под последним подразумевается комплекс геологических методов, применяющихся при изучении памятников, прежде всего относящихся к каменному веку.

² Kvanne K.L. Geographic Information Systems techniques for regional archaeological research // UISPP Commission IV Symposium on Data Management and Mathematical Methods in archaeology. Denver, 1985; Gill S.J., Howers D.A. Geographical Information System approach to the use of surface samples in intra-site distributional analysis // UISPP Commission IV Symposium on Data Management and Mathematical Methods in archaeology. Denver, 1985.

³ Владимиров В.Н. Указ. раб. С. 5.

- 3) мультидисциплинарные исследования в рамках ландшафтной археологии (Landscape Archaeology)¹.

Охрана археологического наследия занимает значительное место среди археологических работ, связанных с ГИС. В России это прежде всего созданные ГИС по памятникам археологии Ставропольского и Красноярского края, разработка ГИС по охране археологического наследия Чукотки и памятников острова Кизи, создаваемые ГИС по памятникам истории и культуры Удмуртской Республики, Республики Калмыкии (рис. 1.16) и многие другие. Сюда же примыкают многочисленные работы по охране археологических памятников в зоне проектирования строительных объектов, осуществляющиеся с помощью ГИС (рис. 1.17).

Важное значение при создании подобных региональных ГИС имеет разработка единого стандарта описания археологического памятника и автоматизации нанесения его на карту в виде точечного слоя. В этом направлении успешно трудится коллектив археологов и программистов под руководством Ст.А. Васильева (ИИМК РАН), который разработал уникальную информационную систему «Археограф» (рис. 1.18); более подробно о ней говорится в главе 5.

Особняком стоит задача предиктивного или прогностического моделирования, позволяющая намечать перспективные места для поиска археологических памятников тех или иных типов и эпох согласно критериям, характерным для особенностей их расположения в пространстве. Подобное моделирование является весьма сложной и трудоемкой операцией, им весьма редко занимаются в археологии. В последние годы наиболее активно предиктивное моделирование распространено в США, Голландии и Германии. В России опыт использования прогностического ГИС-моделирования в археологии пока отсутствует. С обзором зарубежных работ на эту тему можно познакомиться в статье Г.П. Гарбузова, опубликованной в электронном издании «Археология и геоинформатика» (вып. 3).

Моделирование исторической ситуации в археологии с помощью ГИС также занимает значительное место в нашей науке. Классическими являются работы И. Уильямса, В.Ф. Лимпа и Ф.Л. Брюе, посвященные изучению памятников в зоне расположения военной

¹ Savage S.H. GIS in archaeological research // Interpreting Space: GIS and archaeology. L.; N.Y.; Philadelphia, 1990. P. 22–32; Афанасьев Г.Е., Савенко С.Н., Коробов Д.С. Древности Кисловодской котловины. М., 2004. С. 51–60.

базы армии США Форт Худ¹, или исследование Т. Киркинен памятников эпохи раннего железного века в восточной области Финляндии, в районе Миккели². На русском языке можно ознакомиться с упоминавшимися выше работами М.Н. Дараган (рис. 1.19) или исследованием Г.В. Требелевой, посвященным изучению обороны территории Азиатского Боспора в первые века нашей эры (рис. 1.20). Сюда же можно отнести созданный коллективом авторов под руководством Г.А. Кошеленко ГИС по археологическим памятникам Маргианы (рис. 1.21). Эти работы, а также некоторые другие, опубликованы в электронном издании «Археология и геоинформатика» (вып. 3–6).

ГИС в ландшафтной археологии занимает особое место в археологических исследованиях, поскольку базируется на мультидисциплинарном подходе, объединяя на базе ГИС в одном исследовательском проекте разнообразную информацию, полученную с помощью данных дистанционного зондирования и палеопочвоведения, палеоклиматологии и археозоологии, и т.д. В центре внимания подобных исследований стоят «культурные ландшафты», т.е. сложные комплексы множества взаимодействующих природных и антропогенных составляющих. Историю изучения культурных ландшафтов и обзор применяющихся методов ГИС можно найти в работах Г.Е. Афанасьева и Г.П. Гарбузова³. Среди наиболее часто упоминаемых исследований, осуществленных в рамках ландшафтной археологии с помощью ГИС, называют совместное исследование С. Грина и М. Звелебила доисторических поселений юго-восточной Ирландии⁴, исследовательский проект К. Крамли и С. Мадри во Франции⁵, исследования В. Гаффни и З. Станчица на острове Хвар (Хорватия)⁶.

¹ Williams I., Limp W.F., Briuer F.L. Using geographic information systems and exploratory data analysis for archaeological site classification and analysis // *Interpreting Space: GIS and archaeology*. L.; N.Y.: Philadelphia, 1990. P. 239–273.

² Kirkinen T. Center in the Wilderness Area Using a GIS in modeling Late Iron Age Settlement in Eastern Finland // *Archaeological Application of GIS*. Sydney University Archaeological Methods Series. # 5. 1997.

³ Афанасьев Г.Е., Савенко С.Н., Коробов Д.С. Указ. раб. Гл. 2; Гарбузов Г.П. Археология ландшафта и геоинформатика: теоретические аспекты взаимоотношений // *Археология и геоинформатика*. Вып. 4. М., 2007 [Электронный ресурс]. (CD-ROM).

⁴ Green S.W., Zvelebil M. The colonization and agricultural transition of Southeast Ireland // *Proceedings of the Prehistoric Society of London*. October, 1990.

⁵ Madry S.L.H., Crumley C.L. An application of remote sensing and GIS in regional archaeological settlement pattern analysis: the Arroux River valley, Burgundy, France // *Interpreting Space: GIS and archaeology*. L.; N.Y.: Philadelphia, 1990.

⁶ Gaffney V., Stančić Z. GIS approaches to regional analysis: A case study of the island

В России к подобным исследованиям относится мультидисциплинарный анализ археологических памятников Кисловодской котловины (рис. 1.22), ведущийся в Институте археологии РАН с 1996 г. под руководством Г.Е. Афанасьева⁷, совместные работы А.Б. Белинского, Д.С. Коробова и С. Райнхольд по изучению памятников кобанской культуры в Кисловодской котловине (рис. 1.23)⁸, исследования Г.П. Гарбузова по изучению античных поселений на Таманском полуострове (рис. 1.24). Прекрасным примером исследований культурного ландшафта на Украине является археолого-геоинформационная система «Овручский проект» (рис. 1.25), созданная А.П. Томашевским и С.М. Вовкодавтом. В этом же ключе лежат работы автора настоящего пособия по изучению системы расселения алан Кисловодской котловины методами ГИС⁹.

Таким образом, применение ГИС в археологии уже имеет свою историю и сложившиеся направления, число подобных исследований неуклонно растет. Свидетельством тому являются первые диссертационные работы, защищенные с применением методов геоинформатики в археологических исследованиях¹⁰. Можно с уверенностью говорить о том, что у исследований археологического материала методами геоинформатики имеется большой потенциал. Настало время объединения усилий российских археологов, специализирующихся в этой области. С этой целью в марте 2002 г. в стенах Института археологии РАН при Отделе охранных раскопок была создана группа «Археолого-географические информационные системы» (АГИС). За прошедшие годы группой АГИС была организована серия мероприятий, прошедших в виде круглых столов и археологических школ. Регулярно выпускается электронное издание «Археология и геоинформатика», в котором публикуются теоретические и практические результаты работ, проведенных с использованием ГИС в археологии. Геоинформатика прочно заняла свое место в археологических исследованиях, в том числе и в нашей стране.

of Hvar / Kenneth Kvamme (preface). Znanstveni inštitut Filozofske fakultete. University of Ljubljana, Yugoslavia. Ljubljana, 1991.

⁷ Афанасьев Г.Е., Савенко С.Н., Коробов Д.С. Указ. раб.

⁸ Белинский А.Б., Коробов Д.С., Райнхольд С. Ландшафтная археология на Северном Кавказе: первые результаты исследования предгорного ландшафта Кисловодска эпохи позднего бронзового — раннего железного века // *Материалы по изучению историко-культурного наследия Северного Кавказа*. Вып. IX. Археология, краеведение. Ставрополь, 2009.

⁹ См. электронное издание «Археология и геоинформатика», вып. 2–6.

¹⁰ См. работы Г.П. Гарбузова, С.Л. Смекалова и Г.В. Требелевой в списке литературы к гл. 1.

Глава 2 ОСНОВЫ КАРТОГРАФИИ

2.1.

Развитие представлений о фигуре Земли

С давних времен люди интересовались окружающим миром и пытались адекватно представить себе пространство, в котором они жили. При этом развитие знаний не всегда двигалось прямым путем, порой претерпевало регресс и вновь возвращалось на исходные позиции. Так, не принимая во внимание средневековые европейские представления о плоской Земле, покоящейся на трех китах, можно считать, что с IV в. до н.э. и по конец XVII в. Земля представлялась в форме шара. Впоследствии математические расчеты показали, что более адекватной формой земной поверхности можно считать эллипсоид вращения, т.е. сферическую форму с неодинаковыми по величине продольной и поперечной осями (рис. 2.1). Такие представления держались вплоть до второй половины XIX в., когда было доказано, что фигура Земли более сложная и представляет собой трехосный эллипсоид. Наконец, с 1940-х гг. принято считать, что Земля представляет собой уникальное тело — геоид, имеющее сложную поверхность (рис. 2.2). Исходя из этих знаний, строились системы вычисления координат пространственного расположения интересующей точки на поверхности Земли, самая распространенная из которых представляет собой географическую систему координат.

2.2.

Географическая система координат

Географическая система координат представляет собой систему вычисления сферических координат расположения точки на земной поверхности по двум углам, рассчитываемым от экватора (*широта*) и центрального меридиана (*долгота*) (рис. 2.3). Аналогичные

географическим координаты применяются на других планетах, а также на небесной сфере.

Широта — угол между местным направлением зенита и плоскостью экватора — воображаемой линии плоскости пересечения с поверхностью Земли, перпендикулярной оси вращения планеты и проходящей через ее центр (рис. 2.4, слева). Широта отсчитывается от 0 до 90° в обе стороны от экватора. Географическую широту точек, лежащих в северном полушарии (северная широта), принято считать положительной, широту точек в южном полушарии — отрицательной. К тому же принято говорить о широтах, больших по абсолютной величине, как о высоких, а о близких к нулю (т.е., к экватору) — как о низких.

Из-за отличия формы Земли (геоида) от шара географическая широта точек несколько отличается от их геоцентрической широты, т.е. от угла между направлением на данную точку из центра Земли и плоскостью экватора.

Долгота — угол между плоскостью меридиана, проходящего через данную точку, и плоскостью начального нулевого меридиана, от которого ведется счет долготы (рис. 2.4, центр). Сейчас на Земле за нулевой меридиан принят тот, что проходит через старую обсерваторию в городе Гринвич (рис. 2.5), и поэтому он называется Гринвичским меридианом. Долготы от 0 до 180° к востоку от нулевого меридиана называют восточными, к западу — западными. Восточные долготы принято считать положительными, западные — отрицательными. Следует подчеркнуть, что, в отличие от широты, для системы долгот выбор начала отсчета (нулевого меридиана) произволен и зависит только от соглашения. Так, кроме Гринвича, в качестве нулевого ранее выбирались меридианы обсерваторий Парижа, Кадиса, Пулково (на территории Российской империи) и т. д.

Чтобы полностью определить положение точки трехмерного пространства, необходима третья координата — *высота*. Расстояние до центра планеты не используется в географии: оно удобно лишь при описании очень глубоких областей планеты или, напротив, при расчете орбит в космосе. В пределах географической оболочки применяется обычно высота над уровнем моря, отсчитываемая от уровня «сглаженной» поверхности — геоида. Такая система трех координат оказывается ортогональной, что упрощает ряд вычислений. Высота над уровнем моря удобна еще тем, что связана с атмосферным давлением.

2.3.

Референц-эллипсоиды

Как уже говорилось выше, сложная форма земной поверхности (геоид) может быть наиболее адекватно описана математически в виде эллипсоида вращения, называемого также референц-эллипсоидом. Для расчета подобного эллипсоида основными характеристиками являются большая и малая оси (рис. 2.6), которые также могут быть представлены как полярная и экваториальная полуоси (рис. 2.7). При этом экваториальная полуось (b) будет иметь большую величину, чем полярная полуось (a). Для математического описания земного референц-эллипсоида используют коэффициент сжатия: значение, получаемое при делении разницы между полярной и экваториальной полуосью, на значение, вычисленное для полярной полуоси. Ниже приводится табл. 2.1 со значениями этих элементов референц-эллипсоидов, вычисленными в разное время для разных континентов и стран.

Значения элементов земных референц-эллипсоидов

Эллипсоиды	Полуоси, м		Сжатие $F = (a - b) / a$	Страны
	a	b		
1	2	3	4	5
Красовского (1940 г.)	6378245	6356863,0188	1:298,3	Россия, страны СНГ, восточноевропейские страны, Антарктида
Бесселя (1841 г.)	6377997,155	6356079	1:299,1528128	Европа и Азия
Хейфорда (1909 г.)	6378388	6356912	1:297,0	Европа и Азия, Ю. Америка, Антарктида
Кларка II (1880 г.)	6378249	6356515	1:293,465	Африка, Барбадос, Израиль, Иордания, Иран, Ямайка
Кларка I (1866 г.)	6378206	6356584	1:294,9786982	Сев. и Ц. Америка
Эйри (1830 г.)	6377491	6356185	1:299,3	Великобритания, Ирландия
Эвереста (1830 г.)	6377276,345	6356075	1:300,8017	Индия, Пакистан, Непал, Шри-Ланка
Эйри (№ 1)	6377563,396	6356257	1:299,3249646	Великобритания
Модифицированная Эйри (№ 2)	6377340,199	6356034	1:299,3249646	Ирландия
Австралийский национальный	6378160	6356775	1:298,25	Австралия

Окончание табл. 2.1

1	2	3	4	5
Эвереста (1956 г.)	6377301,243	6356100	1:300,8017	Индия, Непал
GRS (1980)	6378137	6356752	1:298,257222101	Аляска, Ц. Америка Мексика, США, Канада
Международный	6378388	6356912	1:297	Глобальный
Южно-Американский (1969 г.)	6378160	6356775	1:298,25	Глобальный
WGS-72	6378135	6356750	1:298,26	Глобальный
WGS-84	6378137	6356752	1:298,257223563	Глобальный
ПЗ-90	6378136	6356751	1:298,258	Глобальный, Россия

Из табл. 2.1 очевидно, насколько существенной бывает разница между вычисленными значениями полуосей референц-эллипсоидов и коэффициентом сжатия. Эти различия обусловлены стремлением наилучшим образом описать поверхность Земли с помощью эллипсоида, специально рассчитанного для данной местности. В этом случае вычисленный референц-эллипсоид местной системы координат как бы соприкасается с земной поверхностью и наилучшим образом отражает ее пространственные характеристики (рис. 2.8). С развитием космической спутниковой навигации были разработаны геоцентрические системы координат, основанные на расчете из космоса центра земного геоида. Наиболее распространенной в настоящее время является американская геоцентрическая система 1984 г. (World Geodetic System 1984, WGS-84). В России принята геоцентрическая система Параметры Земли 1990 г. (ПЗ-90), отличающаяся от WGS-84 на единицы метров.

Примером местного эллипсоида является вычисленный в 1940 г. референц-эллипсоид Красовского, которым описывалась территория СССР. Созданная на основе эллипсоида Красовского система координат была принята в качестве общесоюзной в 1942 г. Она брала отсчет от Пулковской обсерватории (нулевой Пулковский меридиан), поэтому иногда можно встретить ее обозначение как Пулково-1942. Эта система координат была столь совершенна, что на Дальнем Востоке погрешность измерений составляла всего 20 м!¹ До начала 1990-х гг., помимо СССР, эта система координат была также принята в странах Восточной Европы, входивших в

¹ Макаренко Н.Л., Демьянов Г.В. Система координат СК-95 и пути дальнейшего развития государственной геодезической сети России // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. 2002. № 1-2 (33-34). С. 56.

Варшавский Договор. В настоящее время в России осуществляется переход на систему координат 1995 г., точность которой выше. Она базируется на геоцентрической системе ПЗ-90.

2.4.

Представление о проекции

Картографическая проекция — это математически определенный способ отображения поверхности эллипсоида на плоскости. Суть проекций связана с тем, что фигуру Земли — эллипсоид, не развертываемый в плоскость, заменяют на другую фигуру, развертываемую на плоскость, или непосредственно на плоскость. При этом с эллипсоида на другую фигуру переносят сетку параллелей и меридианов. Вид этой сетки бывает разный в зависимости от того, какой фигурой заменяется эллипсоид. Можно представить себе этот процесс, мысленно поместив в центр Земли источник света и спроецировав ее поверхность на плоский экран (рис. 2.9).

В любой проекции существуют искажения, которые бывают четырех видов: искажения длин, искажения углов, искажения площадей и искажения форм. Поэтому для разных задач подбираются различные виды проекций, наиболее адекватно отражающих представления о длине, углах или площади и форме. С точки зрения искажений проекции делятся на *равноугольные*, *равновеликие* и *произвольные*.

Равноугольные проекции — проекции без искажений углов. Они весьма удобны для решения навигационных задач. Угол на местности всегда равен углу на карте, линия прямая на местности — прямая на карте. Главным примером данной проекции является поперечно-цилиндрическая Проекция Меркатора (1569 г.), которая до сих пор используется для морских навигационных карт.

В *равновеликих проекциях* отсутствуют искажения площадей, но при этом сильны искажения углов и форм (материки в высоких широтах сплющиваются). В такой проекции изображаются экономические, почвенные и другие карты.

В *произвольных проекциях* имеются искажения и углов, и площадей, но в значительно меньшей степени, чем в равновеликих и равноугольных проекциях, поэтому они наиболее употребляемые.

Проекция также отличаются по способу передачи поверхности сфероидна на лист карты. Основные виды таких проекций — *конические*, *азимутальные* и *цилиндрические*.

Образование *конических проекций* можно представить как проектирование земной поверхности на боковую поверхность конуса, определенным образом ориентированного относительно земного шара (эллипсоида) (рис. 2.10). По характеру искажений конические проекции могут быть различными. Наибольшее распространение получили равноугольные и равнопромежуточные проекции.

В прямых конических проекциях оси земного шара и конуса совпадают. При этом конус берется или касательный (рис. 2.10, сверху), или секущий (рис. 2.10, снизу). После проектирования боковая поверхность конуса разрезается по одной из образующих и развертывается в плоскость. В зависимости от размеров изображаемой территории в конических проекциях принимаются одна или две параллели, вдоль которых сохраняются длины без искажений. Одна параллель (касательная) принимается при небольшом протяжении по широте; две параллели (секущие) — при большом протяжении для уменьшения уклонов масштабов от единицы. В литературе их называют стандартными параллелями.

К коническим проекциям относятся проекция Альберта (равновеликая), Ламберта (равноугольная), равнопромежуточная коническая проекция и др.

Азимутальные проекции можно представить как плоский лист карты, который соприкасается с центральной точкой на поверхности Земли. Встречаются полярные, экваториальные и косые азимутальные проекции, что определяется местом расположения центральной точки проекции, выбор которой зависит от расположения территории (рис. 2.11). В зависимости от расположения источника проектирования различают гномическую, стереографическую и ортографическую азимутальные проекции (рис. 2.12). Гномическая проекция имеет источник проектирования в центре Земли, стереографическая — на противоположном от центральной точки проекции полюсе, а ортографическая представляет собой вид сверху на земную поверхность.

Существуют разные способы образования *цилиндрических проекций*. Наглядным представляется проектирование земной поверхности на боковую поверхность цилиндра, которая затем развертывается на плоскости. В зависимости от расположения цилиндра различают прямую, поперечную и косую цилиндрические проекции. Прямая цилиндрическая проекция соприкасается с земной поверхностью по линии экватора, вдоль которой искажения будут

носить наименьший характер, увеличиваясь к полюсам (рис. 2.13, слева). При поперечной цилиндрической проекции линией соприкосновения с Землей является выбранный меридиан, вдоль которого будут наименьшие искажения проектируемой поверхности (рис. 2.13, центр). Можно также выбрать условную линию соприкосновения цилиндрической проекции с земной поверхностью, проходящую под наклоном к сетке географических координат (рис. 2.13, справа).

Цилиндрические проекции применяются при составлении карт мелких и крупных масштабов — от общегеографических до специальных. Так, например, аэронавигационные маршрутные полетные карты чаще всего составляются в косых и поперечных цилиндрических равноугольных проекциях (на шаре).

Основными видами цилиндрических проекций являются прямая проекция Меркатора, поперечная проекция Меркатора (Гаусса—Крюгера, UTM), равновеликая и равнопромежуточная цилиндрическая проекция. Кроме того, встречаются псевдоцилиндрические проекции, например проекция Робинсона.

Наиболее важными для современной картографии являются поперечные цилиндрические проекции Меркатора (Universal Transverse Mercator, UTM) и Гаусса—Крюгера. Именно с их использованием создано большинство топографических карт, с которыми приходится иметь дело археологу. Основные принципы картографирования с использованием этих проекций заключаются в делении земной поверхности на зоны долготы по 6 градусов каждая, с центральным меридианом посередине каждой зоны, с которым соприкасается поперечная цилиндрическая проекция (рис. 2.14). В этом случае каждая зона имеет минимальные искажения, несколько нарастающие к краям карты.

В поперечных цилиндрических проекциях применяется Декартова система координат XY, исчисляемая в метрах. Используются расстояния в метрах от экватора по широте и центрального меридиана каждой зоны по долготе. При этом чтобы избежать отрицательных значений координат, вводится понятие «ложный север» и «ложный восток». «Ложный север» представляет собой значение в 10 000 000 м, прибавляемое к координатам южного полушария, «ложный восток» — 500 000 м, прибавляемых к значениям долготы. В проекции Гаусса—Крюгера используется также прибавление 1 000 000 м к значению долготы для каждой зоны (1 000 000 м для зоны 1, 2 000 000 м для зоны 2 и т.д.). Для более адекватного отражения картографической информации применяют также разные

масштабные коэффициенты. Сравнительные характеристики проекций UTM и Гаусса—Крюгера отражены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Характеристики основных поперечных цилиндрических проекций

Характеристика	Проекция UTM	Проекция Гаусса—Крюгера
величина зоны	6 градусов	6 градусов
нулевой меридиан	—180 градусов	0 градусов (Гринвич)
центральный меридиан для зоны	—177 — —171 — —165 — —159 — —153 — —147 — —141 и т.д.	3-9-15-21-27-33-39-45-51- 57-63-69-75 и т.д.
соответствие номеров зоны в Европе и Азии	31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 и т.д.	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 и т.д.
масштабный коэффициент	0,9996	1,0
«ложный восток»	500 000	500 000 (+ 1 000 000)
«ложный север»	0 — северное полушарие 10 000 000 — южное полушарие	0 — северное полушарие 10 000 000 — южное полушарие

Проекция UTM применяется в США и странах Европейского Союза, проекция Гаусса—Крюгера применялась в СССР и в настоящее время используется для картографирования в России. Именно в этой проекции изготовлено большинство топографических карт, используемых археологами нашей страны.

2.5.

Этапы развития мировой картографии

Остановимся кратко на основных этапах истории мирового картографирования. Картография появилась, вероятно, еще до появления письменности в первобытном обществе. Об этом свидетельствует, например, то, что у народов, не имевших письменности в момент их открытия, имелись развитые картографические навыки. Путешественники, расспрашивавшие эскимосов северной Америки о расположении окрестных островов и берегов, получали от них сравнительно внятные описания в виде карт, нарисованных на кусочках коры, на песке или на бумаге (если она была). Сохранились карты в форме наскальных рисунков в итальянской долине Камоника, относящиеся к бронзовому веку. Помимо наскальных изображений, до нас дошли древнеегипетские и вавилонские карты, относящиеся к III—I тыс. до н. э.

В *древнегреческую эпоху* греки, например философы милетской школы (VI в. до н.э.), считали Землю диском, или четырехугольником. Однако они уже сомневались в этом, например философ из той же школы Анаксимандр считал Землю цилиндром. Уже в IV в. до н.э. берет начало учение о шарообразности Земли. Тогда появились первые понятия о климатических зонах, а следовательно, и о географической широте, которая определялась по максимальной высоте Солнца над горизонтом. Примерно в 250 г. до н.э. Эратосфен определил с помощью геометрических построений радиус Земли с ошибкой не больше 15%. Он же ввел линии широты и долготы на картах. Однако расстояние между ними на картах Эратосфена варьировалось для наиболее удобной передачи известных ему пунктов.

Гиппарх развил учение о широте и долготе и разработал первые картографические проекции. На основании сведений и методики Гиппарха Клавдий Птолемей (II в. н.э.) составил обширный справочник по координатам различных точек и учебник по составлению карт (рис. 2.16). Карты Птолемея до нас не дошли, однако их можно восстановить по данным его справочника и методикам. Составленные по данным Птолемея атласы карт были очень популярны в эпоху Возрождения и дали толчок к развитию европейской картографии того времени. «География» Птолемея в разных вариантах содержит от 27 крупных до 64 мелких карт. Для нас наиболее важными являются его Восьмая карта Европы и Вторая карта Азии, которые включают территорию южной России (рис. 2.15).

Труды Птолемея были вершиной древнегреческого картографического знания. После этого сведения лишь обобщались, а в последующие эпохи картографическое знание пришло в упадок. В конце *римской эпохи* весьма популярными были дорожные карты, составленные без масштаба с указанием расстояний в римских милях между населенными пунктами. Самая знаменитая из этих карт — карта Певтингера (Tabula Peutingeriana) 250 г. н.э. — копия дорожной карты I в. н.э., которая перешла в XVI в. к коллекционеру Конраду Певтингеру и названа его именем (рис. 2.17).

В *раннем Средневековье* картография пришла в упадок. Вопрос о форме Земли перестал быть важным для философии того времени, многие снова начали считать Землю плоской. Получили распространение так называемые Т и О карты, на которых поверхность Земли изображалась состоящей из дискообразной суши, окруженной океаном (буква О). Суша изображалась разделенной на три части: Европу, Азию и Африку. Европу от Африки отделяло Средиземное море (нижняя часть буквы Т), Африку от Азии река Нил

(правая часть переключины Т), а Европу от Азии река Дон (Tanais) (левая часть переключины Т).

В то же время традиции Птолемея во многом сохранялись арабскими учеными. Арабы усовершенствовали методы определения широты Птолемея, они научились использовать наблюдения звезд вместо Солнца. Это повысило точность. Весьма подробную карту тогдашнего мира составил в 1154 г. арабский географ и путешественник Аль-Идриси. Интересная особенность карты Идриси, как, впрочем, и других карт, составленных арабами, — юг изображался сверху карты (рис. 2.18).

Некоторую революцию в европейской картографии устроило введение в пользование в конце XIII — начале XIV в. магнитного компаса. Появился новый тип карт: портоланы (портуланы) — подробные компасные карты берегов. Детальное изображение береговой линии на портоланах нередко совмещалось с простейшим делением на страны света Т и О карт. Первый дошедший до нас портолан датируется 1296 г. Портоланы служили сугубо практическим целям и как таковые мало заботились об учете формы Земли.

Эпоха Возрождения и Новое время. В середине XIV в. началась эпоха Великих географических открытий. Из-за этого обострился и интерес к картографии. Важные достижения картографии доколумбовского периода — карта фра Мауро 1459 г., которая в некотором смысле придерживалась концепции плоской Земли, и первый глобус, составленный немецким географом Мартином Бейхаймом.

После открытия Америки Колумбом в 1492 г. в картографии произошли новые успехи — появился целый новый континент для исследования и изображения. Очертания американского континента стали ясны уже к 30-м гг. XVI в. Весьма помогло развитию картографического дела изобретение книгопечатания.

Следующая революция в картографии — создание Герхардтом Меркатором и Абрагамом Ортелиусом первых атласов Земного шара. При этом Меркатор создавал картографию как науку: он разработал теорию картографических проекций и систему обозначений. Атлас Ортелиуса под названием Theatrum Orbis Terrarum был напечатан в 1570 г., полный атлас Меркатора был напечатан только после его смерти.

Увеличению точности карт содействуют более точные способы определения широт и долгот, открытие Снеллиусом в 1615 г. способ триангуляции и усовершенствование геодезических и астрономических инструментов, а также часов (хронометров).

Хотя некоторые довольно удачные попытки составления больших карт (Германии, Швейцарии и т. д.) были сделаны еще в конце XIV и в XVII вв., однако только в XVIII в. мы видим большой успех в этом отношении, а также существенное расширение более точных картографических сведений по отношению к Восточной и Северной Азии, Австралии, Северной Америке и т. д. Важное техническое достижение XVIII в. — разработка способов измерения высот над уровнем моря и способов изображения высот на картах. Таким образом, появилась возможность снимать топографические карты. Первые топографические карты были сняты в XVIII в. во Франции.

Развитие картографии в конце XIX — начале XX в. Лишь в конце XIX столетия стали производиться точные инструментальные съемки на больших пространствах и издаваться настоящие топографические карты различных государств в крупных масштабах. К началу XX в. съемка мелкомасштабных топографических карт большинства государств еще не была закончена. Полностью задачу построения мелкомасштабной карты мира удалось решить только к середине XX в.

2.6.

История картографии в России

Уже в допетровскую эпоху в России было известно искусство составления географических чертежей, что доказывает «Большой Чертеж», начавший составляться еще в XVI в. (по-видимому, по приказу Ивана Грозного) и значительно пополненный в XVII в., но который, к сожалению, до нас не дошел, поскольку имелся лишь в одном экземпляре. Сохранился комментарий к нему под названием «Книга Большому Чертежу».

О старинных русских чертежах мы можем получить понятие из карты Сибири, составленной в 1667 г. по приказанию воеводы П.И. Годунова и копия с которой сохранилась в Стокгольмском государственном архиве, из сибирского чертежа Ремезова 1701 г. и из нескольких чертежей отдельных местностей конца XVII в., сохранившихся в русских архивах (рис. 2.19). Что касается «Большого Чертежа», то он послужил для составления карты, над которой трудился царевич Федор Борисович Годунов и на основании которой были изданы в 1612—1614 гг. карты Массы и Герарда в Голландии. Эти карты были первыми сколько-нибудь удовлетворительными генеральными картами России, хотя попытки к составлению таких делались на Западе и ранее: известна, например, карта Бернардо

Агнесе 1525 г., сохранившаяся в венецианском архиве и основанная на расспросных сведениях; карта Вида и особенно карта Герберштейна, который мог пользоваться отчасти и русским чертежом или, по крайней мере, русскими дорожниками. Весьма интересна также карта Волги, составленная знаменитым путешественником Адамом Олеарием (рис. 2.20).

Некоторые добавления к картографическим сведениям о России, особенно Сибири, были сделаны в XVIII в. Витзенем и Штраленбергом, но история русской картографии начинается со времен Петра I. Петр I, интересуясь географией, посылал для съемок геодезистов (Кожин, Никита) и морских офицеров и выписал из-за границы для издания карт граверов Шхонебека и Пикара. Картографические материалы в его время собирались в Сенат, секретарь которого И. Кирилов был большой любитель географии; благодаря ему в 1745 г. был издан первый русский географический атлас из 19 карт (рис. 2.21, 2.22). Позже составление и издание карт перешло в Академию наук, которой при Екатерине II был издан более подробный атлас (до 70 пунктов в нем уже было определено астрономически) (рис. 2.23). Множество картографических данных было собрано в эпоху Екатерины II путешественниками-академиками, а также благодаря начатому в это же время генеральному межеванию. Тогда же в 1797 г. было создано частное Депо карт. При Павле I составление карт перешло в военное ведомство и при Александре I приурочено к Главному штабу, при котором в 1822 г. был учрежден корпус военных топографов. К эпохе Александра I относятся первые триангуляции в России, исполнявшиеся сперва под руководством генерала Теннера, затем генерала Шуберта. После основания Пулковской обсерватории при Николае I геодезия и картография в России сделали значительные успехи и заявили себя такими крупными работами, как измерение под руководством Струве дуги меридиана от Лапландии до устьев Дуная и составление с 1846 г. трехверстной топографической карты западных губерний. При Александре II листы этой карты стали поступать в продажу, и в то же время была издана десятиверстная карта Европейской России, а также ряд карт по Азиатской России (Кавказу, Средней Азии), многие специальные карты и т. д.; с этого же времени возникла у нас и частная картографическая деятельность.

На протяжении долгого времени, с 1848 по 1928 г. создавались крупномасштабные карты России с использованием проекции Мюфлинга. С 1928 г. для крупномасштабных карт применяется про-

екция Гаусса—Крюгера, с 1942 г. — на основе эллипсоида Красовского (1940 г.).

2.7.

Главные масштабы и номенклатура карт

До 1934 г. в России применялись старые единицы измерения: версты (1,067 км), сажени (2,134 м), дюймы (2,54 см). Соотношение единиц при этом следующее: 1 верста = 500 саженей = 42 000 дюймов. С 1934 г. с переходом на новую метрическую систему (сантиметры, метры, километры) установлен новый масштабный ряд топографических карт СССР в сантиметрах 1 : 10 000; 1 : 25 000; 1 : 50 000; 1 : 100 000; 1 : 200 000; 1 : 500 000 и 1 : 1 000 000. Для выполнения съемок и топографических планов используются масштабы: 1 : 500; 1 : 1000; 1 : 2000 и 1 : 5000.

Для того чтобы правильно подобрать картографическую информацию, нужно иметь представление о номенклатуре топографических карт. При этом необходимо учитывать, что в России имеются ограничения на свободный доступ к картографической информации масштаба крупнее 1 : 100 000.

Сведения о номенклатуре отображаются на специальных бланковых картах, с помощью которых можно правильно подобрать ряд карт на интересующую местность (рис. 2.24). Вся территория на них разделена на крупные квадраты с буквенно-цифровой нумерацией. В основе разграфки и номенклатуры топографических карт лежит карта 1 : 1 000 000, листы которой образуют ряды по параллелям шириной 4° и колонны по меридианам шириной 6°. Ряды обозначаются заглавными буквами латинского алфавита от экватора к югу и северу, начиная с буквы А. Колонны нумеруются арабскими цифрами с запада на восток. Первая колонна начинается со 180° меридиана. Поэтому в номенклатуре карты фактически присутствует информация о номере зоны поперечной проекции Меркатора (UTM).

Каждая ячейка бланковой карты соответствует листу масштаба 1 : 1 000 000 (10 км в см) и делится на несколько ячеек, соответствующих листам более крупного масштаба. К ней относятся 4 листа масштаба 1 : 500 000 (5 км в см), номенклатура которых снабжена заглавными кириллическими буквами; 36 листов масштаба 1 : 200 000 (2 км в см) с указанием номера каждого листа римскими цифрами; 144 листа масштаба 1 : 100 000 (1 км в см) с указанием номера листа арабскими цифрами. Карты более крупного масштаба

базируются на номенклатуре масштаба 1 : 100 000 и включают дополнительные буквы и цифры. Начиная с масштаба 1 : 5000, в номенклатуре используются дополнительные номера листов.

Примеры номенклатуры листов топографических карт приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Номенклатура топографических карт

Масштаб	Доступ	Образец номенклатуры
1 : 1 000 000	свободный	N-37
1 : 500 000	свободный	N-37-A (Б, В, Г)
1 : 200 000	свободный	N-37-XXIX, XXX, XXXV
1 : 100 000	ДСП	N-37-144
1 : 50 000	секретно	N-37-144-A (Б, В, Г)
1 : 25 000	секретно	N-37-144-A-a (А-б, А-в, А-г)
1 : 10 000	секретно	N-37-144-A-a-1
1 : 5 000	секретно	N-37-144-(256)
1 : 2 000	секретно	N-37-144-(256)-(а) (б, в, г) и т.д.

Информацию о номенклатуре топографической карты, используемой системы координат, а также о значениях географических координат в их разных представлениях можно почерпнуть из подписей к листу карты. Так, в верхней строке приведенного в качестве примера на рис. 2.25 листа карты масштаба 1 : 100 000 помимо административной принадлежности отображаемой местности приводится информация о системе координат 1942 г. (а), номенклатуре листа К-38-2 (б) и о значениях координатной сетки широты и долготы в градусах и в километрах (в). При этом в подписи к вертикальным линиям сетки первые одна или две цифры соответствуют номеру зоны проекции Гаусса—Крюгера (в нашем случае это 8), далее три цифры соответствуют расстоянию в километрах от нулевого меридиана с учетом «ложного востока» в 500 км (на рис. 2.25, в это значение соответствует 300 км). Горизонтальные линии снабжены подписями расстояния в километрах от экватора (4876 км на рис. 2.25, в). Таким образом, эти значения географических координат можно использовать при пространственной привязке картографической информации в ГИС.

2.8.

Представления картографических данных, используемые в ГИС

Рассмотрев классические основы картографии, мы подошли непосредственно к основным представлениям картографических данных, которые используются при работе с географо-информационными системами. К ним относятся:

- растровые данные (включая слои покрытия grid);
- векторные данные (включая слои покрытия TIN);
- табличные данные.

Растровые данные представляют собой отсканированные изображения листов топографических карт (рис. 2.26) или полученные с помощью сканеров изображения космических снимков (рис. 2.27), оцифрованные аэрофотографии и т.д. Важнейшим условием работы с растровыми изображениями является их пространственная привязка, когда каждая точка (пиксел) изображения соотносится с координатами, принятыми в ГИС. Это могут быть условные координаты ХУ или географические координаты, выраженные в градусах либо в метрах при использовании соответствующей проекции. От правильной пространственной привязки растровых изображений, именуемой также «геокодированием» или «геореференцированием», зависит корректность работы с картографической информацией в ГИС.

Растровые изображения характеризуются большей или меньшей степенью подробности, выраженной в их разрешении, обычно измеряемой в количестве точек на единицу измерения (как правило, это количество точек на дюйм, dots per inch — dpi). Каждая точка, или пиксел, изображения характеризуется интенсивностью тона, благодаря чему мы видим на экране разноцветную картину. При большом увеличении изображение начинает распадаться на отдельные пикселы, что видно на рис. 2.26 и 2.27.

Большее разрешение обеспечивает большую степень подробности, но существенно влияет на размер изображения, что иногда затрудняет работу с растровыми слоями в ГИС (особенно с крупными космическими снимками). Для улучшения быстродействия работы с растровыми данными осуществляется создание пирамидальных слоев, где математическими средствами определяется разная степень подробности для разных масштабов одного изображения (рис. 2.28). Это позволяет ускорить работу с растровыми файлами в ГИС.

Некоторые растровые слои создаются программными средствами

ГИС для отображения статистической информации. Эти растровые данные со статистической информацией, привязанной к каждой ячейке раstra, носят название слоев покрытия grid от английского слова grid (сетка, решетка). Примером подобного слоя может служить построенная карта с результатами анализа видимости с укреплений Кисловодской котловины эпохи раннего средневековья, где каждой ячейке растрового слоя соответствует информация о том, видна она с выбранных археологических памятников или не видна (рис. 2.29), в зависимости от чего они окрашиваются разным цветом.

Данные в векторном представлении — цифровое представление точечных, линейных и полигональных пространственных объектов в виде набора координатных пар, с описанием геометрии объектов и их топологии. Векторные данные могут описать любой пространственный объект в виде точек, линий и полигонов (рис. 2.30, г). *Точка* — объект нулевого размера, характеризуемый координатами и ассоциированными с ними атрибутами; совокупность точечных объектов образует точечный слой (рис. 2.30, а). *Линия* — одномерный объект, образованный последовательностью не менее двух точек с известными плановыми координатами; совокупность линий образует линейный слой (рис. 2.30, б). *Полигон* (многоугольник, полигональный объект, контур, контурный объект, область) — двумерный (площадной) объект, имеющий внутреннюю область, образованную замкнутой последовательностью дуг. Различают простой полигон, не содержащий внутренних полигонов, и составной полигон, содержащий внутренние полигоны, называемые также «островами» и анклавами. Совокупность полигонов образует полигональный слой (рис. 2.30, в).

Разновидностью векторных слоев покрытия являются слои TIN. Это разные варианты представления трехмерных данных с информацией о высоте объекта, крутизне и направлении склона в каждой ячейке раstra. Данный слой нерегулярной триангуляционной сети (Triangulated Irregular Network, TIN) представляет собой систему из неравносторонних треугольников, используемую в качестве модели данных при конструировании *цифровой модели рельефа*, представляя его набором высотных отметок в узлах сети, и заменяя его тем самым многогранной поверхностью (рис. 2.31).

Каждый из перечисленных выше слоев ГИС имеет атрибутивную информацию, отображающуюся в виде таблицы. *Табличные данные* прежде всего содержат информацию о пространственных

координатах картографируемых в ГИС объектах и любую другую информацию, соотносимую с этими объектами (рис. 2.32).

Получение данных для создания собственных ГИС-проектов возможно различными способами, зависящими от финансовых возможностей пользователя, а также от наличия или отсутствия допуска к ограниченной к распространению информации. В качестве материалов ГИС, находящихся в свободном доступе, пользователь может использовать топографические карты масштаба до 1 : 100 000, представленные в растровом виде. Для их включения в проекты ГИС требуется провести пространственную привязку этих изображений. В открытом доступе также находятся некоторые данные дистанционного зондирования (космоснимки), уже имеющие подобную пространственную привязку. Имеется возможность подключать некоторые растровые слои, например слой рельефа земной поверхности в виде горизонталей, полученный с помощью американского спутника SRTM. Наконец, существует возможность коммерческого приобретения векторной топографической информации, которая распространяется различными организациями (например, упоминавшейся выше компанией «Дата+»); информацию об этом можно с легкостью найти в сети Интернет.

Представление информации в ГИС носит характер «слоеного пирога», когда один слой накладывается на другой (рис. 2.33). При этом имеется возможность совмещать растровые и векторные слои со слоями покрытия grid или TIN, подключать или отключать любой слой, получать атрибутивную информацию о любом интересующем нас слое в виде таблицы и т.д.

Ниже приводится пример подобной многослойной карты, который позволяет ознакомиться со структурой хранения данных в ГИС. Для работы с примерами карт ГИС требуется установить программу ArcReader 9.3 (доступна на CD-ROM в папке GIS) и переписать с CD-ROM папку Examples в виде корневой папки на жесткий диск C: или D:. В зависимости от расположения этой папки на диске (C:\Examples или D:\Examples) следует открывать тот или иной файл с примерами (например, с_example_01.pmf или d_example_01.pmf).

Пример 1. Открыв пример 1 в программе ArcReader 9.3, читатель может получить изображение нескольких слоев ГИС: растровый слой космоснимка LANDSAT, векторные слои рек (линейный), родников (точечный) и населенных пунктов (полигональный) окрестностей Кисловодска, а также растровый слой рельефа местности grid. Используя инструменты программы ArcReader 9.3, можно подключать и отключать слои, масштабировать их, измерять

расстояния, осуществлять поиск объектов, просматривать карту в окне Вида (Data View) и Компонировки (Layout View). С помощью кнопки Идентифицировать (Identify) можно получать атрибутивную информацию, относящуюся к любому объекту, нанесенному на карту в виде слоя покрытия. Следует отметить, что программа ArcReader не позволяет редактировать слои карты и работать с атрибутивными таблицами этих слоев: она лишь обеспечивает просмотр созданных с помощью программы ArcGIS приложений ГИС.

Рекомендуем читателю выполнить следующие действия в программе ArcReader 9.3:

- 1) отключите слой рельефа и космоснимка LANDSAT, а также слой родников снятием галочки возле строки с именем этих слоев в левой части окна (Таблица содержания, Table of Contents). Подключите снова слой рельефа, поставив возле него галочку;
- 2) измените масштаб карты, выбрав в выпадающей строке масштабов сначала 1:250 000, а затем 1:24 000;
- 3) установите полный вид карты (Full Extent), нажав соответствующую кнопку с изображением земного шара;
- 4) возвратитесь к предыдущему виду, нажав кнопку «Предыдущий экстенст» (Go Back) в виде стрелки влево;
- 5) с помощью кнопки «Найти» (Find) с изображением бинокля откройте окно поиска, введите в строку поиска Find слово «аликоновка» (без кавычек!) и нажмите кнопку «Найти» (Find). Получив две строки в качестве результата поиска, нажмите на одну из них и посмотрите на отображение результата поиска на карте;
- 6) измерьте расстояние на карте с помощью клавиши «Измерить» (Measure) с изображением линейки;
- 7) с помощью кнопки «Идентифицировать» (Identify) получите данные об объектах на карте, наводя указатель на объект и нажимая левую клавишу мыши. При этом обратите внимание на изменяющуюся информацию о координатах, расположенную внизу окна программы в правой его части. Координаты представлены в метрах, поскольку карта составлена в проекции UTM зоны 38 системы координат WGS-84;
- 8) перейдите в окно компоновки (Layout View), нажав на кнопку в нижней части окна программы, и повторите проделанные операции.

Важнейшей особенностью ГИС, как уже отмечалось выше, является оперирование пространственно-координированными данными. Существуют разные способы определения нашего местоположения на земной поверхности: с помощью метода триангуляции, путем измерения высоты расположения небесных светил, измерением расстояний от известных пунктов и т.д. В настоящее время наибольшее распространение во всех областях человеческой деятельности, в том числе и в археологии, получил способ определения географических координат с помощью приборов глобального спутникового позиционирования — GPS.

3.1.

Что такое GPS?

Аббревиатура GPS расшифровывается как Global Positioning System — система глобального позиционирования. Согласно принятому определению, GPS — это спутниковые системы, предназначенные для координатно-временного обеспечения полевых работ. Сам термин «спутниковое позиционирование» появляется в начале 1970-х гг., когда его предлагает ввести в оборот американский генерал Хенк Стелинг. Позиционирование — это измерения, проводимые с помощью спутниковых систем для определения координат местонахождения объекта или наблюдателя в трехмерном земном пространстве.

Появившись первоначально для решения сугубо военных задач, GPS получили широкое распространение благодаря ряду преимуществ, главные из которых: глобальность, оперативность, всепогодность, оптимальная точность и эффективность.

3.2.

История создания систем спутникового позиционирования

Первые поколения систем глобального спутникового позиционирования появляются практически сразу после запуска первых космических аппаратов в конце 1950-х гг. К ним относятся системы, разрабатывавшиеся параллельно в США и СССР. Для США одной из главных задач являлось обеспечение навигационной информацией военно-морского флота, поэтому первая система, созданная в 1958 г., носила название NNSS — Navy Navigation Satellite System (Система военно-морской спутниковой навигации, другое ее название — TRANSIT). Она была принята в эксплуатацию в 1964 г., начала использоваться с 1967 г., но уже тогда эта система была практически свернута, поскольку появилась более совершенная система GPS.

В СССР ответом на первую американскую спутниковую навигационную систему стала разработка аналогичной системы глобального позиционирования «Цикада», которая создавалась с 1967 г. и была принята в эксплуатацию в 1979 г. Она также не получила распространения из-за перехода к системам второго поколения, произошедшего в 1970-е гг. одновременно в США и СССР. Ими стали американская система GPS (другое ее название NAVSTAR) и советская система ГЛОНАСС (глобальная навигационная спутниковая система). Хотя начало их создания относится в обеих сверхдержавах к 1970-м гг., система ГЛОНАСС была окончательно развернута лишь в недавнее время, и то не полностью. Период ее ввода в эксплуатацию растянулся с 1982 по 1993 г., а экономические потрясения не позволили обеспечить ее полноценное использование вплоть до 2007 г. В настоящее время на орбите насчитывается 21 работающий спутник ГЛОНАСС, что позволяет обеспечить почти непрерывную навигационную связь на территории России. Для всей остальной территории Земного шара необходима полная комплектация из 24 спутников. Эта полная группировка в соответствии с федеральной целевой программой «Глобальная навигационная система» должна быть развернута в 2011 г.

Американская система GPS была принята в эксплуатацию в 1978 г. и используется с 1983 г. Долгое время она использовалась лишь для военных нужд или для морской и авиационной навигации, но с середины 1990-х гг. произошло открытие этой системы для гражданского использования, которое привело к массовому внедрению GPS-приемников в повседневную жизнь. Они служат

в качестве автомобильных навигаторов, помогают путешественникам, охотникам и туристам, используются для оперативной информации о дорожных пробках и т.д. Важной вехой в истории гражданского использования GPS-приемников стала отмена кода загробления сигнала (так называемого SA-кода — см. ниже), которая действует по решению Конгресса США с 1 мая 2000 г., что позволило существенно повысить точность в определении местоположения навигационными приемниками.

Важность доступа к системам глобального спутникового позиционирования, являющаяся весомой составляющей национальной безопасности, толкает мировые сообщества на создание альтернативных систем. Так, Европейская комиссия при поддержке Европейского космического агентства (ESA) начала продвижение глобальной навигационной системы Galileo, состоящей из 30 навигационных спутников и наземной инфраструктуры с контрольным центром в Европе, а также сетью специальных станций по всему миру. По программе система должна быть развернута полностью к 2013 г. Китай объявил о намерении разворачивать собственную глобальную многоспутниковую навигационную систему класса GPS, получившую наименование COMPASS.

Однако на настоящий момент в мире имеется две спутниковые навигационные системы: GPS и ГЛОНАСС. Их сравнительные характеристики приведены в табл. 3.1

Таблица 3.1

Сравнительные характеристики подсистем GPS и ГЛОНАСС

Характеристики	GPS	ГЛОНАСС
Количество спутников	24	24
Геометрия спутников	по четыре в шести плоскостях	по восемь в трех плоскостях
	развернуты через 60 градусов	развернуты через 120 градусов
период обращения вокруг Земли	11 час. 58 мин.	11 час. 16 мин.
средняя высота	20 200 км	19 150 км
Принцип передачи сигнала	единые частоты, раздельные коды	единые коды, раздельные частоты
Дополнительное оборудование	—	отражатели и лазерные дальномеры
Система координат	WGS-84	ПЗ-90

Гражданское использование приемников ГЛОНАСС только начинается, первые образцы их появились на рынке осенью 2008 г. Производителей же приемников GPS насчитывается около десятка, основные из которых находятся в США (Ashtech, Garmin, Magellan, Trimble), Франции (Sercel), Швейцарии (Leica) и Швеции (Geotronics). Имеются модели приемников, одновременно использующие сигналы спутников GPS и ГЛОНАСС (например, модель Ashtech GG24).

3.3.

Основные характеристики GPS-измерений

Каким же образом можно определить местоположение на земной поверхности с помощью приемников GPS? Это достигается с помощью взаимодействия нескольких сегментов системы: сегмента спутников, сегмента управления и сегмента пользователей (рис. 3.1). При этом сегмент пользователей является пассивным участником этого процесса: приемники GPS работают лишь на прием сигнала со спутников. Сегмент управления состоит из серии станций слежения за созвездием спутников, разбросанных по миру. Эти станции корректируют орбиту спутников, работу их часов и следят за временем их обращения на околоземной орбите. Созвездие спутников GPS, как показано в табл. 3.1, состоит из 24 спутников, вращающихся на высоте примерно 20 200 км по шести орбитам таким образом, что в идеальных условиях (открытое пространство над головой и отсутствие экранирующих помех — горных массивов, зданий, залесенной местности) в любой точке одного полушария Земли можно принимать сигналы от 12 спутников.

На каждом спутнике установлены точные атомные часы, фиксирующие время передачи радиосигнала. Принимая сигнал от спутников, приемник рассчитывает время прохождения этого сигнала и, соответственно, расстояние до каждого спутника. Поскольку станции слежения обладают информацией о точном расположении каждого спутника на орбите в любой момент времени, имея сигнал от трех спутников (1, 2, 3), мы получаем пересечение трех сфер радиусом, равным расстоянию до них (R_1 , R_2 , R_3) от приемника (М), вычисленному по времени прохождения сигнала, что дает точку нашего расположения в пространстве (рис. 3.2). Появление сигнала от четвертого спутника дает возможность получить информацию о высоте расположения приемника GPS от поверхности геоида (но не от высоты над уровнем моря — sic!).

Приемник принимает электромагнитные колебания со спутника и сравнивает их со своими, определяя дальность до аппарата. Эта дальность определяется фазовым и кодовым методами, отличающимися точностью расчета расстояния. Кодовые измерения осуществляются с помощью грубого (легкодоступного, стандартного) кода C/A или S (открытого для гражданского использования) и точного (защищенного) кода P (для военного использования). Кроме того, для ухудшения качества приема сигнала из соображений секретности могут использоваться режим избирательного доступа SA (Selective Availability) и режим дополнительного шифрования AS (Anti Spoofing). Фазовые измерения являются более точными, чем кодовые, и проводятся с помощью частот L1 и L2. В зависимости от использования этих параметров приемники GPS отличаются большей или меньшей точностью и делятся соответственно на навигационные (рис. 3.3), точность которых в идеальных условиях не превышает 3–5 м, и на более точные геодезические (рис. 3.4), где определение координат осуществляется с точностью до единиц сантиметров. Сравнительные характеристики основных типов GPS-приемников приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Характеристики основных типов GPS-приемников

Характеристики	Навигационные приемники	Геодезические приемники
Точность	не более 3–5 м	до нескольких см
Тип используемого сигнала	кодовые	фазовые
Доступ к P-коду	отсутствует	имеется
Режим работы	автономный (работа на частоте L1)	дифференциальный (работа на частотах L1 и L2)
Метод проведения измерений	без базовой станции	с базовой станцией
Стоимость	300–600 \$	от 8 000 до 50 000 \$

Дифференциальный режим, при котором используются две частоты приема сигнала L1 и L2, позволяет сглаживать ошибку в вычислении скорости прохождения сигнала через ионосферу Земли (см. ниже) и существенно повышает точность в определении координат. Поэтому помимо двух перечисленных типов GPS-приемников в настоящее время появился гибрид — кодовый приемник навигационного класса, работающий в дифференциальном двухчастотном режиме (рис. 3.5), точность определения координат

которого составляет около 1 м. Стоимость такого приемника около 1000 \$ США.

Важным моментом при работе с геодезическими приемниками GPS является использование базовой станции — статично установленной антенны приемника, постоянно работающей в режиме приема сигнала от спутников. После инициализации подобной станции, которая занимает от 40 минут до 3–4 часов, осуществляется измерение GPS координат второй антенной, с которой движется геодезист (рис. 3.6). Эта передвижная антенна связана радиосигналом со статичной, а вычисленная разница в координатах позволяет их уточнять до единиц сантиметров в плане и нескольких сантиметров по высоте. Важное значение может иметь привязка к существующей геодезической системе координат, для чего осуществляются GPS-измерения координат от известных геодезических пунктов триангуляции путем установки на них базовых станций (рис. 3.7).

В большинстве случаев в полевых археологических работах используются *навигационные GPS-приемники*. С их помощью можно получить относительно точные координаты границ памятника, расположенных на нем отдельных объектов, шурфов и зондажей, реперных точек, точек стояния геодезических приборов. Эти координаты в дальнейшем могут быть использованы в ГИС в виде точечного слоя. Использование режима маршрутной съемки (см. ниже) дает возможность очертить границы археологических объектов и впоследствии импортировать эту информацию в проект ГИС в виде линий или полигонов.

Геодезические GPS-приемники позволяют сделать точный топографический план памятника, который может быть напрямую включен в проект ГИС, поскольку каждая точка имеет пространственную привязку в виде географических координат. С помощью подобных приемников весьма эффективно получают микротопографические планы, сделанные по регулярной и нерегулярной сети, которые дают информацию об особенностях рельефа местности и отображают выступающие над поверхностью или заглубленные археологические структуры. Использование GPS-приемников геодезического класса является существенным подспорьем при пространственной привязке границ участков геофизического обследования памятников и материалов дистанционного зондирования, что позволяет включить эти данные в проекты ГИС и использовать их при проведении комплексных мультидисциплинарных проектов. Некоторые примеры подобных работ приводятся ниже.

3.4.

Факторы, влияющие на погрешность в определении координат

Существует несколько основных факторов, влияющих на точность в определении GPS координат, которые сведены в табл. 3.3. Следует обратить внимание на то, насколько снижается точность в определении координат при введении режима селективного доступа SA. Этот режим был временно отменен решением Конгресса США 1 мая 2000 г., однако он может быть в любой момент введен снова по решению Конгресса. Влияние отмены этого режима на точность определения координат при работе на археологических памятниках рассматривалось в специальной статье¹.

Таблица 3.3

Факторы, снижающие точность GPS-измерений

Источник погрешностей	Величина погрешности	
	При отсутствии режима умышленного загробления SA	При наличии режима умышленного загробления SA
Неточность знания эфемерид спутника	5 м	10–40 м
Погрешность из-за неточного знания показаний часов спутника	1 м	10–50 м
Погрешность из-за влияния ионосферы: — для одночастотных приемников — для двухчастотных приемников	2–100 м	2–100 м
	менее 1 м	менее 1 м
Погрешность из-за влияния тропосферы	единицы метров	единицы метров

Из приведенной выше таблицы очевидно, что *режим избирательного доступа SA* влияет прежде всего на точность наших знаний о показаниях часов спутника, что позволяет снижать точность в определении расстояния до него и, соответственно, точность в определении координат. Существенное влияние оказывает неточность наших знаний эфемерид (небесных координат) спутников и

¹ Chartrand J.A.H. New tools and old tasks: surveying with GPS in archaeology // Anglo-Russian Archaeology Seminar: Recording Systems for Archaeological Projects. Bournemouth University School of Conservation Sciences. Research Report 6. Bournemouth; Moscow, 2000.

геометрия их расположения над точкой измерения. Для лучшего определения координат оптимальным является равномерное расположение спутников над полушарием. Однако в течение суток бывают периоды, когда спутники концентрируются в какой-либо области полушария, что снижает точность измерений. Для избежания подобных ошибок в практике геодезической GPS-съемки существует метод планирования времени проведения измерений. Для этого в течение суток снимаются показания с базовой станции геодезического GPS-приемника, которые затем обрабатываются в специальной компьютерной программе (рис. 3.8), позволяющей вычислить периоды максимальной ошибки определения координат PDOP (Position Dilution Of Precision — уменьшение точности положения в пространстве). В дальнейшем следует избегать этого времени при проведении высокоточной GPS-съемки.

Наиболее существенным фактором, влияющим на точность определения координат GPS, является *ионосфера Земли* — часть верхней атмосферы Земли выше 60 км, которая сильно ионизируется под действием солнечного коротковолнового излучения. Проходящий через ионосферу радиосигнал спутника меняет свою скорость, что влияет на точность вычисления расстояния до спутника и в конечном итоге на точность вычисления координат GPS. Для преодоления этого фактора применяется дифференциальный режим работы на частотах L1 и L2, когда скорость поступления сигналов на двух частотах сравнивается между собой и вычисляется погрешность в ее определении. Использование дифференциального режима позволяет существенно повысить точность измерений, он используется в приемниках GPS геодезического класса.

3.5.

Использование карманных персональных компьютеров (КПК) с GPS

Развитие компьютерных технологий привело к появлению портативных персональных компьютеров и соответствующего программного обеспечения для них. Эти устройства весьма удобны для оперативной работы с данными непосредственно в поле. Небольшие размеры в сочетании с достаточной для работы с данными ГИС мощностью делают КПК весьма востребованным инструментом для археолога. Оставляя за кадром использование этого инструмента в качестве обычной записной книжки, поговорим о

его возможностях работы с ГИС. Для такой работы существует ряд специально разработанных приложений (например, OZZY Explorer или ГИС РУССА). Важной составляющей является наличие портативного GPS-приемника, встроенного внутрь КПК и работающего через подсоединенную антенну (рис. 3.9).

Для работы с данными GPS в поле компания ESRI разработала программу ArcPad (рис. 3.10). Программа позволяет определять координаты GPS (рис. 3.11) и показывать местонахождение на карте ГИС растрового или векторного формата в режиме реального времени. Пользователь может в любой момент запомнить координаты GPS и высоту расположения над уровнем геоида и занести эту информацию в ГИС (рис. 3.12). Существуют возможности оперативного заполнения атрибутивной информации слоев ГИС, редактируемых на основе данных GPS-измерений, в полевых условиях. Подробнее с особенностями настройки и работы программы можно ознакомиться в статьях А.А. Довгалева¹.

3.6.

Загрузка данных GPS в компьютер

Наиболее широко применяется сбор GPS-координат в полевых условиях с помощью навигационных GPS-приемников и последующее включение этой информации в ГИС. С этой целью можно использовать специально разработанные программы, позволяющие считывать, редактировать и обрабатывать накопленные в поле GPS координаты. Обычно такие программы поставляются производителями GPS-приемников и входят в комплект оборудования, получаемого при покупке этого прибора. Существуют также бесплатные или условно бесплатные программы, удобные для работы с данными GPS. Две наиболее распространенные из них можно найти в сети Интернет: это программы *GPS Utility* и *DNRGarmin*.

Программа *GPS Utility* позволяет работать с разными моделями приемников GPS, используя также различные протоколы обмена данными. Она располагается по адресу Интернет <http://www.gpsu.co.uk>, легко устанавливается и имеет весьма удобный и простой интерфейс (рис. 3.13). Ограничением в использовании

¹ Довгалева А.А. ArcPad — полевая ГИС археолога // Археология и геоинформатика. Вып. 3 [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2006; Довгалева А.А. Оптимизация мобильной ГИС ArcPad для сбора данных и картографирования в полевых условиях // Археология и геоинформатика. Вып. 5 [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2008.

условно бесплатной (freeware) версии программы является 100 точек GPS или 500 узлов маршрутной съемки. Программу можно зарегистрировать за относительно небольшую плату (60 \$ США), что снимает ограничения на ее использование.

С помощью этой программы можно сохранить данные из приемника GPS, отредактировать их, представить координаты в нужном виде (градусы, минуты, секунды; десятичные единицы градуса; метры проекции UTM), рассчитать расстояние и азимут между двумя точками или координаты точки с известными азимутом и расстоянием от другой точки. Полученную информацию можно сохранить в разных форматах, в том числе в текстовом (*.txt) или в виде базы данных (*.dbf), причем в последнем случае автоматически создаются дополнительные файлы покрытия (так называемые шейп-файлы, *.shp), используемые в настольных ГИС ArcView 3.* и ArcGIS версии 8.* или 9.*.

Программа *DNRGarmin* рассчитана на работу с GPS-данными, полученными с помощью приемников Garmin, что уже следует из ее названия. Ее можно бесплатно получить на сайте Департамента природных ресурсов штата Миннесота США (Интернет: <http://www.dnr.state.mn.us/mis/gis/tools/arcview/extensions/DNRGarmin/DNRGarmin.html>). Эта программа устанавливается в качестве самостоятельного программного приложения (рис. 3.14) либо как специальный модуль (расширение, extension) настольных ГИС ArcView 3.* и ArcGIS 9.*.

Программа *DNRGarmin* также имеет удобный интерфейс, отличается быстротой в обработке большого объема информации. При этом количество обрабатываемых координат или узлов маршрутной съемки в программе не ограничено. Важной особенностью программы является динамическая связь с ГИС, что позволяет наносить собранные в поле координаты GPS в виде векторных слоев (точек, линий и полигонов) непосредственно на карту в виде слоя ГИС (рис. 3.15), а также переносить информацию любого векторного слоя ГИС с карты в GPS приемник, где она хранится в виде отдельных точек или в виде маршрутов. Данное свойство программы делает ее весьма полезной при полевой работе с GPS координатами археологических объектов.

Практическое использование GPS-приемников археологами-полевыми является в настоящее время весьма широко распространенным явлением. Требование о желательности предоставления информации о GPS-координатах археологических памятников

в полевые отчеты уже звучит в Положении об Открытых листах, разработанном в Институте археологии РАН¹.

3.7.

Основы работы с GARMIN GPSmap 60CSx

Данный раздел рассчитан на освоение некоторых базовых навыков практического использования GPS-приемника Garmin GPSmap 60CSx. Будучи широко распространенной моделью, этот приемник достаточно прост в управлении и надежен в работе. Подробно все особенности работы с данным приемником изложены в Руководстве пользователя, русскоязычная версия которого доступна на официальном сайте компании Garmin (http://www.garmin.ru/download/manuals/GPSMAP_60CSx_60CSx.pdf). Мы же остановимся на некоторых основных функциях, необходимых археологу при полевой работе.

Основные узлы приемника Garmin GPSmap 60CSx демонстрируются на рис. 3.16 — это корпус, приемная антенна, клавиша питания, функциональные клавиши, плавающая клавиша (выполняет функцию мыши для перемещения по экрану), жидкокристаллический дисплей, открывающаяся панель элементов питания. Приемную антенну при желании можно дополнить автомобильной, которая крепится на крыше автомашины.

Начало работы с приемником наступает после нажатия клавиши питания (расположена в верхней части корпуса — см. рис. 3.16). При этом следует быть внимательным, поскольку повторное короткое нажатие этой клавиши включает электрическую подсветку экрана, что приводит к быстрому расходу элементов питания. Для выключения приемника следует нажать на клавишу питания и удерживать ее.

После включения приемника на экране появляется название модели (GPSmap 60CSx) (рис. 3.17, а) и начинается поиск сигнала спутников. Для учебных целей, в случае если вы находитесь внутри здания и не имеете возможности принимать сигналы спутников, существует режим симуляции, при котором работа приемника осуществляется в виде демонстрации. Этот режим вызывается двукратным нажатием клавиши *MENU* и выбором команды «На-

¹ Пункты 3.5 и 6.5 Положения о порядке проведения археологических полевых работ (археологических раскопок и разведок) и составления научной отчетной документации от 30 марта 2007 г. Цитировано по материалам сайта Института археологии РАН, Интернет: <http://archaeolog.ru/index.php?id=36>

стройки» и «Система» (рис. 3.17, б и в). В верхней строке появившегося окна с помощью клавиши *ENTR* и плавающего курсора следует выбрать режим «Симулятор» и подтвердить выбор нажатием клавиши *ENTR* (рис. 3.17, г). После этого вновь появляется страница информации о спутниках, вверху которой будет соответствующее указание, что работа осуществляется в режиме симуляции (рис. 3.17, д).

В процессе работы приемника пользователь использует шесть основных страниц, перемещение по которым осуществляется клавишей *PAGE* по часовой стрелке и клавишей *QUIT* против часовой стрелки (рис. 3.18). У пользователя имеется возможность получить доступ к дополнительным страницам из предлагаемого списка. Для этого необходимо вызвать страницу настройки двойным нажатием клавиши *MENU*, выбрать команду «Настройки» и «Порядок страниц» (рис. 3.19, а и б), подтверждая выбор нажатием клавиши *ENTR*. В результате этой операции появляется список используемых основных страниц (рис. 3.19, в), в который можно добавить новые страницы (например, страницу «Вычисление площади», как это показано на рис. 3.19, г). В результате среди переключающихся окон появится новая страница (рис. 3.19, д).

Рассмотрим некоторые функции работы с основными страницами.

Страница информации о спутниках состоит из нескольких элементов. Основным из них является изображение небесного свода в виде двух окружностей, внутренняя из которых представляет собой линию, расположенную под углом в 45° от горизонта, а внешняя — линию горизонта. На ней указываются стороны света для ориентировки. Внутри этого пространства размещаются значки с изображением спутников, сигнал с которых принимается прибором (рис. 3.20, а). В левом верхнем углу слева направо расположены пиктограммы уровня заряда элементов питания, работы прибора в двумерном или трехмерном режиме вычисления координат и работы электронного компаса. Уровень сигнала спутников показан в нижней части окна, где под соответствующими номерами изображаются столбики, закрашенные белым или синим цветом (рис. 3.20, а). Белый цвет означает, что приемник захватил сигнал со спутника, но еще не начал его прием, синий цвет — что сигнал принимается приемником. Чем выше столбик, тем лучше уровень приема сигнала. При желании пользователь может настроить многоцветную шкалу уровня сигнала, где каждому цвету будет соот-

ветствовать сигнал от определенного спутника. Данная команда выполняется однократным нажатием клавиши *MENU* и выбором режима «Многоцветный» из выпадающего списка с помощью клавиши *ENTR*. В этом же списке Вы можете выбрать команду «Высота по GPS» (рис. 3.20, б) и получить соответствующую информацию на экране (рис. 3.20, в).

Определение координат начинается с появления устойчивого сигнала от трех спутников — тогда пустое пространство пиктограммы состояния спутниковых сигналов в верхней части экрана меняется на надпись «2D», что говорит о расчете координат в двумерном пространстве. Сигнал от четырех спутников дает представление также и о высоте расположения приемника от поверхности геоида (но не от уровня моря — sic!). С этого момента данная пиктограмма меняется на надпись «3D» (рис. 3.20, а).

Страница путевого компьютера включает несколько полей с информацией о координатах, текущих дате и времени, а также набор полей, которые отбираются пользователем (рис. 3.21, а). Для этого однократно нажимается клавиша *MENU* и выбирается команда «Поля данных» (рис. 3.21, б), после чего нажатием клавиши *ENTR* из списка выбираются требуемые поля. Перемещение по полям и строкам списка осуществляется с помощью плавающей клавиши (рис. 3.21, в). Рекомендуем включить в выводимый на экран список полей время солнечного восхода и заката, которое рассчитывается для данной местности, что позволяет планировать полевые работы в течение светового дня.

Окно карты включает в себя собственно карту, степень подробности которой зависит от того, используется ли базовая карта (рис. 3.22, а), поставляемая вместе с GPS-приемником, или специально приобретенные более подробные картографические материалы. Эти материалы можно заказать у поставщиков приемников серии Garmin, Интернет-адреса которых приводятся в списке литературы к данной главе. При наведении курсора с помощью плавающей клавиши на объект на карте возникает верхняя строка, в которой указываются имя и координаты объекта, а также расстояние и азимут движения на него от исходной точки (рис. 3.22, б). При желании можно вызвать меню настройки карты через однократное нажатие клавиши *MENU* и выбор команды «Настройки карты» (рис. 3.22, в). При этом возникает дополнительная страница, в которой имеются возможности настройки способов представления карты.

Одним из таких способов является ориентировка карты верхом на север (рис. 3.23, а) или изменение ориентировки в зависимости от курса движения (рис. 3.23, б), а также подключения и отключения заложенных в память приемника карт (рис. 3.23, в). Масштабируется карта с помощью клавиш зума *IN* и *OUT*.

В окне карты с помощью кнопки курсора можно осуществлять выбор точки для последующего навигационного движения (рис. 3.24, а). Для этого, установив курсор на выбранной точке, следует нажать клавишу *ENTR*, после чего появляется специальное окно с информацией о названии и координатах точки. В правой нижней части данного окна находится кнопка «ИдтиК» (рис. 3.24, б), при нажатии которой начинается навигационное движение на выбранную точку. При этом на карте появляется линия, соединяющая точку расположения GPS-приемника с точкой направления движения (рис. 3.24, в).

Страница компаса помимо компаса включает несколько информационных полей, которые могут выбираться пользователем (по умолчанию используются поля скорости движения, расстояния до выбранной точки, времени ее достижения и азимута движения) (рис. 3.25, а). Можно изменить способ представления компаса и информационных полей, нажав клавишу *MENU* и выбрав соответствующую команду (рис. 3.25, б), а также настроить требуемый вам список выводимой на экран информации.

Для осуществления движения по компасу требуется выбрать объект вашего направления. Это можно сделать несколькими способами. Первым является выбор объекта на местности и наведение на него компаса по линии, соединяющей верхнюю стрелку плавающей кнопки и указатель, размещенный над дисплеем приемника. Перед этой операцией следует выбрать команду «Прицеливание» из списка настроек, который выводится на экран при нажатии клавиши *MENU* (рис. 3.25, б). После этого появится стрелка компаса и указание азимута направления движения на выбранный ориентир в градусах (рис. 3.25, в). Другим способом является поиск нужной точки на карте, описанный выше (рис. 3.24, а), или выбор точки из соответствующего списка, после чего нажимается клавиша «ИдтиК» и подтверждается выбор искомой точки нажатием клавиши *ENTER* (рис. 3.29, а). Результатом этих операций становится появление стрелки на компасе, указывающей направление движения на искомую точку, а также информации о расстоянии и времени достижения точки в соответствующих полях

(рис. 3.26, а). После начала навигационного движения на выбранную точку на странице карты появится линия, соединяющая выбранную точку и место расположения приемника GPS, которая отображается по-разному при выборе ориентировки страницы карты на север (рис. 3.26, б) или по курсу движения (рис. 3.26, в). Выбор этих представлений карты описан выше.

Для улучшения работы компаса требуется его калибровка. Данная операция вызывается в виде соответствующей команды, выбираемой из списка опций страницы компаса, которые вызываются однократным нажатием клавиши *MENU* (см. рис. 3.25, б). После этого следует медленно сделать два полных поворота по часовой стрелке, удерживая приемник GPS в горизонтальном положении.

Страница высотомера (альтиметра) позволяет просматривать следующие данные: текущую высоту, скорость подъема/спуска, график изменения высоты в зависимости от расстояния или времени, а также график изменения давления в зависимости от времени. Поскольку рассматриваемая модель приемника использует барометрический высотомер, опции данной страницы позволяют осуществлять калибровку альтиметра при наличии информации о высоте расположения приемника. Данная опция вызывается с помощью клавиши *MENU* (рис. 3.27, б). Далее следует ввести информацию о высоте, используя плавающий курсор и кнопку *ENTR*, а в завершение процедуры подтвердить введенную информацию командой «ОК» (рис. 3.27, в). Рекомендуем регулярно проводить эту операцию, положив прибор на землю рядом с триангуляционным пунктом, высота которого известна по топографическим картам. В результате Вы получаете возможность использовать измерения абсолютной высоты фиксируемых точек в балтийской системе высот с точностью около 1–2 м.

Для фиксации информации о координатах Вашего месторасположения следует нажать кнопку *MARK* и держать ее до тех пор, пока не появится страница отметки путевой точки (рис. 3.28, а). Точка заносится в память приемника после нажатия кнопки «ОК» клавишей *ENTR*. Выбор и редактирование информации о точках, которые хранятся в памяти, осуществляется через нажатие клавиши *FIND* и выбор команды «Точки» в появившемся окне (рис. 3.28, б). После этого возникает новая страница со списком точек по степени близости к настоящему месту расположения приемника (рис. 3.28, в). Выбрав требуемую точку из списка, мы получаем

информацию о ее координатах, высоте, дате и времени фиксации, а также о расстоянии и направлении от текущего месторасположения. С помощью курсора плавающей клавиши и клавиши *ENTR* мы можем изменять символы отображения точки на карте, а также название точки и комментарии к ней (рис. 3.28, г). Для этого с помощью плавающей клавиши курсор устанавливается на предлагаемый символ, который выбирается клавишей *ENTR*. Завершается редактирование нажатием команды «ОК» (рис. 3.28, д).

Для осуществления навигации к выбранной точке на соответствующей странице следует выбрать команду «ИдтиК» (рис. 3.29, а). После этого приемник автоматически переходит к странице карты, на которой отображается направление движения на выбранную точку (рис. 3.29, б). Остановить навигацию можно, выбрав соответствующую команду на странице карты или компаса, которая вызывается путем однократного нажатия на клавишу *MENU* (рис. 3.29, в).

Важная для работы команда основного меню управляет записью маршрутов, называемых также траекториями или путями (треками). Работа с траекториями начинается с выбора команды «Пути» на странице основного меню (рис. 3.30, а). Эта процедура позволяет постоянно записывать координаты вашего передвижения, которые затем могут выводиться в ГИС в виде линий или замкнутых полигонов. Данная процедура удобна для сохранения в памяти приемника линейных маршрутов разведки или периметра выбранных на местности участков (границ памятников археологии). Запись координат маршрута начинается с момента, когда, вызвав команду «Пути» и попав в меню активного маршрута, вы плавающей клавишей вызываете установки записи маршрута («Вкл.») (рис. 3.30, б). При этом можно настроить нажатием соответствующей кнопки «Настройки» способ записи маршрутных точек через определенный промежуток времени (минимальный отрезок 1 сек), через определенную дистанцию или автоматически (рис. 3.30, в). Мы рекомендуем выбирать форму записи путем заполнения памяти точками, записываемыми через минимальный промежуток времени (1 сек). После завершения движения по маршруту или замыкания периметра выбранного участка местности следует завершить запись маршрута, выбрав в окне «Записи пути» команду «Вык.» (рис. 3.30, б). Память приемника будет постепенно заполняться информацией о координатах активного маршрута (уровень заполнения памяти показан в процентах в верхней части окна на рис. 3.30, б). Можно очистить память активного маршрута, сохранив его запись с помощью команды меню «Сохран.».

После чего, выполнив команду «Стереть», можно освободить активную память для новой записи траектории. В памяти приемника хранится до 20 маршрутов.

Установки приемника настраиваются через команду «Настройки» основного меню (вызывается двойным нажатием клавиши *MENU* или перелистыванием страниц клавишами *PAGE* и *QUIT*) (рис. 3.31, а). Окно настроек состоит из нескольких страниц, из которых мы рассмотрим только страницу «Единицы» (рис. 3.31, б). Верхнее поле позволяет из выпадающего списка выбирать разные форматы координат в виде градусов, минут и секунд, градусов и минут в виде десятичных дробей либо градусов в виде десятичных дробей (рис. 3.31, в). В этом же окне можно выбрать различные системы координат из существующего списка, например представление координат в метрической проекции UTM/UPS (рис. 3.31, г). В результате представление ваших координат будет по-разному выглядеть в окнах с соответствующей информацией (рис. 3.31, д).

На этой же странице во второй сверху строке можно выбрать систему координат из выпадающего списка. По умолчанию используется система координат WGS-84. В данном списке отсутствуют принятые в РФ системы координат СК-42 или ПЗ-90. Возможно, вам понадобится установить подобную систему координат, отсутствующую в списке приемника. Для этого нужно знать значение параметров преобразования референц-эллипсоида, которые вносятся в соответствующие поля окна настройки пользовательской системы координат. Это окно вызывается выбором строки *User* в списке систем координат (рис. 3.32, а). В появившемся окне представляются соответствующие параметры преобразования референц-эллипсоида (рис. 3.32, б и в). Параметры преобразования измерений вашего GPS-приемника в систему координат 1942 г. на базе эллипсоида Красовского, систему ПЗ-90, WGS-72 или WGS-84 приведены в таблице на рис. 3.33. Обратите внимание, что для более точных вычислений координат следует знать параметры преобразования каждой зоны проекции UTM или Гаусса—Крюгера. Эта информация доступна лишь профессиональным геодезистам.

Мы рассмотрели основные области применения данных глобального спутникового позиционирования в археологии. Специальные знания об этом предмете можно почерпнуть из литературы, приведенной в списке к гл. 3.

ДАННЫЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В АРХЕОЛОГИИ

4.1.

Что такое дистанционное зондирование ?

Важнейшей составляющей ГИС являются данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ). Согласно принятому определению, дистанционное зондирование, ДЗ (*remote sensing, remote surveying, RS*) — процесс получения информации о поверхности Земли (и других космических тел), объектах, расположенных на ней или в ее недрах, *дистанционными методами*. ДЗ проводят с поверхности суши или моря, с воздуха или из космоса в различных зонах электромагнитного спектра. Съемки могут быть пассивными, когда фиксируется собственное или отраженное солнечное излучение, и активными, когда снимаемые объекты облучаются, например, радиоволнами³.

В зависимости от типа применяемой аппаратуры различают следующие способы ДЗ: фотографический (*photography*), телевизионный (*television, photovision*), фототелевизионный (*phototelevision*), сканерный (*scanner*), радиолокационный (*radar, radiolocation*), гидролокационный (*sounding*), лазерный (*laser, optical maser*) и лидарный (*lidar*); отдельно выделяют аэроспектрометрирование (*aerial spectrophotometry, aerial radiometry*).

Различаются уровни дистанционного зондирования, которое бывает наземное, авиационное и космическое. К наземному уровню дистанционного зондирования относятся геофизические методы исследования земных недр, которые подробно рассматриваются в гл. 10. Мы же поговорим об авиационных и космических уровнях ДЗ — о применении аэрофотосъемки и космических снимков в археологии.

³ Толковый словарь по геоинформатике / Под ред. А.М. Берлянта и А.В. Кошарева. Ст. «Данные дистанционного зондирования». Интернет: <http://biology.krc.karelia.ru/misc/geoinf/titul.htm>

4.2.

История применения аэрофотосъемки в археологии

Если использование ГИС в археологии началось относительно недавно — около 20 лет тому назад, то история применения аэрофотосъемки археологами насчитывает уже более 100 лет. Впервые фотоснимок с воздушного шара был сделан Гаспаром Турнашоном в 1859 г. Считается, что первые фотографии археологического объекта — Стоунхенджа — были сделаны британским лейтенантом П.Х. Шэрпом в 1906 г. из корзины воздушного шара (рис. 4.1). Однако в прозвучавшем в 2007 г. стендовом докладе на конференции Archaeological Prospection в Нитре были открыты неизвестные ранее факты об исследовании форума в Риме, начатом в 1899 г. Джакомо Бони (рис. 4.2), который в течение ряда лет фотографировал архитектурные остатки римского форума с высоты 300–500 м (рис. 4.3).

Мощный толчок в развитии аэрофотосъемки произошел в ходе Первой мировой войны, когда всеми воюющими странами она использовалась в разведочных целях. После окончания войны активизируется применение аэрофотосъемки в археологии, проводившейся с самолетов. Появляются первые публикации на эту тему Л. Рея и Г. Бизли. Начинаются систематические работы О.Г. Кроуфорда (Великобритания), А. Паудебара (Франция), Э. Шмидта (США). В это время закладываются теоретические основы использования аэрофотографии в археологических исследованиях.

После Второй мировой войны вплоть до наших дней активное применение аэрофотосъемки в Европе и Америке привело к открытию десятков тысяч памятников археологии. Сотрудничество европейских археологов в этой сфере привело к созданию в 1981 г. международной исследовательской группы воздушной археологии (Aerial Archaeology Research Group), которая проводит ежегодные заседания и устраивает специализированные конференции и полевые школы.

4.3.

Развитие аэрофотометодов в СССР

До сих пор остается малоизвестным тот факт, что в Советском Союзе был накоплен значительный опыт в использовании аэрофотоснимков археологами. Первые опыты в этой области относятся к 1930-м гг., когда С.П. Павловым в 1934 г. публикуются методические указания о применении аэрофотосъемки в археологии. В том же

1934 г. М.В. Воеводский применяет аэрофотосъемку для исследования средневековых каналов в бассейне Амударьи, а В.А. Шишкин исследует аэрометодами топографию древнего Термеза.

После Великой Отечественной войны разворачиваются широкомасштабные археологические исследования по всей стране. Важность и эффективность применения аэрофотосъемки осознается археологами, прежде всего работающими в степных и пустынных регионах СССР. Наиболее удачный опыт в этой области былработан Хорезмской экспедицией под руководством академика АН СССР С.П. Толстова, где с 1946 г. планомерную аэрофотосъемку осуществлял особый аэроотряд (рис. 4.4). За годы работы с 1940-х по 1980-е гг. были сделаны десятки тысяч плановых и перспективных аэрофотоснимков, на которых обнаружены тысячи археологических объектов (рис. 4.5, 4.6) и сотни километров древних каналов и дорог. Б.В. Андриановым и Н.И. Игониным совершенствуются теоретические принципы использования аэрофотоснимков при археологических исследованиях. Накопленный архив аэрофотосъемки Хорезмского оазиса и по сей день является неоценимым источником в изучении древних ландшафтов и культур этого региона.

В 1960–1970-е гг. изучение аэрофотосъемки проводилось К.В. Шишкиным при исследовании памятников Нижнего Приднепровья (рис. 4.7), а также А.Н. Щегловым и Г.М. Николаенко при изучении херсонесской хоры на Гераклеяском полуострове в Крыму (рис. 4.8). С 1980-х гг. и по настоящее время в Институте археологии РАН осуществляются работы Я.М. Паромова по составлению археологической карты Таманского полуострова с использованием аэрофотосъемки (рис. 4.9).

Тогда же начались работы Г.Е. Афанасьева на Среднем Дону и Северном Кавказе, где использование ДДЗ в ГИС позволило открыть новые археологические объекты и реконструировать средневековые ландшафты. В рамках ландшафтной археологии проходят также работы автора данного пособия, ведущиеся в последние годы совместно с С. Райнхольд (Германский археологический институт) и А.Б. Белинским (ГУП «Наследие» Министерства культуры Ставропольского края), в результате которых с помощью аэрофотосъемки в окрестностях Кисловодска были открыты неизвестные ранее поселения с симметричной планировкой кобанской культуры. Результаты этих исследований подробнее рассматриваются в гл. 11. Подробнее узнать об отечественном и зарубежном опыте работы с аэрофотосъемкой можно также с помощью многочисленной литературы, рекомендуемой к гл. 4.

4.4.

Демаскирующие признаки археологических объектов

Каким образом удастся обнаружить археологические объекты на аэрофотоснимках? Обычно приводятся три основных типа признаков, различимых на аэрофотоснимках: *характеристики света, тени и контрастности* (light-shadow-contrasts); *растительные признаки* (cropmarks, vegetation patterns) и *почвенные признаки* (soil marks). Кроме того, существует возможность исследовать химические и температурные признаки поверхности Земли.

1) *Характеристики света, тени и контрастности* возникают от стоящих на поверхности или частично разрушенных зданий или крупных антропогенных изменений ландшафта (рис. 4.5, 4.6). Видимость тени, выделяющая памятники, с одной стороны, связана с их сохранившейся высотой и растительным покровом, с другой — со временем года, дня, высоты и угла проводимой съемки. Утренняя и вечерняя съемка дает в этом случае наилучшие результаты, поскольку угол падения солнечных лучей в это время суток больше, чем в середине дня. Аэрофотосъемка архитектурных остатков, сделанная зимой, также дает хорошие видимые результаты благодаря более быстрому таянию снега на южной стороне здания.

2) *Разница в растительности на поверхности* возникает благодаря человеческому вмешательству в почвенный слой, которое изменяет возможность накопления влаги или процесс созревания культурных злаков, ограниченные характеристиками почв. Позитивные растительные признаки (positive vegetation marks) (рис. 4.10, А), такие, как рвы или столбовые ямы, появляются благодаря лучшим условиям накопления влаги, когда растительность в этих местах дольше остается зеленой и имеет несколько большую длину по сравнению с окружающей флорой. Негативные признаки (negative marks) являются результатом нарушения почвенного слоя в виде стен или валов (рис. 4.10, Б). В этих местах растительность ниже и менее жизнеспособна.

Ограничительным фактором для использования растительных признаков на аэрофотосъемке является общий климат, время года и высота полета. Лучшие результаты достигаются при проведении аэрофотосъемки весной, когда контрастность лучше или хуже растущих культурных злаков наиболее различима.

3) *Почвенные признаки*, также как и растительные, являются продуктом человеческого вмешательства в земную поверхность и зависят от водного баланса почвы. Они обнаруживаются благодаря

различию в цвете или в холодный период благодаря разному уровню оттаивания и замерзания почвенного слоя.

4) *Температурные и химические признаки* (thermal and chemical marks) изучаются с использованием специальных фильтров при космосъемке. Это позволяет выявить химические и термальные аномалии поверхности земли, которые обычно невидимы человеческим глазом. Некоторые из этих аномалий также могут иметь антропогенное происхождение и соотноситься с археологическими объектами.

4.5.

Виды аэрофотосъемки

Помимо разного происхождения следов на поверхности, видимость археологических объектов на фотоизображениях ограничивается инструментами, с помощью которых это изображение получено (типом используемой камеры — обычной фотокамеры, специальной фотограмметрической или космическим сканером) и методом фотографирования (плановым или перспективным) (рис. 4.11).

Плановые аэрофотоснимки (vertical aerial photos) обычно делаются со спутников или специальных самолетов, использующих фотограмметрические камеры (рис. 4.12), покрывающих съемкой широкие территории и летящих на высоте от 200 км (спутники) до примерно 1000 м (самолеты). Пространственное разрешение снимков зависит от технических возможностей камеры и от полномочий организации, выполняющей подобную съемку. Плановые снимки делаются под прямым углом к земной поверхности и с определенным временным интервалом (рис. 4.13). Обычно они имеют перекрытие до 60%, которое позволяет использовать стереоскопический анализ (рис. 4.14), особенно важный при создании цифровой модели поверхности. Поскольку подобная съемка в основном производится для картографических, а не археологических нужд, она не берет в расчет специфику древних памятников. Тем не менее, количество распознаваемых на плановых снимках памятников даже больше, чем на снимках, сделанных в процессе многих, но относительно коротких залетов на аэропланах. Поскольку в основном эти снимки сделаны на черно-белой пленке, цветные вариации растительных признаков различимы лишь при контрастировании. С другой стороны, признаки, возникающие при светотеневых контрастах, таких, как теневые признаки, выдвигаются на первый план при обработке черно-белых снимков.

Важное преимущество плановых снимков заключается в их хорошем соответствии с географическими данными, такими, как традиционные и цифровые карты, что позволяет их легко включать в ГИС и локализовать обнаруженные на снимках памятники археологии. Примеры подобных памятников приводятся на некоторых иллюстрациях: это первое обнаруженное автором поселение кобанской культуры с симметричной планировкой Правоберезовское 9 в окрестностях Кисловодска (рис. 4.15), раннеаланский комплекс из городища и обширного курганного могильника Брут в Северной Осетии (рис. 4.16), серия небольших укрепленных участков Средневековья, окруженных участками террасного земледелия, в долине р. Перепрыжки (рис. 4.17), а также известное городище Горное Эхо, являющееся центральным аланским укрепленным поселением Кисловодской котловины (рис. 4.18).

Близкие задачи к задачам проведения плановой аэрофотосъемки возникают при длительных раскопках крупных археологических памятников. Назревает необходимость в составлении фотографического плана раскопанных и нераскопанных участков памятника, сопоставимого с топографическим. С этой целью используют фотографии, сделанные с низковысотных воздушных носителей, таких, как радиоуправляемые вертолеты, воздушные змеи или аэростаты. Примером проведения подобной низковысотной аэрофотосъемки может служить применение газонаполняемого аэростата для фотографии с воздуха Тель-Хазны 1 (рис. 4.19, 4.20), осуществленное Д.В. Рукавишниковым в Сирийской экспедиции Института археологии РАН (руководитель экспедиции Р.М. Мунчаев).

Перспективная фотосъемка (oblique photos), как правило, делается обычными бытовыми фотокамерами с использованием разных типов черно-белой и цветной пленки, с аэропланов, вертолетов или дельтапланов на более низкой высоте от 200 до 400 м (рис. 4.21) (см., например, аэрофотоснимки, сделанные с мотопараплана в Армении, на Интернет-сайте Whings over Armenia <http://www.archaeology.am/project.html>). Обычно пространственное разрешение этих снимков выше, чем плановых. Угол фотосъемки может меняться и приспособливаться к световым условиям. Поскольку такие полеты проводятся, в частности, при археологических обследованиях местности, они могут планироваться более гибко для достижения лучших условий видимости. Тем не менее этот тип аэрофотосъемки покрывает меньшие территории и очень сильно

зависит от опытности воздушного археолога в правильном определении снимаемых памятников.

Использование цветной пленки позволяет обнаружить даже малые вариации в цвете растительности на памятнике. Пространственная привязка снимков осуществляется с помощью маршрутов, фиксируемых на GPS, но преобразование перспективных снимков в плановые изображения требует использования специальных компьютерных программ, осуществляющих подобную трансформацию (рис. 4.22).

Примеры применения перспективной аэрофотосъемки для обнаружения археологических памятников приводятся по материалам Интернет-сайта Микаэла Донеуса (Воздушный архив Венского университета — Luftbildarchiv, University of Vienna. Интернет: <http://www.univie.ac.at/Luftbildarchiv/index.htm#HOME>). На сайте можно найти серию фотографий австрийских памятников разных эпох и культур. Это крупное многослойное поселение Ханфтал (рис. 4.23), неолитические круглоплановые сооружения Штроеген (рис. 4.24), вила римского времени Арбешталь с подходящими к ней дорогами (рис. 4.25), остатки застройки римского времени близ лагеря Карнунтум (рис. 4.27). Кроме того, демонстрируется вид с воздуха на длинный дом эпохи неолита на поселении Холивуд в Великобритании (рис. 4.26). В настоящее время перспективная аэрофотосъемка — наиболее распространенный в европейских странах благодаря доступности и относительной дешевизне способ получения ДДЗ об археологических памятниках. Именно благодаря энтузиазму воздушных археологов из Австрии, Германии, Великобритании, Польши, Словакии, Франции, Чехии и других стран на археологических картах появились десятки тысяч новых объектов. Были выпущены красочные фотоальбомы с видами памятников с воздуха, что способствует популяризации археологического знания в широких кругах населения.

Плановая аэрофотосъемка используется в Европе и США гораздо реже, поскольку требует архивных изысканий, зачастую затрудненных из-за ограничений в доступе по соображениям секретности материалов. В этом случае археологу приходится иметь дело со снимками, сделанными для других нужд, прежде всего картографических, поэтому труднее подобрать материалы нужного времени года или времени суток проведения аэрофотосъемки. Тем не менее в нашей стране имеется богатая традиция работы именно с плановыми аэрофотоснимками, успешное использование которых также привело к открытию новых археологических объектов

и осмыслению окружающих древних ландшафтов. С этой точки зрения особо важными могут быть архивные фотоснимки, сделанные в 1950-х гг. и ранее, поскольку они отражают ландшафтную ситуацию с минимальным антропогенным влиянием, то есть максимально приближенную к древности. Поистине бесценную информацию могут дать трофейные германские снимки, сделанные в период Второй мировой войны, которые хранятся в архивах Великобритании, России и США. Работа с этими материалами только начинается, но сулит весьма широкие перспективы для использования в археологии.

4.6.

Применение космических данных дистанционного зондирования

В отличие от аэрофотосъемки, ДДЗ космических спутников используются археологами значительно реже. Большинство подобных исследований проводится в США и Италии, имеется также отечественный опыт применения космоснимков в археологических исследованиях. Некоторые публикации приведены в списке литературы к гл. 4.

Работа с данными космических спутников требует специальных знаний, поскольку в отличие от классической аэрофотосъемки космические спутники используют многоспектральную съемку, которая ведется как в видимой части спектра, так и в невидимых человеческому глазу ближнем и дальнем диапазонах спектра (рис. 4.28). Приведенные на рисунке диапазоны носят также названия «окон прозрачности» атмосферы, поскольку только в них отраженное поверхностью Земли электромагнитное излучение способно преодолеть земную атмосферу. Основных оптических диапазонов четыре: видимый (с длиной волны 0,4–0,7 мкм), ближний (0,7–2,0 мкм), средний (2,0–5,0 мкм) и дальний инфракрасный (8,0–15,0 мкм). Поскольку различные объекты земной поверхности имеют разные спектры отражения, получение информации в виде нескольких спектральных каналов позволяет осуществлять классификацию объектов на изображении. Так, например, видимый голубой диапазон спектра дает информацию о типах почвы и растительности, типах лесов, зданий, дорог, берегов и водных источников; видимый зеленый помогает различить границы между типами растительности, следы построек и дорог; видимый красный определяет возможности поглощения хлорофилла растительностью и также поз-

воляет выявить следы дорог и построек. Анализ ближнего инфракрасного диапазона спектра дает возможность реконструировать количество биомассы, типы растительности, водной поверхности и уровень влажности почвы. Средний инфракрасный диапазон также позволяет анализировать уровень влажности в растительности и почве и делает видимыми различия в геологическом строении скальных пород. Дальний инфракрасный диапазон отвечает за различия в отсутствии растительности, во влажности почвы и относительного количества тепла, а изучая диапазон микроволн при помощи радара, можно распознать лежащие в земной поверхности объекты человеческой деятельности. Кроме того, космические снимки делаются также в единственном канале спектра, в результате чего получается черно-белое изображение, называемое также панхроматическим.

В зависимости от используемой аппаратуры различают фотографическую, цифровую сканерную и радарную космические съемки. Первые два вида аппаратуры относятся к пассивным системам ДЗ, которые измеряют отраженный от земной поверхности солнечный свет либо переизлученную тепловую радиацию. Радарная аппаратура относится к активным системам, поскольку она сама является источником излучения сигнала, который измеряется после отражения от земной поверхности.

Первые космические аппараты для проведения съемки использовали фотокамеры. В принципе, космофотоснимки можно рассматривать как вариант аэрофотосъемки, полученный со значительных высот — от 200 до 1000 км. Их отличает, с одной стороны, большая обзорность, поскольку в один кадр снимка попадает большая площадь земной поверхности, но, с другой стороны, меньшая степень подробности, выраженная в пространственном разрешении снимка (соответствии пиксела изображения размеру поверхности). Сопоставимыми по пространственному разрешению с аэрофотосъемкой мелкого масштаба являются отечественные камеры высокого разрешения КВР-1000 и их американский аналог — система CORONA с камерой КН-4В, которая выполняла шпионскую миссию слежения за территорией СССР в 1967–1972 гг. Снимки этого спутника были рассекречены в 1995 г. и теперь успешно применяются в археологии. В России один из первых подобных опытов осуществлен в Ставропольском крае (работы А.Б. Белинского и А.А. Довгалева). Недавно весьма подробный обзор особенностей данных CORONA и применения их в археологических исследованиях был сделан М.О. Жуковским (см. список литературы к гл. 4).

Сравнительные характеристики отечественных фотокамер космического базирования приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Сравнительные характеристики космических фотокамер

Характеристики	КФА-1000	МК-4	КВР-1000
Разрешение (размер пикселя), м	4–5	8–12	2
Годы съемок	1983–1999	1988–1995	1981–2000
Количество зон спектра	2	3	панхром.
Площадь кадра, км ²	5600	30 000	40 × 160

Из табл. 4.1 видно, что использование снимков КФА-1000 позволяет нам распознавать только очень крупные археологические структуры (например, городища — см. рис. 4.29), тогда как на снимках КВР-1000 можно разглядеть и меньшие по размеру объекты (например, остатки надземных сооружений гробниц-мастаба возле пирамид Гизы в Египте — рис. 4.30).

Фотокамеры на космических спутниках в 1980-е гг. заменяются цифровыми сканерами, что позволяет исключить почти все этапы фотографического процесса и последующей оцифровки изображения для ввода его в компьютер. При этом анализ спектральных свойств изображений, полученных при сканировании, также становится более достоверным. Начиная с момента своего появления, цифровые сканерные системы постоянно совершенствуются, достигая приемлемого пространственного разрешения в сочетании с большим количеством анализируемых каналов. Это видно при сравнении характеристик цифровых сканеров космического базирования первого (табл. 4.2) и второго (табл. 4.3) поколений.

Таблица 4.2

Сравнительные характеристики космических цифровых сканеров 1980–1995 гг.

Характеристики	LANDSAT TM	SPOT	Ресурс-О
Разрешение в многоспектральном режиме, м	30	20	34–45
Разрешение в панхроматическом режиме, м	—	10	—
Год запуска	1982	1986	1988
Число каналов	6	4	3
Ширина полосы, км	185	60	45

Таблица 4.3

Сравнительные характеристики космических цифровых сканеров нового поколения

Характеристики	Ikonos	SPOT 5	QuickBird
Разрешение в многоспектральном режиме, м	4	10 (20)	4
Разрешение в панхроматическом режиме, м	1	5	1
Год запуска	1999	2002	2001
Число каналов	4	4	4
Ширина полосы, км	11	60	22

Сканеры первого поколения давали обзорную информацию, пригодную для исследования ландшафтов крупных территорий. Таков, например, американский сканер LANDSAT со специально встроенным тематическим картографом (Thematic Mapper, TM). Снимки этого сканера применяются для автоматической классификации полученных изображений с целью создания природных карт крупных территорий. В настоящее время используются новые модификации сканера LANDSAT 7, пространственное разрешение которого повысилось до 15 м в одном пикселе изображения. Именно эти изображения используются на широко известном гео-сервисе Google Map, поскольку они отражают всю территорию Земли, многократно отсканированную. Достоинством сканерных изображений является их пространственная привязка, что позволяет напрямую использовать эти изображения в ГИС. Космические снимки LANDSAT серий 1990 и 2000 гг. можно бесплатно получить на сайте <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>. Они служат прекрасными обзорными картами ГИС, на которые можно наносить координаты GPS и любые векторные и растровые слои, используя проекцию UTM системы координат WGS-84.

Возможности постоянного сканирования земной поверхности активно используются для анализа происходящих на ней изменений, например таких, как природные катастрофы (сход ледника в Кармадонском ущелье Северной Осетии осенью 2001 г. — см. рис. 4.31). Другая особенность сканерных изображений заключается в том, что с их помощью строятся трехмерные изображения земной поверхности, как приведенное на рис. 4.32 изображение, полученное с помощью французского космического сканера SPOT.

Космические сканеры нового поколения имеют уже гораздо более высокое разрешение, оставляя примерно то же число анализируемых каналов. Так, американские сканеры Ikonos и QuickBird

достигают в панхроматическом режиме разрешения около 1 м (в настоящее время уже около 0,5 м), что делает их информацию сопоставимой по степени подробности с аэрофотоснимками. Это видно из рис. 4.33, на котором в мельчайших деталях видны окрестности пирамид Гизы с многочисленными мастабами, гораздо более подробно, чем на рис. 4.30 с аналогичным изображением KBP-1000. При этом по сравнению с аэрофотосъемкой снимок имеет гораздо больший обзор и пространственную привязку в мировой системе координат.

Аналогичным образом выглядят снимки высокого разрешения, полученные космическим сканером QuickBird. На рис. 4.34 прекрасно видны позднеримские и византийские крепости, построенные в Сирии и Грузии, изучением которых с помощью данных дистанционного зондирования занимается в настоящий момент Г.Е. Афанасьев. Эти изображения, сделанные спутником QuickBird, можно получить в открытом доступе на геосервисе Google Map. Данные спутников высокого разрешения могут быть получены и на других геосервисах Интернет (Live Search Maps/MapsBing, Yahoo.Maps, Kosmosnimki и др.). Обзор различных особенностей космических изображений, размещенных на этих порталах, приводится в недавней работе А.А. Довгалева, упоминаемой в списке литературы к этой главе.

Высоким разрешением обладают также снимки сканера OrbView, в настоящий момент пережившего уже четвертую модификацию (рис. 4.35). Информацию об этом и других космических сканерах высокого разрешения можно узнать в сети Интернет (см. список литературы).

Как уже упоминалось выше, в отличие от фотокамер и сканеров, радарные системы имеют активный способ получения изображений, облучая земную поверхность радиоволнами. Полученные с помощью современных космических радаров изображения имеют пространственное разрешение 10–20 м, их сравнительные характеристики приводятся в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Сравнительные характеристики космических цифровых радарных систем

Характеристики	ERS	RADARSAT	Алмаз-1
Разрешение, м	30	10–100	15–20
Год запуска	1991	1995	1992
Диапазон волн	5,7	5,7	10
Ширина полосы, км	100	50–500	40

Радарные системы позволяют изучать физические свойства земной поверхности и приповерхностных слоев независимо от состояния атмосферы. Они используются в природоохранных исследованиях, например в изучении процессов загрязнения речных и морских водоемов (рис. 4.36). Для археологических целей наиболее важная особенность космических радарных систем лежит в возможности исследования приповерхностного слоя Земли. Однако пространственное разрешение этих систем пока непригодно для анализа археологических объектов — очевидно, это дело будущего. Радарные системы используются также для построения цифровой модели земной поверхности. Так, за 11 дней в феврале 2000 г. с помощью специальной радарной системы Shuttle radar topographic mission (SRTM) была произведена радарная топографическая съемка большей части территории земного шара, за исключением самых северных (выше 60°) и самых южных широт (ниже 54°), а также океанов. Двумя радиолокационными сенсорами SIR-C и X-SAR было собрано более 12 терабайт данных, которые доступны в виде двух версий: предварительной (unfinished, версия 1) и окончательной (finished, версия 2). Окончательная версия прошла дополнительную обработку, выделение береговых линий и водных объектов, фильтрацию ошибочных значений. Большая часть данных доступна бесплатно на сайтах: <http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version1/> и http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/. Инструкции по подготовке данных SRTM для создания цифровой модели рельефа в ГИС можно найти на сайте ГИС-лаборатории по адресу <http://gis-lab.info/qa/srtm.html#mission>.

4.7.

Картографирование результатов дешифрирования ДДЗ

Плановые аэрофотоснимки и космосъемка, как уже отмечалось выше, дают возможность оптимально осуществлять картографирование археологических объектов. Подобные задачи могут решаться также с помощью перспективных аэрофотоснимков, но для этого требуется дополнительно спроецировать информацию с наклонной плоскости снимка на горизонтальную плоскость карты (рис. 4.22), для чего, как правило, используется несколько контрольных точек (control points), общих для аэрофотоснимка и карты. Долгое время процедура картографирования была в сущности ручной и заключалась в составлении плана с нанесенными на него археологическими объектами, который срисовывался с аэрофотоснимка (рис. 4.37).

В настоящее время активно используется картографирование информации с ДДЗ, включенных в ГИС (рис. 4.38). Для этого требуется первоначально создать пространственную привязку растрового слоя фотоснимка, т.е. осуществить процедуру «геокодирования» или «геореференцирования», при которой каждый пиксель изображения соотносится с координатами местности в выбранной системе. Данная процедура требуется, как правило, для последующего включения в ГИС данных, полученных с помощью фотографических аппаратов.

Процедура пространственной привязки данных дистанционного зондирования может осуществляться в некоторых ГИС-программах (например, ArcGIS или MapInfo). Более корректно можно задать пространственную привязку, используя специальные пакеты программ обработки данных дистанционного зондирования (таких, как ERDAS Imaging или ErMapper). Следует отметить, что эти операции требуют специальных знаний, основы которых можно найти в презентациях А.Т. Пелевина и А.А. Довгалева, опубликованных в электронном издании «Археология и геоинформатика» (Вып. 3). Современные сканерные системы с помощью высокоточных GPS-приемников дают точную пространственную привязку изображений, которые могут напрямую импортироваться в ГИС. Для получения изображений, сделанных с помощью космических сканерных систем, в том числе и высокого разрешения, с сохранением пространственной привязки, может быть успешно использована отечественная программа SAS.Планета, находящаяся в свободном доступе в Интернете (<http://sasgis.ru/sasplaneta/>). Сохраненные с помощью этой программы изображения могут использоваться в ГИС-проектах без дополнительных процедур по созданию пространственной привязки.

После процедуры пространственной привязки изображение (аэрофотоснимок или космоснимок) включается в проект ГИС в качестве растрового слоя, на который можно наносить распознаваемые объекты в виде векторных слоев (точек, линий, полигонов) (4.39, а). В дальнейшем эти векторные слои могут включаться в комбинированные многослойные карты ГИС (рис. 4.39, б), на их основе могут создаваться трехмерные модели местности с нанесенными археологическими объектами (рис. 4.39, в). Поскольку все объекты ГИС имеют пространственную привязку, можно легко узнать координаты выделенных при анализе аэрофотосъемки археологических структур, перенести эти координаты в GPS-приемник или портативный компьютер с GPS-антенной и отправиться

в археологическую разведку на памятник, местонахождение которого устанавливается дистанционно с точностью до нескольких метров. Богатый опыт подобных работ накоплен в ГУП «Наследие» Министерства культуры Ставропольского края и отражен в ряде публикаций, приводимых в списке литературы.

Рассмотрев в предыдущих главах основные теоретические вопросы, связанные с применением ГИС в археологии, приступим к практическому освоению некоторых настольных ГИС-программ. Одной из подобных программ, широко распространенных в России благодаря оптимальному сочетанию возможностей и цены, является программа MapInfo. Она распространяется компанией Esti Mar (<http://www.esti-mar.ru>), в настоящее время в продажу поступила версия программы 10.5. На сайте компании можно ознакомиться со стоимостью программы, а также бесплатно получить русскоязычное руководство пользователя с подробными инструкциями. Обучение программе MapInfo занимает около недели и проводится многими обучающими центрами (например, Академией САПР и ГИС: <http://www.cadacademy.ru>). Поэтому в данной главе рассматриваются лишь основные возможности программы доступной нам версии 8.0, полезные для археологов; желающим освоить эту программу более детально мы рекомендуем обратиться на соответствующие курсы обучения. Для читателя может быть также полезна книга австралийского археолога Яна Джонсона, снабженная многочисленными примерами использования этой программы в археологических исследованиях (см. список литературы к гл. 5).

5.1.

Основные элементы программы MapInfo Professional 8.0

Основными элементами настольной ГИС-программы MapInfo являются *таблица (table)* и *рабочий набор (workspace)*.

Рабочий набор — это список всех таблиц, окон и настроек, использованных в сеансе работы и хранящихся в виде файла с расширением *.wor. Рабочие наборы — это удобное средство, чтобы открыть сразу все ранее созданные карты, а не открывать каждый

файл вручную по отдельности. Рабочий набор обычно содержит следующие элементы:

- Окона Карты (Map), Списка (Browser), Графика (Graph), 3D-Карты (3DMap) и Отчета (Layout), включая их размеры и положение на экране;
- Таблицы запросов, созданные из основных таблиц при использовании операторов Выбрать (Select) или SQL-запрос (SQL Select);
- Графики (Graphs);
- Тематические Карты (Thematic Maps);
- Окона Легенды (Legends);
- Объекты Косметического слоя (Cosmetic Layer);
- Подписи (Labels);
- Стили для шрифтов, символов, линий, заливок и штриховок, использованных для отображения объектов.

Чтобы открыть Рабочий набор (рис. 5.1):

- Выполните команду «Файл» (File) > «Открыть» (Open). Появится диалог «Открыть таблицу» (Open);
- Выберите в списке Тип файлов вариант «Рабочий набор» (Workspace, *.wor);
- Выберите диск, каталог, на котором находится файл Рабочего набора и его имя;
- Нажмите ОК.

Понятие *Таблица* означает описание слоя карты, который может представлять собой любой растровый или векторный слой, и соотносящуюся с ним атрибутивную информацию. Слои можно представить себе как прозрачные пленки, расположенные друг под другом (рис. 5.2). Каждый слой содержит определенный тип информации. В MapInfo Professional вы начинаете работу с открытия таблицы с данными и отображения ее в окне Карты. Каждая таблица отображается как отдельный слой. Каждый слой содержит таблицу и связанные с ней объекты Карты, такие, как полигоны, точки, линии и текст. Кроме этого, слой содержит стили оформления и масштаб окна Карты. Таким образом, в программе MapInfo понятие «таблица» равно понятию «слой карты».

Чтобы открыть Таблицу (рис. 5.3):

- Выполните команду «Файл» (File) > «Открыть» (Open). Появится диалог «Открыть таблицу» (Open);

- Выберите в списке «Тип файлов» вариант «Таблица» (Table, *.tab);
- Выберите диск, каталог, на котором находится файл Таблицы и ее имя;
- Нажмите ОК.

Меню программы состоит из следующих наборов команд: «Файл» (File), «Правка» (Edit), «Программы» (Tools), «Объекты» (Objects), «Запрос» (Query), «Таблица» (Table), «Настройки» (Options), «Окно» (Window) и «Справка» (Help). Подробную справку о функциях меню можно получить в Руководстве пользователя программы или через команду «Справка» (Help).

5.2.

Первые шаги работы с программой MapInfo

Как правило, первыми шагами в использовании ГИС-программы является создание картографической основы для будущего нанесения археологических объектов на карту. С этой целью можно использовать уже готовые данные, приобретенные карты в векторном или растровом форматах либо создавать подобную основу самому. Рассмотрим второй путь, когда пользователь создает свои картографические данные, так сказать «с нуля».

Первоначально требуется совершить процедуру *импорта растрового файла* с картой. Для этого используется команда меню Открыть (Open), в которой выбирается тип подходящего файла с растровым изображением (в нашем случае это лист с картой Кисловодска К-38-2, полученный с сайта <http://topmap.narod.ru/> (рис. 5.4). После выбора нужного файла программа задает вопрос о том, хотим ли мы просто отобразить изображение на экране (Display) или провести процедуру его регистрации (Register). Выберем второй вариант и приступим к регистрации изображения (его геокодированию¹). Возникает соответствующее окно регистрации изображения (Image Registration), показанное на рис. 5.5. В этом окне мы выбираем команду Проекция (Projection), где устанавливаем проекцию данного листа карты (рис. 5.6). Мы задаем принятую для

¹ Здесь следует отметить, что термин «геокодирование», применяемый в этом случае, отличается от соответствующей процедуры в ГИС-программах. Под термином «геокодирование» в программах ГИС обычно понимается автоматическое задание почтовых адресов домам на карте, а не пространственная привязка изображений. Это надо учитывать во избежание путаницы.

нашей картографической информации географическую систему долготы и широты (longitude/latitude) и систему координат 1942 г. (Pulkovo 1942). Теперь можно приступать к заданию координат точкам на карте. Для этого существует градусная сетка, по углам которой и на ее пересечении в центре листа имеется информация о координатах. Следует помнить, что в ГИС координаты задаются в десятичных долях градуса, а не в градусах, минутах и секундах. Процедура пересчета проста: количество минут делится при этом на 60, количество секунд — на 3600. Сумма этих производных прибавляется к целым значениям градусов после запятой.

Итак, первая координата наносится нами в верхний левый угол карты, где долгота имеет значение 42°30', а широта — 44°00'. Совместив перекрестие мыши с перекрестием угла карты и нажав на левую кнопку, мы получаем дополнительное меню программы «Введите контрольную точку» (Add Control Point) (рис. 5.7). Мы заносим значения координат для выбранной нами точки: долгота (X) равна 42,50000°, а широта (Y) — 44,00000°. Подобным образом следует занести координаты всех четырех углов карты и, желательно, ее центра для адекватной пространственной привязки изображения. При этом все последующие точки заносятся с помощью клавиши «Добавить» (Add). Осуществив эту процедуру, мы получаем окно карты программы с открытым в нем зарегистрированным изображением листа К-38-2 (рис. 5.8).

Следует отметить, что перепроецирование в программе MapInfo осуществляется «на лету», поэтому если мы хотим преобразить проекцию карты, ее надо открыть после слоя, подготовленного с использованием нужной нам проекции. Так, например, если у нас имеются данные с координатами GPS, полученными в системе WGS-84, то мы должны первоначально подготовить карту с этими данными, и лишь потом открывать изображение листа топографической карты, зарегистрированное в системе координат 1942 г. Тогда этот лист будет перепроецирован в систему координат WGS-84, и информация о памятниках будет адекватно отображена.

Для осуществления процедуры нанесения координат GPS на карту предварительно осуществляется *импорт таблицы с базой данных*, содержащей координатные привязки памятников. Предположим, что у нас уже имеются такие данные, хранящиеся в файле sites.dbf, который мы открываем через команду меню «Открыть» (Open), выбирая соответствующий тип файла (рис. 5.9). Подтвердив выбранную кодировку текста (в нашем случае это Windows Cyrillic), мы получаем таблицу, содержащую информацию о координатах

натах памятников, их названии, типе, культурной принадлежности (рис. 5.10) (несколько перечисленных полей не отображены на рисунке из соображения охраны археологического наследия). Теперь мы можем создать на основе этой таблицы *карту точечных объектов*. Команда «Таблица» (Table) > «Создать точечные объекты» (Create Points) позволит вам создать точечные объекты для каждой записи в базе данных, которая содержит информацию о координатах X, Y или координатах Широта/Долгота. После выполнения этой команды возникает дополнительное окно, в котором можно выбрать форму и цвет символа наносимых объектов, определить значение для полей X и Y (в нашем случае поле X соответствует широте, а поле Y — долготе), а также выбрать соответствующую проекцию (географическое представление в системе координат WGS-84) (рис. 5.11). Выполнение этих условий позволяет нам создать карту точечных объектов, которую можно открыть в соответствующем окне (рис. 5.12). Если после этого мы откроем уже подготовленное зарегистрированное изображение с топографическим листом карты К-38-2, то оно перепроецируется «на лету» и совместится с точечным слоем наших данных, подготовленных в системе координат WGS-84 (рис. 5.13).

С помощью программы MapInfo Professional можно осуществлять *тематическое картографирование*. Тематическая картография — это процесс оформления карты в соответствии с какой-либо темой. Основой тематической Карты служат данные из таблицы. Тематическая Карта отображает ваши данные в виде разнообразных оттенков, цветов, штриховок, столбчатых и круговых диаграмм, а также поверхностей.

В MapInfo Professional вы создаете различные тематические Карты путем присвоения этих цветов, штриховок или символов объектам Карты в соответствии со значениями данных из таблицы. Круговые и столбчатые диаграммы MapInfo Professional позволяют сравнивать данные для каждой записи в таблице. Поверхности позволяют наблюдать непрерывные изменения данных по площади.

Для создания специальных Карт используются три диалога, в которых можно выбрать тип тематической Карты, название таблицы и ее поля, по которым следует строить Карту, а также выбирать различные настройки. Серьезно упрощают создание тематических Карт специально разработанные шаблоны MapInfo Professional. Надо только выбрать подходящий Вашим задачам шаблон. Имеющиеся шаблоны можно настраивать и сохранять под новыми име-

нами. В стандартной поставке MapInfo Professional имеется более 40 тематических шаблонов.

Рассмотрим пример создания *тематической карты*, на которой будут отображены разные типы памятников Кисловодской котловины. Для этого в меню выбираем команду «Карта» (Map) > «Создать тематическую карту» (Create Thematic Map). Далее появляется дополнительное окно, где пошагово можно использовать готовые шаблоны программы для создания тематических карт. Для наших задач требуется выбрать шаблон индивидуальных значений точек (Individual > Point IndValue) (рис. 5.14). Следующим шагом является выбор картографируемой переменной, в нашем случае — информации о типе памятника (рис. 5.15). После этого можно приступить к редактированию легенды карты и формы и цвета ее отображаемых символов (рис. 5.16). В результате мы получаем карту, на которой отображаются памятники разного типа в виде значков разнообразной формы и цвета (рис. 5.17).

Программа позволяет также осуществлять *выборки и запросы к системе*. В MapInfo Professional выборку можно создать с помощью нескольких команд и инструментов. Их можно разделить на две категории:

Выбор на экране, который осуществляется с помощью основной панели инструментов (Main) кнопками «Выбор» (Select), «Выбор-в-круге» (Radius Select), «Выбор-в-области» (Boundary Select), «Выбор-в-полигоне» (Polygon Select), «Выбор-в-рамке» (Marquee Select), «Обратить Выборку» (Invert Selection), а также с помощью команды «Выбрать полностью» (Select All) в меню «Запрос» (Query). Чтобы выбрать записи с помощью кнопок на панели инструментов, следует указать мышью на соответствующий графический объект или обвести его (рис. 5.18). Чтобы выбрать все записи с какого-либо слоя, выполните команду «Запрос» (Query) > «Выбрать полностью» (Select All from ...).

Выбор с помощью запросов осуществляется через команды меню «Запрос» (Query) > «Выбрать» (Select) или «SQL-запрос» (SQL Select). В обоих случаях вы задаете логическое выражение, на основании которого MapInfo выбирает записи. Например, нам требуется отобразить на карте только поселения кобанской культуры. Для этого строится соответствующий SQL-запрос, где создается выражение Tname = «поселение» AND Culture = «кобанская», в результате чего в окне карты выделяются все интересующие нас объекты (рис. 5.19). Полученный запрос можно сохранить в виде отдельной таблицы путем выполнения команд меню «Файл» (File)

> «Сохранить копию как» (Save Copy As) и выбрав соответствующую таблицу Запроса (Query). После этого можно добавить на карту этот новый слой, используя возможности кнопки «Управления Слоями» (Layer Control) и команды «Добавить» (Add), а также убрать слой со всеми памятниками, сняв галочку с соответствующего слоя карты (рис. 5.20). В итоге мы получаем карту с выбранными нами объектами — поселениями кобанской культуры в Кисловодской котловине (рис. 5.21).

Остановимся вкратце на дополнительных возможностях подготовки вашей информации в MapInfo, которые могут пригодиться на первых порах использования этой программы. Это прежде всего работа с окном Отчета (Layout), которое возникает после выполнения команды «Окно» (Window) > «Новый Отчет» (New Layout Window). В появившемся новом окне происходит соединение нескольких растровых и векторных слоев, добавление масштабной линейки и стрелки направления на север, добавление подписей к объектам и т.д., в результате чего возникает готовая к публикации карта интересующих вас объектов (рис. 5.22). Возможность добавить масштабную линейку и стрелку направления на север появляется после подключения соответствующих программ через команду меню «Программы» (Tools) > «Каталог программ» (Tool Manager). В появившемся списке надо выделить галочкой строки «Направление на север» (North Arrow) и «Масштабная линейка» (Scale Bar) (рис. 5.23). Появится новая панель инструментов «Программы» (Tools), на которой нужно выбрать соответствующие кнопки и отредактировать по вашему вкусу вид стрелки направления на север и масштабной линейки (рис. 5.24).

К карте можно добавить *легенду* путем создания специального окна «Легенда» (Legend). Легенды — это важная часть оформления Карты и пояснения условных обозначений. В MapInfo Professional можно создавать легенды двух видов: картографические и тематические. Тематические легенды поясняют содержимое тематических карт. Картографические легенды создаются для любых других слоев окна карты. Комбинация двух типов легенд позволит отобразить информацию о всех картографических данных для всех типов слоев.

Окно легенды можно создать на основе слоев активной Карты. Для создания окна легенды выполните команду меню «Карта» (Map) > «Создать Легенду» (Create Legend). Появится диалог «Создание легенды — Шаг 1 из 3» (рис. 5.25). Основным моментом на этом шаге состоит в выборе слоев для включения в легенду. Легенда будет содержать по одному разделу для каждого слоя из списка «Раз-

дел легенды». По умолчанию, в списке «Раздел легенды» находятся все слои активной Карты. Разделы в легенде будут расположены в том же порядке, в каком они расположены в списке.

Заполнив пошаговый диалог «Создать легенду» (Create Legend), позволяющий выбрать слои для включения в легенду и добавить ее название, вы получаете новое окно Легенды (рис. 5.26).

Обратите внимание, что после создания легенды появится возможность ее редактирования. Нажав на изображение легенды в окне, вы открываете дополнительное окно изменения тематической карты (Modify Thematic Map), где можно также открыть окно изменения легенды (Customize Legend). В этом окне вы можете изменять используемые символы и шрифты для нужного вам отображения легенды на итоговой карте. Рекомендуем использовать кириллические шрифты для правильного отображения надписей, сделанных на кириллице (например, шрифт Arial CYR, как показано на рис. 5.27).

Теперь после настройки можно добавить легенду к карте, используя кнопку «Рамка» (Frame) в панели инструментов «Пенал» (Drawing). Нарисуйте рамку в том месте карты, куда вы хотите вставить легенду. В появившемся окне выберите строку, относящуюся к легенде к созданному вами тематическому слою карты (в нашем случае это строка Theme Legend of sites, K_38_02 Map). В результате на вашей карте будет помещена легенда, отображающая выбранные вами условные обозначения памятников (рис. 5.28). Некоторые вопросы, связанные с разработкой условных обозначений археологических памятников в среде программы MapInfo, можно найти в публикациях группы авторов — создателей геоинформационной системы памятников историко-культурного наследия Удмуртии (см. список литературы к гл. 5).

Для правильного отображения картографической информации могут потребоваться различные подписи к объектам на карте. Для создания Подписей (Labels) используются возможности кнопки «Управления Слоями» (Layer Control) на основной панели инструментов (Main), которая доступна при работе с окном Карты (Map Window). Сперва требуется отметить галочкой подписываемый слой (в нашем случае это слой sites). Нажмите кнопку «Подписи» (Labels). Откроется диалог «Подписывание» (Label Options). С помощью этого диалога требуется выбрать нужное поле таблицы, которое будет автоматически отображаться в виде подписи на карте (поле с номером памятника, Num). Далее можно выбрать нужное оформление подписей: их размещение, требуемый шрифт и т.д. В

результате вы получаете карту с подписанными объектами (рис. 5.29). Эти подписи будут отображены и в окне Отчета (Layout) с картой, подготовленной к дальнейшей печати или выводу в виде графического файла.

С другими возможностями программы MapInfo Professional вы можете познакомиться в Руководстве пользователя программы, или посетив специальные курсы обучения.

5.3.

Работа в MapInfo с программой «Археограф»

Остановимся на использовании программы MapInfo для картографирования археологических памятников, которые появились в связи с разработкой специальной археологической информационной системы (АИС) «Археограф». Эта система создана Ст.А. Васильевым в ИИМК РАН. Она позволяет в динамическом режиме наносить памятники на карту и добавлять к ним атрибутивную информацию, используя достаточно подробную систему описания. Краткая характеристика программы «Археограф», приводимая ниже, основана на публикациях ее автора, которые можно найти в электронном издании «Археология и геоинформатика» (см. список литературы к гл. 5). Бесплатная версия программы и технические ее характеристики доступны на сайте <http://ardb.spb.ru>.

Первая версия программы появилась в январе 2003 г. и включала функции описания памятников и вывода всего массива данных на карту в ГИС-программе MapInfo. Итоги работы были представлены в докладе на круглом столе, организованном группой АГИС Отдела охранных раскопок ИА РАН в 2003 г. в Москве. Начало использования программы на практике быстро показало неудобство одновременного вывода на карту всех памятников. Вследствие этого программа была полностью переработана с добавлением значительного числа новых функций. В настоящий момент используется версия «Археограф» 2.6, в которой работает расширенная система взаимодействия с ГИС MapInfo и OziExplorer 3.x, а также экспорт в шейп-файлы для ГИС ArcView/ArcGIS. Готовится к выпуску программная версия «Археограф» 2.7.

Общая структура программы включает три функциональных блока: Информационные модули (географическая привязка, библиография и др.), Создание отчетов (Паспорт памятника, Учетная карточка и др.) и Взаимодействие с ГИС (вывод на карту, в GPS-приемник) (рис. 5.30).

Описание памятников в программе делится на семь информационных (тематических) блоков и включает более 100 атрибутивных полей (рис. 5.31). Информационные модули организованы в программе в виде отдельных вкладок. Некоторые поля предоставляют пользователю возможность выбирать значения из заранее определенного списка для исключения ошибок при вводе (рис. 5.32), другие позволяют самостоятельно определить необходимые для ввода данные в текстовом или цифровом форматах.

Дробная формализация полей позволяет организовать расширенный (сложный) поиск информации с возможностью добавления/исключения отдельных полей в запросах (рис. 5.33). Поиск можно осуществлять как по произвольному набору знаков, так и по значениям, выбираемым из списка, или диапазону дат. Следует отметить, что результаты выборки могут быть автоматически выведены на карту в ГИС MapInfo или сохранены в отдельный файл базы данных *.ddc с сохранением относящихся к конкретным памятникам публикаций и архивных материалов. Они также могут быть экспортированы в любой из 18 форматов файлов, включая такие наиболее распространенные форматы, как *.shp (ESRI), *.xls (MS Excel) и OziExplorer (*.txt).

Как и любая база данных, «Археограф» снабжен системой автоматического создания отчетов по археологическому памятнику, использующей процедуры VBA (Visual Basic Application). Процесс передачи данных происходит с помощью специального модуля для MS Word в динамическом режиме. В качестве основы отчета используются шаблоны в формате *.doc (MS Word), что обеспечивает поддержку настраиваемых таблиц, цвета, расположения и количества отчетных сведений. Каждое поле в описании памятника имеет свой уникальный идентификатор, с помощью которого информация извлекается из базы данных «Археографа» и вставляется в соответствующую ячейку отчета. Специальная панель инструментов с функцией разработки собственных шаблонов отчетов позволяет создать такие стандартные формы отчетов как Паспорт Памятника/Учетная карточка или разработать свои собственные шаблоны (рис. 5.34).

«Археограф» поддерживает работу с несколькими ГИС. Для организации непосредственного взаимодействия с ГИС MapInfo используется процедура DDE-связи. Вывод на карту осуществляется через окно поиска, причем пользователь сам может выбрать необходимые поля, которые затем будут сохранены в специальной семантической таблице MapInfo. Специальная панель инструмен-

тов добавляет в MapInfo новые функции для редактирования местоположения и создания новых памятников с автоматическим считыванием координат в WGS-84 (рис. 5.35). Связь с ArcView/ArcGIS организована путем экспорта в формат *.shp, а с OziExplorer — через систему обменного формата *.txt. При экспорте в MapInfo или ArcView/ArcGIS создаются семантические таблицы данных в формате *.dbf, где сохраняется выбранная пользователем информация для осуществления последующих SQL-запросов средствами самих ГИС с привлечением векторных карт различных масштабов, что значительно усиливает функциональность «Археографа». OziExplorer выгодно отличается от других ГИС поддержкой взаимодействия с большинством GPS-приемников. Таким образом, передача точек памятников в GPS-приемник и обратное обновление координат в базе данных «Археографа» через текстовый формат OziExplorer осуществляется в полуавтоматическом режиме. Данная функция необходима при уточнении координат известных памятников и регистрации новых.

АИС «Археограф» успешно применяется в археологии. Так, в мае—октябре 2005 г. в Группе археологического мониторинга (ГАМ) ИИМК РАН под руководством Ст.А. Васильева проводилась коллективная работа над созданием электронной археологической карты памятников Ленинградской области. В проекте принимали участие студенты 5 курса кафедры археологии СПбГУ и сотрудники ИИМК РАН. За основу электронной археологической карты взят двухтомный свод археологических памятников Ленинградской области, составленный В.И. Лапшиным, который насчитывает около 1700 учтенных объектов. Для определения местоположения памятников на местности и их географических координат использовались находящиеся в распоряжении ГАМ ИИМК РАН цифровые карты местности (векторные и растровые) масштаба 1 : 50 000 — 1 : 200 000 в формате ГИС MapInfo. Одновременно информация фиксировалась в базе данных «Археографа». К сожалению, из-за неточного описания расположения памятников средняя погрешность при определении их координат достигает 2—3 км. Реальное местоположение памятника можно определить только при полевом обследовании или по аэрофотоснимкам.

В процессе полевых обследований 2006 г. в Ленинградской области отработывалась методика обновления координат по схеме «Археограф» > OziExplorer > GPS > уточнение координат на местности > OziExplorer > «Археограф» (рис. 5.36). Ведется работа по созданию археологических карт отдельных районов Красноярского

края и Тувы, в которой принимают участие сотрудники ИИМК РАН. База данных используется при проведении мониторинга археологических памятников и разведочных работ в зонах новостроек. В настоящее время обсуждается проект выполнения комплекса работ по ревизии информации об археологических памятниках, обнаруженных или обследованных после 1990 г., и обновлению сведений в созданной базе данных. Такой проект может быть выполнен силами сотрудников ИИМК РАН и студентов кафедры археологии СПбГУ. Начиная с полевого сезона 2006 г., осуществляется сбор сведений по результатам археологических разведок. Теперь все шурфы с координатными привязками и базовым описанием фиксируются и хранятся в отдельной базе данных для оценки/характеристики исследованности территории, а также для использования этой информации при планировании новых обследований (рис. 5.37).

Программа «Археограф» постоянно совершенствуется по мере решения практических задач, связанных с обработкой конкретных археологических материалов. В скором времени в версии 2.7 появится новый раздел, посвященный учету реестровой информации. Кадастровый раздел будет расширен в соответствии с изменившимися требованиями к подготовке и представлению кадастровых сведений об археологических памятниках.

Следующие главы будут посвящены рассмотрению основ работы с программными продуктами, выпущенными компанией ESRI. В первую очередь ознакомимся с последней версией ГИС ArcView 3.3 — составной части программы ArcInfo, ставшей первой рассчитанной на широкий круг пользователей настольной ГИС. Эта ГИС является на сегодняшний день уже устаревшим программным продуктом, написанным на оригинальном языке Avenue, но все еще пользуется популярностью за счет своих функциональных возможностей и простоты интерфейса. В настоящее время компания ESRI выпускает новую версию ГИС — ArcGIS 10, которая использует широко распространенный компьютерный язык Visual Basic и таким образом лучше взаимодействует с другими программами, работающими в среде Windows.

Для успешного освоения программы ArcView GIS 3.* требуется подробное знакомство с руководством пользователя, которое можно осуществить самостоятельно или на компьютерных курсах. Информацию о таких курсах можно получить на сайте официального дистрибьютера программных продуктов ESRI в России — компании «Дата+» (<http://www.dataplus.ru/Training/Data.htm>). Полезные сведения содержатся также в «Сборнике задач и упражнений по геоинформатике» под ред. проф. В.С. Тикунова, использовавшемся при написании данной главы, которая посвящена первым шагам в освоении ArcView GIS 3.3.

Настольная ГИС ArcView позволяет осуществлять тематическое картографирование, создавать и редактировать данные, осуществлять пространственный анализ, получать доступ к внешним данным, настраивать программу с помощью специального языка программирования Avenue и использовать дополнительные функции с помощью специальных модулей расширения (Extensions).

6.1.

Основные элементы программы ArcView 3.3

Основными элементами программы ArcView GIS 3.* являются *проект, вид и тема*.

В ArcView работают с окнами (рис. 6.1):

- Проектов (Project);
- Видов (View);
- Таблиц (Table);
- Диаграмм (Chart);
- Компоновок (Layout);
- Программ (Script).

Каждому окну соответствует своя строка меню с разными командами управления работой с данным окном и строка кнопок управления и инструментов. Все сведения о содержимом и настройках окон хранятся в одном файле, названном *Проект (*.arg)*. Работа в ArcView ведется одновременно только с одним проектом. Проекты дают возможность хранить вместе данные обо всех компонентах, которые необходимы для решения определенных задач, а окно проекта — быстро обращаться к этим компонентам. Окно «Проект» (Project) ArcView показывает содержание проекта и делает легким управление всей работой с проектом (рис. 6.2).

Файлы проекта имеют расширение *.arg. Открывая или закрывая один проект, можно открыть или закрыть все компоненты, которые необходимы для решения определенной задачи. Например, можно сохранить виды и связанные с ними программы в одном файле проекта. Это гарантирует при работе с видом доступность всей необходимой информации и программ. Кроме того, проекты можно использовать для хранения присоединенных таблиц и диаграмм.

Проекты облегчают управление файлами и обеспечивают безопасность: например, для проекта, содержащего информацию, доступ к которой необходимо ограничить, можно установить пароль.

С помощью ArcView работа с пространственными данными выполняется в интерактивных картах, называемых *Видами (View)*. Каждому Виду соответствует в левой части окна Вида уникальное географическое оглавление — Легенда ArcView, которая упрощает чтение изображения и управление его настройками (рис. 6.3).

Вид — это интерактивная карта, которая позволяет отображать и анализировать пространственные данные в ArcView. В Виде пред-

ставлено текущее состояние используемых пространственных данных, способ их отображения. Вид не включает сами файлы данных, а только ссылается на них. Если источник данных изменяется, вид, который использует эти данные, будет автоматически отражать эти изменения при следующем отображении вида.

Вид фактически является набором тем. *Тема* (Theme) представляет собой набор географических объектов, имеющих одинаковый характер локализации и объединенных одинаковым описанием и использованием при решении поставленных задач. Другими словами, фактически понятие «тема» в ArcView является аналогичным понятию «слой карты». Тема является набором пространственных объектов в Виде. Файлы тем могут иметь различные форматы из следующего перечня:

- пространственные (векторные) данные в формате покрытий ArcInfo;
- пространственные (векторные) данные в формате шейп-файлов ArcView;
- аэро- и космические снимки, листы карт в различных растровых форматах;
- растровые темы покрытия грид (grid);
- текстовые файлы или файлы в форматах электронных таблиц с координатами объектов.

Каждая тема имеет характеристики или свойства, которые можно устанавливать, а также собственную легенду, которая является частью общей Легенды или Таблицы Оглавления. Легенда темы показывает, какими визуальными средствами тема отображается в виде. Для того чтобы изменить цвета переднего плана и фона, стили заполнения или символы, используемые для изображения темы, осуществляется настройка (редактирование) легенды темы. Вы также можете перемещать темы (слои карты) выше и ниже, перетаскивая соответствующие строки темы с помощью мыши.

При создании нового проекта или открывании уже имеющегося в окне ArcView появляется окно «Проект» (Project) (рис. 6.2). Оно содержит перечень всех компонентов проекта и дает возможность управлять ими. Чтобы открыть компонент, необходимо дважды щелкнуть левой клавишей мыши на его имени.

При открытии одного из компонентов проекта он отображается внутри своего собственного окна. Можно иметь любое число открытых окон в ArcView, но только одно из них в любой момент

времени является активным. Заголовок активного окна выделен. Работать можно только с активным окном (рис. 6.1).

Все окна, которые открыты внутри окна ArcView, перечислены в строке меню «Окно» (Window). Этот список включает также окно «Проект» (Project). Чтобы сделать окно активным, щелкните внутри него на зоне заголовка или выберите его из списка меню «Окно» (Window) в верхней части окна ArcView. Открываемое окно автоматически становится активным. Если часть окна до активизации была закрыта другими окнами, то после активизации это окно становится верхним (рис. 6.4).

Все действия, производимые в ArcView, обычно применяются к активному окну. Интерфейс пользователя ArcView изменяется в соответствии с тем, какое окно является активным.

Строка меню — строка под зоной заголовка окна ArcView, которая позволяет активизировать раскрывающиеся меню ArcView (рис. 6.4). Для выбора любого пункта меню можно использовать мышь или нажать комбинацию клавиш для быстрого вызова (shortcut). Одни комбинации перечислены в меню, другие зависят от системы графического интерфейса пользователя (GUI). Содержание строки меню изменяется в соответствии с тем, какое окно является активным.

Чтобы выяснить назначение пункта меню, на него следует навести указатель мыши (курсор) и на мониторе в строке состояния в нижней части окна ArcView появится короткое описание выбранного пункта меню (рис. 6.5).

Панель кнопок управления расположена под строкой меню в окне ArcView и включает кнопки, обеспечивающие быстрый доступ к различным средствам управления (рис. 6.6, внутри отмеченной области сверху). Для выбора закладки на ней следует щелкнуть левой кнопкой мыши. Содержание панели кнопок изменяется в соответствии с тем, какое окно является активным.

Чтобы выяснить действие закладки, следует навести на нее курсор, но не щелкать. Краткое описание действий данной закладки будет описано в строке состояния в нижней части окна ArcView.

Панель инструментов (средств) располагается под строкой кнопок управления в окне ArcView и включает кнопки различных инструментов (рис. 6.6, внутри отмеченной области снизу). При выборе инструмента курсор изменяется, отражая выбранный инструмент.

Инструмент остается выбранным, пока не будет выбран другой. Содержание строки инструментов изменяется в соответствии с тем, какое окно является активным. При работе в окне «Проект» (Project) или «Программы» (Scripts) панель инструментов отсутствует.

В строке инструментов Вида показан также текущий масштаб Вида и координаты текущего положения курсора мыши. В строке инструментов таблицы отображается, кроме того, число записей, которые на данный момент выбраны в таблице.

6.2.

Первые шаги в освоении программы ArcView GIS 3.3

Приступим к освоению возможностей программы ArcView с первых шагов по созданию нового проекта. Для этого следует выполнить команду «Файл» (File) > «Новый проект» (New Project). ArcView создаст новый проект с именем Untitled и откроет окно Проекта (рис. 6.2).

Для открытия существующего проекта выполните команду «Файл» (File) > «Открыть Проект» (Open Project). ArcView высветит диалоговое окно «Открыть Проект» (Open Project), в котором следует задать имя и путь к файлу проекта, который необходимо открыть.

В ArcView можно сохранить информацию о выполненных изменениях любого компонента проекта, сохраняя проект, включающий его. При возобновлении работы с проектом все его компоненты будут находиться в том же состоянии, которое зафиксировано при последнем сохранении проекта. Сохранение проекта возможно в любой момент в течение работы. Особенно важно произвести сохранение проекта при его закрытии или выходе из ArcView. Для сохранения проекта необходимо выполнить команду «Файл» (File) > «Сохранить Проект» (Save Project), либо нажать Ctrl+S, или щелкнуть соответствующей кнопкой. ArcView выведет изображение диалогового окна, в котором следует указать имя файла и сохранить проект.

Имя проекта может иметь до восьми знаков, но не должно содержать пробелов. При выборе имени уже имеющегося проекта ArcView запросит подтверждение на его замену. Для сохранения проекта с другим именем следует выполнить команду «Файл» (File) > «Сохранить Проект как...» (Save Project As...) и в появившемся диалоговом окне указать новое имя и папку для сохранения файла проекта.

Для создания нового компонента в проекте дважды нажмите на кнопку компонента в левой части окна Проект или выберите выделенный мышью компонент и нажмите на кнопку «Новый» (New). После выполнения этой команды появится новый компонент. Например, если выбран компонент Вида (View), то возникает новый Вид, готовый к работе, который можно открыть в виде отдельного окна (рис. 6.7). Для этого дважды щелкните на имени компонента в списке имен компонентов окна Проекта или выберите имя компонента и нажмите на кнопку «Открыть» (Open).

Появившееся окно Вида (View) имеет некоторые свойства, настроить которые позволяет команда меню «Вид» (View) > «Свойства» (Properties). В возникающем дополнительном окне «Свойства вида» (View Properties) можно задать имя создаваемой карте, определить ее единицы измерения и проекцию (рис. 6.8). Для этого в строке «Имя» (Name) введите требуемое вам название карты и выберите из выпадающего списка единицы измерения карты (Map Units) и единицы измерения расстояния (Distance Units) (в нашем случае метры). С помощью клавиши «Проекция» (Projection) можно настроить проекцию вида (карты). Предположим, нам требуется работать в проекции UTM зоны 38 системы координат WGS-84. Для правильной настройки выберите в окне Свойства проекции (Projection Properties) проекцию пользователя (Custom), далее из выпадающего списка проекций (Projection) строку Transverse Mercator, из списка сфероидов (Spheroid) — строку WGS-84. В появившихся полях надо проставить следующие значения: центральный меридиан (Central Meridian) — 45, фактор сжатия (Scale Factor) — 0.9996¹, «ложный восток» (False Easting) — 500000. Остальные пункты оставляем без изменения. Подтвердив заполненные значения, мы получаем карту в окне Вида, настроенную в проекции UTM WGS-84 зоны 38. Для настройки других зон этой проекции следует ввести другое значение для центрального меридиана (зоне 37 соответствует центральный меридиан 39, а зоне 39 — меридиан 51. Подробнее об особенностях проекции UTM написано в гл. 2).

Добавление темы в вид осуществляется через команду меню «Вид» (View) > «Добавить тему» (Add Theme) либо нажатием соответствующей кнопки управления. В появившемся окне следует

¹ Обратите внимание, что программа ArcView использует точку в качестве разделителя между целыми и дробными значениями чисел.

выбрать тип данных и путь к файлу с данными. Данные могут быть подготовлены в векторном формате (Feature Data Source), относиться к растровым изображениям (Image Data Source) или темам покрытия грид (Grid Data Source).

Выбрав соответствующие темы покрытия, например, в виде векторных шейп-файлов (*.shp) формата ArcView (рис. 6.9) или пространственно сориентированных изображений, например таких, как космоснимок LANDSAT (рис. 6.10), вы получаете окно Вида с подготовленной картой. Следует обратить внимание на то, что настольная ГИС ArcView не позволяет осуществлять регистрацию растровых изображений. Данная процедура проводится в пакете ArcInfo или в специальных программах обработки данных дистанционного зондирования и растровых изображений, например ERDAS Imaging или ErMapper.

Любая векторная тема вашей карты может быть отредактирована с помощью специального *Редактора легенды* (Legend Editor), появляющегося при двойном нажатии левой клавиши мыши на строке темы в левом поле окна Вида, в котором отражена общая Легенда или Таблица Оглавления карты.

В Редакторе легенды имеются возможности изменения свойств векторной графики темы. Для этого надо двойным нажатием левой клавиши мыши на окно с изображением векторной графики вызвать окно Редактора символов (Symbol Window) (рис. 6.11). Это окно вызывается также через команду меню «Окно» (Window) > «Показать окно символов» (Show Symbol Window). В появившемся окне имеются рабочие инструменты для редактирования заливки, линейных и точечных объектов, текста и цветов.

Предположим, что вам необходимо *добавить на карту данные о координатах* археологических памятников, собранные в процессе разведки с помощью приемника GPS. Для этого требуется подготовить таблицу в формате dBase (*.dbf) с координатами XY, используя десятичные значения координат с разделителем в виде точки. Выполнив эти условия, вы должны сперва открыть подготовленную таблицу в окне Проекта (Project), используя компонент «Таблицы» (Tables) и клавишу «Добавить» (Add) (рис. 6.12). В появившемся окне найдите требуемую вам таблицу и добавьте ее в проект. Таблица автоматически откроется (рис. 6.13). После этого из строки меню окна Вида выполните команду «Вид» (View) > «Добавить тему событий» (Add Event Theme). Появится новое окно с

тем же названием, в котором требуется выбрать нужную вам таблицу и определить поля, соответствующие координатам X (широта, поле Lat) и Y (долгота, поле Lon) (рис. 6.14). В левой части окна Вида в Легенде появится новая строка с названием темы (совпадает с названием таблицы), которую следует сделать активной, поставив галочку в соответствующем поле (рис. 6.15).

Тематическое картографирование в ArcView осуществляется с помощью Редактора легенды, который открывается двойным нажатием на строку с темой в левом поле окна Вида. В появившемся окне Редактора легенды (Legend Editor) имеются выпадающие значения списка Типа легенды (Legend Type) и картографируемой переменной (Values Field). Уникальные значения (Unique Value) качественных переменных, таких, как, например, тип памятника (поле Tname), могут присваиваться в виде значков разнообразных форм, размеров и цветов. Созданная легенда может быть сохранена (клавиша «Сохранить» — Save) и затем повторно использована путем нажатия клавиши «Загрузить» (Load) (рис. 6.16). Новые значки на карте появятся после нажатия клавиши «Принять» (Apply). При этом в левом поле окна Вида под строкой с картографируемой темой появится расшифровка созданной легенды темы (рис. 6.17), которая может вызываться или убираться с экрана через выполнение команды меню «Тема» (Theme) > «Спрятать/Показать легенду» (Hide/Show Legend).

Аналогичным способом можно осуществлять тематическое картографирование непрерывных значений переменных по интервалам. Для этого в окне Редактора легенды выбирается тип легенды «Градуированный цвет» (Graduated Color), к которому можно подобрать соответствующую палитру в строке Color Ramps и отредактировать количество интервалов и способ их определения через клавишу «Классифицировать» (Classify) в появившемся окне Классификации (Classification). Таким образом можно, например, подготовить карту с рельефом местности, раскрашенным в зависимости от значений абсолютной высоты (рис. 6.18).

Для подписывания объектов темы существует специальная команда «Автоподпись» (AutoLabels) в строке меню «Тема» (Theme). В появившемся окне следует выбрать поле таблицы, которое будет отображаться на карте в виде подписей (в нашем случае это номер памятника, поле Num). Подписывание объектов осуществляется для активной на данный момент темы, отмеченной с помощью одно-

кратного нажатия левой клавиши мыши на соответствующей строке с именем темы в списке в левом поле окна Вида. При этом используется тот шрифт и размер символов, который в последний раз употреблялся пользователем. Размер и тип шрифта устанавливается в окне символов (Symbol Window), поэтому эту процедуру следует выполнить заранее, перед подписыванием объектов (рис. 6.19).

Выделение объектов в программе ArcView можно осуществлять двояко: в таблице и в карте. Для выделения искоемых объектов в карте используется инструмент «Выделить объект» (Select Feature) в строке кнопок инструментов. Отметив область на карте, мы одновременно выделяем соответствующие объекты в атрибутивной таблице (рис. 6.20). И наоборот, если мы выделим некоторое количество интересующих нас объектов в таблице, мы увидим их выделенными и на карте.

Другой способ выделить интересующие нас объекты осуществляется через *построение запроса и создание выборки*. Для этого используется команда меню «Тема» (Theme) > «Запрос» (Query) или соответствующая кнопка управления. В возникшем окне требуется написать соответствующее выражение SQL-запроса, например, по выделению всех поселений кобанской культуры на изучаемой территории. Составив такой запрос с помощью перечисленных полей, их значений и выражений, мы составляем новую выборку (New Set), добавляем результаты нового запроса в уже существующую выборку (Add To Set) или выделяем объекты из существующей выборки (Select From Set). Выбранные объекты выделяются на карте и в атрибутивной таблице (рис. 6.21). После этой процедуры можно сохранить результаты выборки через команду меню «Тема» (Theme) > «Преобразовать в шейп-файл» (Convert to Shapefile) и нанести выбранные объекты на карту в виде отдельной темы (рис. 6.22).

Программа ArcView позволяет «привязывать» к объектам информацию, хранящуюся во внешних текстовых или графических файлах, путем *создания «горячих связей»* (Hot links) с этими файлами. Для этого в атрибутивной таблице темы должно присутствовать поле, в котором прописан путь с именем каждого хранящегося на диске информационного файла. Предположим, что у нас имеются фотографии с видами археологических памятников и нам требуется выводить эту информацию на экран, демонстрируя современный вид любого объекта, нанесенного на карту. Для достижения этой

цели после соответствующей подготовки таблицы нам потребуется настроить «горячую связь» объектов с помощью настройки Свойств темы (Theme Properties) через команду меню «Тема» (Theme) > «Свойства» (Properties). В появившемся окне требуется выбрать компонент Hot Link и создать связи объектов темы через выбор поля связей (Field) и определение требуемого действия (Predefined Action). Выполнив эти условия, мы создаем связи каждого картографируемого объекта (памятника) с его изображением, путь к которому хранится в соответствующем поле атрибутивной таблицы (поле Photo) (рис. 6.23). После этого с помощью инструмента горячей связи (Hot Link) в панели инструментов мы можем открывать изображения памятников, нажимая на любой интересующий нас объект на карте (рис. 6.24).

Каждая тема покрытия в ArcView соотносится со своей *атрибутивной таблицей*. Можно также создавать подобную таблицу самому. Для этого в окне Проекта выберите компонент «Таблица» (Tables) и нажмите клавишу «Новая» (New). В появившемся окне определите имя новой таблицы, а также место ее размещения в Вашем компьютере (рис. 6.25). Если Вам потребовалось нанести объекты на карту, дополняя их информацией, заносимой в таблицу, то сначала надо создать новый слой покрытия (тему), а затем отредактировать прилагаемую к нему атрибутивную таблицу. Для создания новой темы используется команда меню «Вид» (View) — «Новая тема» (New Theme). В появившемся окне следует выбрать из выпадающего списка вид картографируемых векторных данных (точка, линия, полигон) (рис. 6.26), затем задать имя новой теме и место ее расположения в вашем компьютере (рис. 6.27). После этого в левом поле окна Вида появится новая тема, которая является редактируемой. Можно вызвать нажатием клавиши управления атрибутивную таблицу этой темы и добавить в нее поля и записи.

Добавление полей и записей в таблицы осуществляется при работе в окне Таблицы. Поля добавляются путем выполнения команды меню «Редактор» (Edit) > «Добавить поле» (Add Field). В появившемся окне свойств поля (Field Definition) можно заполнить название поля, выбрать его тип и длину в символах. В таблицах ArcView используются следующие типы полей: числовое (Number), текстовое (String), с плавающей точкой (Boolean) и поле даты (Date) (рис. 6.28). Создав необходимые поля, например номер памятника (Num, числовое, 5 символов), его название (Name, текстовое, 20 символов), тип (Type, текстовое, 20 символов) и культурная при-

надлежность (Culture, текстовое, 30 символов), мы можем приступить к нанесению информации на карту и заполнению таблицы.

Информация на карту наносится с помощью кнопки инструмента «Рисовать» (Draw). Если мы выбрали точечный тип векторных данных, то будет задействован инструмент «Рисовать точку» (Draw Point). С помощью этого инструмента мы можем наносить слой точечной темы на карту (рис. 6.29). При этом каждой точке будет соответствовать новая строка в атрибутивной таблице, которую можно заполнять имеющимися у нас сведениями. Вызвав таблицу с помощью соответствующей кнопки управления, мы можем отредактировать имеющиеся в ней записи. *Редактирование значений в таблицах* начинается с выполнения команды меню окна Таблицы «Таблица» (Table) > «Начать редактирование» (Start Editing) (при заполнении данных редактируемой темы выполнение этой команды не требуется). Для заполнения записей используется кнопка инструмента редактирования (Edit) (нажата на рис. 6.30). После этого можно наполнять таблицу содержимым, не забыв сохранить внесенные изменения через выполнение команд меню «Таблица» (Table) > «Сохранить изменения» (Save Edits) или «Таблица» (Table) > «Закончить редактирование» (Stop Editing) (в последнем случае автоматически задается вопрос о сохранении внесенных изменений) (рис. 6.31).

Программа ArcView позволяет составлять *запросы к табличным данным* и осуществлять некоторые статистические процедуры их обработки. Составление запросов к таблицам рассматривалось выше, оно аналогично составлению запросов к темам вида, и осуществляется через команду меню «Таблица» (Table) > «Запрос» (Query) либо нажатием соответствующей кнопки управления в окне Таблицы. В появившемся окне составляется запрос, используя имеющиеся поля, их значения и выражения (рис. 6.32).

Резюмирование таблиц, т.е. получение статистической информации о ее содержимом, осуществляется путем выполнения команды «Поле» (Field) > «Суммировать» (Summarize) или нажатием соответствующей кнопки управления в окне Таблицы. Операция по суммированию относится только к выделенному в таблице полю и не может выполняться в режиме редактирования. При выполнении этой команды возникает окно, в котором требуется выбрать операцию по получению статистической информации и место хранения полученной информации. Итог резюмирования таблицы сохраняется в виде отдельной темы покрытия с соответствующей атрибутивной таблицей (рис. 6.33).

Получив статистическую информацию об имеющихся данных (например, по количеству памятников разного типа, как на рис. 6.33), мы можем *построить диаграмму* и включить ее в свой проект. Для этого в окне Проекта выбирается компонент «Диаграмма» (Charts) и создается новая диаграмма нажатием клавиши «Новая» (New). В появившемся окне следует выбрать таблицу с итогами резюмирования и затем составить выражение для построения диаграммы по определенному полю этой таблицы (как на рис. 6.34 — Count для поля Culture). В итоге появляется диаграмма, отражающая количество памятников разного типа, которую можно хранить, редактировать и включать в результирующую карту (рис. 6.34).

Подобную карту или серию карт, готовую к дальнейшему сохранению в виде графического файла или к распечатке, можно подготовить в *окне Компоновки* (Layout). Создание компоновки осуществляется с помощью окна Проекта, выбрав компонент «Компоновка» (Layout) и нажав клавишу «Новая» (New), либо через команду меню «Вид» (View) > «Компоновка» (Layout) в окне Вида. В последнем случае создается новая компоновка, в которую автоматически включаются все темы активного вида проекта, к которым добавляются легенда, масштабная линейка, стрелка направления на север и название вида (рис. 6.35). Обратите внимание на то, что отображение ваших данных в компоновке осуществляется в том же масштабе, что и в Виде. Любые изменения вида влекут за собой изменения в компоновке карты. Например, сделав видимой легенду к теме памятников в окне Вида, вы делаете ее доступной и в окне Компоновки (рис. 6.36).

Для вашего удобства в окне Компоновки имеется обширный набор инструментов по созданию и редактированию масштабных линеек, стрелок направлений на север, рисования и подписывания объектов на карте. Освоив этот инструментарий, можно подготовить качественный картографический материал и сохранить его в виде графического файла (рис. 6.37) или вывести на печать.

Мы рассмотрели основные операции по использованию настольной ГИС ArcView 3.3, которые могут пригодиться в работе с археологическими материалами. Дальнейшее освоение этой полезной программы мы рекомендуем проводить самостоятельно, используя Руководство пользователя, справочные материалы самой программы или пройдя курс специального обучения работы в ArcView.

Глава 7

ОСНОВЫ РАБОТЫ С НАСТОЛЬНОЙ ГИС ARCGIS 9

Как уже упоминалось в предыдущей главе, в настоящее время компанией ESRI осуществлен перевод своих программных продуктов на общеупотребительный компьютерный язык Visual Basic, который используется практически всеми приложениями среды Windows. Поэтому начиная с 2001 г. был выпущен новый программный продукт ArcGIS 8.1, номер которого является продолжением последнего номера программы ArcInfo 7.*. В настоящее время компанией выпускается версия программы ArcGIS 10, распространяемая в России официальным дистрибьютером продукции ESRI компанией «Дата+». На сайте последней можно познакомиться с информацией учебных центров, обучающих работе в ArcGIS (<http://www.dataplus.ru/Training/index.htm>), а также найти в свободном доступе вводные руководства пользователей с основными характеристиками версий 8 и 9 этой программы (<http://www.dataplus.ru/Support/Library/Index.htm>). Эта литература использовалась при написании данного раздела пособия.

7.1.

Структура программы ArcGIS 9

ArcGIS предоставляет масштабируемую среду для работы с ГИС как отдельных пользователей персональных компьютеров, так и групп пользователей на серверах или через Web, а также в полевых условиях. ArcGIS 9 — это интегрированный набор программных ГИС-продуктов для создания полноценной ГИС. В его состав входит ряд структурных компонентов для развития ГИС:

- ArcGIS Desktop — интегрированный набор профессиональных настольных ГИС-приложений;
- ArcGIS Engine — встраиваемые компоненты разработчика для создания пользовательских ГИС-приложений;
- Серверные ГИС — ArcSDE®, ArcIMS® и ArcGIS Server;

- Мобильные ГИС — ArcPad®, а также ArcGIS Desktop и Engine для Tablet PC.

В данной главе речь пойдет об основных навыках работы с настольной ГИС (ArcGIS Desktop). *Настольные ГИС* — основные рабочие места ГИС-профессионалов для компиляции (контроля качества), авторизации (создания) и использования географической информации и накопленного знания. Стандартные, готовые к работе настольные продукты представляют собой высокопроизводительные инструменты для создания, распространения, управления и публикации географических знаний.

В состав настольных продуктов ArcGIS Desktop входит интегрированный набор следующих приложений (рис. 7.1):

- 1) ArcMap;
- 2) ArcGlobe;
- 3) ArcCatalog;
- 4) ArcToolbox;
- 5) ArcScene,

а также графический интерфейс построения моделей — Model-Builder. Посредством этих приложений и их интерфейсов можно выполнить любую задачу ГИС, простую или сложную, включая картографирование, географический анализ, редактирование и компиляцию данных, управление данными, их визуализацию и геообработку.

Продукты ArcGIS Desktop обеспечивают потребности разных групп пользователей. Они доступны в трех вариантах с наращиваемым уровнем функциональности:

- ArcView сфокусирован на разноплановом использовании данных, их картографировании и анализе;
- ArcEditor добавляет развитые возможности создания и редактирования данных;
- ArcInfo — самый мощный из настольных продуктов ArcGIS, предназначенный для ГИС-профессионалов. Обеспечивает продвинутую ГИС-функциональность, в том числе разнообразные инструменты геообработки.

Рассмотрим подробнее перечисленные выше приложения ArcGIS Desktop.

ArcMap — основное приложение ArcGIS Desktop для выполнения всех картографических задач, таких, как создание и публикация карт, анализ карт и редактирование данных.

В ArcMap есть два способа просмотра карты: в виде данных (Data View) и в виде компоновки (Layout View). В виде данных вы работаете с географическими слоями, определяете символы, проводите анализ и компиляцию наборов данных ГИС.

Интерфейс Таблицы содержания помогает структурировать ГИС-данные по слоям во фрейме данных (карте), управлять свойствами их отображения. Вид данных — это окно, в котором отображаются все наборы ГИС-данных на заданную область (рис. 7.2).

В виде компоновки вы работаете со страницами карт, содержащими вид географических данных и другие элементы карты, такие, как легенда, масштабная линейка, стрелка направления на север и обзорная карта. ArcMap используется для размещения карт со всеми необходимыми элементами на странице для их публикации и вывода на печать (рис. 7.3).

Приложение *ArcGlobe*, составная часть модуля ArcGIS 3D Analyst, обеспечивает непрерывный интерактивный просмотр географической информации с разным разрешением. Как и ArcMap, ArcGlobe работает со слоями данных ГИС, отображая информацию из баз геоданных в любых поддерживаемых форматах ГИС-данных. ArcGlobe предоставляет возможности динамического трехмерного показа географической информации. Слои ArcGlobe размещаются на глобусе, что позволяет интегрировать все источники геоданных в общую систему глобального масштаба (рис. 7.4).

Приложение поддерживает данные разного разрешения, визуализируя наборы данных в соответствующих масштабах и уровнях детализации. Обеспечивая единый интерактивный показ географической информации, ArcGlobe значительно расширяет возможности ГИС-пользователей по интеграции и применению всевозможных наборов ГИС-данных.

Ожидается, что ArcGlobe станет широко распространенной платформой для выполнения обычной работы с ГИС, такой, как редактирование данных, их пространственный анализ, картографирование и визуализация.

Приложение *ArcCatalog* помогает структурировать и управлять всей вашей ГИС-информацией, такой, как карты, глобусы, наборы данных, метаданные и сервисы (рис. 7.5). Входящие в него инструменты позволяют:

- просматривать и искать географическую информацию;
- записывать, просматривать и управлять метаданными;

- определять, экспортировать и импортировать структуру и дизайн баз геоданных;
- осуществлять поиск ГИС-данных по локальным сетям и через Web;
- администрировать ArcGIS Server.

ArcCatalog используется для структурирования, поиска и использования данных ГИС, а также при каталогизации наборов данных на основе стандартных метаданных. Администратор баз данных ГИС использует ArcCatalog при определении и построении баз геоданных. Администратору ГИС-сервера ArcCatalog нужен для администрирования архитектуры ГИС-сервера.

ArcToolbox содержит обширный набор функций геообработки, включая инструменты для:

- управления данными;
- конвертации данных;
- обработки покрытий;
- векторного анализа;
- геокодирования;
- статистического анализа.

В ArcGIS 9 окно ArcToolbox встроено в ArcCatalog и ArcMap, оно доступно в продуктах ArcView, ArcEditor и ArcInfo (рис. 7.6).

На каждом последовательном уровне настольных продуктов ArcGIS добавляются новые инструменты геообработки. ArcView поддерживает базовый набор простых инструментов для загрузки и обработки данных, а также инструменты для базового анализа. В ArcEditor к ним добавляется несколько инструментов для создания и загрузки баз геоданных. ArcInfo предоставляет полный набор инструментов геообработки, предназначенных для векторного анализа, конвертации данных, загрузки данных и геообработки покрытий. В ArcView имеется более 80 инструментов ArcToolbox, в ArcEditor — более 90, а в ArcInfo порядка 250.

Дополнительные наборы инструментов геообработки включены во многие дополнительные модули ArcGIS. Так, ArcGIS Spatial Analyst содержит около 200 инструментов для работы с растрами, ArcGIS 3D Analyst™ — 44 инструмента для работы с TIN и анализа поверхностей, ArcGIS Geostatistical Analyst предлагает инструменты кригинга и интерполяции поверхностей.

Созданные с помощью дополнительного модуля трехмерного моделирования 3D Analyst данные могут просматриваться с помо-

щью специального приложения просмотра 3D-графики — *ArcScene*. В этом приложении пользователь может эффективно работать с трехмерными изображениями, создавать, редактировать и анализировать трехмерные карты (рис. 7.7). В *ArcScene* существует возможность разных режимов просмотра трехмерных поверхностей, в том числе моделирования виртуального облета местности и записи видеороликов подобных моделей (рис. 7.8).

ArcGIS Desktop — это инструмент ГИС-профессионалов для создания и использования информации. Его можно приобрести в виде трех самостоятельных программных продуктов, имеющих разный уровень функциональности:

- *ArcView* предоставляет современные инструменты картографирования, использования данных и их анализа, а также начальные возможности редактирования и обработки геоданных.
- *ArcEditor* включает всю функциональность *ArcView*, развитые возможности редактирования шейп-файлов и баз геоданных.
- *ArcInfo* — полнофункциональная, наиболее мощная настольная ГИС-система. Она включает всю функциональность *ArcView* и *ArcEditor*, а также предоставляет широкие возможности геообработки. Кроме того, в состав этого продукта включены прикладные модули, унаследованные от популярной в прошлом системы *ArcInfo Workstation* (*Arc*, *ArcPlot*[™], *ArcEdit*[™], *ARC Macro Language* [*AML*[™]] и др.).

Поскольку *ArcView*, *ArcEditor* и *ArcInfo* имеют общую архитектуру, пользователи, применяющие любой из этих настольных продуктов, могут совместно выполнять общую работу и напрямую использовать полученные результаты. К картам, данным, символам, слоям карт, пользовательским инструментам и интерфейсам, отчетам, метаданным и прочим ресурсам можно обращаться и обмениваться ими при работе с любым из этих продуктов. Другими словами, вы получаете дополнительные преимущества работы в единой системе, значительно быстрее можете ее освоить и применить.

Кроме того, карты, данные и метаданные, созданные с помощью *ArcGIS Desktop*, можно широко распространять всем пользователям, у которых установлена бесплатная программа *ArcReader*[™] (прилагается на CD-ROM в папке GIS), пользовательские приложения *ArcGIS Engine*, либо через современные ГИС Web-сервисы, предоставляемые посредством *ArcIMS* и *ArcGIS Server*.

Функциональные возможности, предоставляемые этими настольными продуктами, можно расширить за счет серии дополнительных модулей.

Для настольных продуктов *ArcGIS Desktop* имеется ряд *дополнительных модулей (Extensions)* (рис. 7.9). Они расширяют возможности базовых продуктов и позволяют решать дополнительные задачи, такие, как, например, геообработка растров и трехмерный анализ. Все дополнительные модули работают с любым из базовых настольных продуктов — *ArcView*, *ArcEditor* или *ArcInfo*. Краткое описание модулей приведено в разделе «Дополнительные модули для *ArcGIS Desktop*» книги «Что такое *ArcGIS 9*?» (см. список литературы к гл. 7). Ниже мы приводим таблицу, заимствованную из этого издания, с пояснениями назначения каждого модуля.

Дополнительные модули расширения ArcGIS

Таблица 7.1

Название модуля	Назначение модуля	Название модуля	Назначение модуля
1	2	3	4
ArcGIS Spatial Analyst	- Расширенное моделирование растров и поверхностей - ArcGRID[™] Map Algebra	ArcGIS Geostatistical Analyst	- Кригинг и моделирование поверхностей - Инструменты исследовательского анализа пространственных данных - Оценка достоверности и погрешностей
ArcGIS 3D Analyst	- ArcScene[™]: интерактивная 3D сцена в режиме реального времени - Виды сцены в ArcCatalog - Инструменты 3D моделирования - Инструменты ArcTIN[™]	ArcGIS Tracking Analyst	- Отображение временных рядов - Воспроизведение (Пуск, Пауза, Вперед, Назад) - Работа с любыми временными рядами данных (т. е. с данными об изменении объектов с течением времени)
ArcGIS Schematics	- Схематичное представление сетей и табличной информации - Различные варианты схем	ArcGIS Publisher	- Преобразует документы ArcMap в формат PMF для использования в бесплатном приложении ArcReader - Также используется с дополнительным модулем ArcIMS — ArcMap Server

1	2	3	4
ArcGIS Data Interoperability Extension	• Прямое чтение, преобразование и экспорт форматов данных • Инструменты для преобразования данных и их использования	ArcPress для ArcGIS	• Расширенные возможности печати карт
ArcGIS Survey Analyst	• Полное управление геодезической информацией в базе геоданных • Геодезические расчеты • Повышение точности ГИС-данных через связи с точками съемки	Maplex для ArcGIS	• Расширенные возможности размещения надписей для обеспечения высококачественной картографии • Значительно уменьшает трудозатраты на размещение надписей
ArcScan™ для ArcGIS	• Интегрированное редактирование вектор-растр • Векторизация по растру • Привязка растров	ArcGIS StreetMap™	• Сопоставление адресов и построение маршрутов на данных StreetMap • Включает данные StreetMap USA от ESRI
		Сервисы ArcWeb	• Панель инструментов в ArcMap • Обеспечивает подписку на Интернет-данные

Также пользователи могут разработать свои собственные расширения к ArcGIS Desktop, используя ArcObjects — библиотеку программных компонентов ArcGIS. Такие расширения и новые инструменты можно создавать при помощи стандартных программных Windows-интерфейсов: Visual Basic® (VB), .NET, Java и Visual C++. Примером подобной разработки служит модуль ArchTools 1.0 (рис. 7.10), разработанный специалистами ООО Научно-производственное объединение «Геоинформационные системы и технологии» (г. Липецк) для автоматизации процесса создания ГИС археологического памятника¹.

¹ Михайлов С.А., Бессуднов А.Н., Ивашов М.В., Карандеев А.Ю. Разработка ГИС археологического памятника на платформе ESRI ArcGIS (на примере Никольского грунтового могильника) // Археология и геоинформатика. Вып. 5. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2008.

7.2.

Первые шаги в освоении ArcMap

Рассмотрев базовые характеристики настольной программы ArcGIS 9, приступим к первым шагам по ее освоению. Как и предыдущие главы, это краткое описание основных процедур работы в программе не призвано подготовить профессиональных пользователей ArcGIS, мы лишь демонстрируем ее некоторые возможности. Для глубокого освоения навыков работы в программе ArcGIS рекомендуем ознакомиться с подробными руководствами пользователя программы или посетить специальные курсы обучения.

Меню программы ArcMap состоит из нескольких команд: «Файл» (File), «Правка» (Edit), «Вид» (View), «Вставка» (Insert), «Выборка» (Selection), «Инструменты» (Tools), «Окно» (Window) и «Справка» (Help). В отличие от программы ArcView 3.3, рассмотренной в предыдущей главе, строка меню программы ArcMap остается неизменной в процессе работы, однако некоторые пункты меню бывают неактивными.

Как и в программе ArcView 3.3, работа в *ArcMap* ведется с файлом проекта, включающим в себя все слои ваших карт, который называется «документ ArcMap» и имеет расширение *.mxd. При этом слои карты объединены в так называемый «фрейм данных» (Data Frame), которых может быть несколько в одном документе. Таким образом, Вы можете одновременно работать в ArcMap с несколькими картами, обладающими разными свойствами (масштабом, проекцией, слоями и т.д.).

Документ ArcMap может быть создан, открыт, сохранен под своим или другим именем, используя стандартный набор команд меню «Файл» (File) > «Новый» (New), «Открыть» (Open), «Сохранить» (Save) и «Сохранить как...» (Save as...) (рис. 7.11).

После создания нового документа в окне программы в левой его части, называемой «Таблицей содержания» (Table of Contents), появляется значок фрейма данных под названием «Слои» (Layers). Щелкнув на нем правой клавишей мыши¹, мы можем обратиться к *свойствам создаваемой карты* (рис. 7.12) и настроить их в специ-

¹ Обратите внимание, что в программе ArcMap очень активно используется контекстное меню, вызываемое нажатием правой клавиши мыши.

альном окне свойств данных фрейма (Data Frame Properties). Выберем закладку «Системы координат» (Coordinate System) и установим проекцию UTM 38-й зоны системы координат WGS-84, которую можно найти в иерархически организованном списке используемых проекций (путь «Предопределенные» (Predefined) > Projected Coordinate System > Utm > Wgs 1984 > WGS 1984 UTM Zone 38N) (рис. 7.13). Обратите внимание на то, что в окне «Текущая система координат» (Current Coordinate System) появится описание свойств выбранной нами проекции, аналогичное тому, которое мы заносили вручную при работе с программой ArcView 3.3 (см. главу 6), но, в отличие от упомянутой программы, дробные значения отделяются от целых запятой.

Мы установили основные свойства нашей карты. Теперь мы можем произвести *регистрацию растрового изображения* листа карты, выполнив специальную процедуру. Для этого нам понадобится панель инструментов пространственной привязки изображений (Georeferencing), которая вызывается командой меню «Вид» (View) > «Панели инструментов» (Toolbars). Появится новая панель инструментов (рис. 7.14), с которой мы будем работать при регистрации изображения листа карты.

Это изображение добавляется в рабочий фрейм данных нажатием клавиши «Добавить данные» (Add Data), расположенной на стандартной панели инструментов программы (Standard) или через вызов дополнительных команд правой клавиши мыши, нажатой на значке фрейма данных «Слои» (Layers). В появившемся диалоговом окне будут отображены все доступные для добавления виды данных (векторные и растровые слои покрытия, табличные данные формата *.dbf и текстовые файлы с расширением *.txt) (рис. 7.15). Выберем изображение листа карты K-38-002.jpg. Программа запросит разрешение на создание пирамидальных слоев, облегчающих работу с растровыми данными (рекомендуем выполнить эту процедуру) и затем сообщит, что открываемый слой не имеет пространственной привязки и поэтому не будет адекватно соотноситься с картой.

Приступим к процедуре регистрации изображения. Поскольку мы будем регистрировать лист карты, созданный в системе координат 1942 г. (СК-42), то первоначально требуется изменить свойства карты, установив соответствующую систему координат аналогично вышеописанной процедуре (см. раздел «Определение свойств карты»). В закладке «Система координат» выберем через

иерархический список географическую систему, базирующуюся на сфероиде Красовского 1940 г. (путь Predefined > Geographic Coordinate System > Spheroid-Based > Krasovsky 1940).

После этого откроем «Таблицу связей с изображением» (Link Table), щелкнув на панели Пространственной привязки (Georeferencing), увеличим размер изображения с помощью соответствующей клавиши «Увеличить» (Zoom in) и проставим значения координат по углам карты и ее центру, последовательно нажимая кнопку «Добавить опорные точки» (Add Control Point) на панели Пространственной привязки (Georeferencing). В поле X Map заносятся данные о долготе, в поле Y Map — о широте в виде десятичных дробей с запятой в качестве разделителя. Подтвержденная команда автонастройки (Auto Adjust) позволяет отслеживать процесс преобразования карты на каждом этапе определения ее координат (рис. 7.16).

Заполнив значения для координат по углам и центру листа карты, требуется преобразовать растровую информацию, выполнив команду «Трансформировать» (Rectify) панели Пространственной привязки (Georeferencing). После создания нового растрового файла с пространственной привязкой (по умолчанию это имя Rectify... .tif) его можно добавить в наш проект, убрав исходный лист карты (рис. 7.17).

Теперь мы можем изменить проекцию нашей карты, вернув ее к уже выбранной проекции UTM WGS-84, 38 зона. После выполнения этой процедуры (см. раздел «Определение свойств карты») лист карты преобразится, став немного наклонным и пропорциональным. Обратите внимание на координаты курсора мыши, отображаемые в правом нижнем углу окна программы ArcMap (для проекции UTM они исчисляются в метрах). Теперь к нему можно *добавить другие векторные и растровые слои*, имеющиеся в нашем распоряжении, например слой с изображением космоснимка LANDSAT, точечный слой памятников и линейный слой рек (рис. 7.18). Для добавления новых слоев используется клавиша «Добавить данные» (Add Data) (см. выше).

Редактирование растровых изображений осуществляется с помощью нажатия правой клавиши мыши на названии слоя, соответствующего изображению, в поле «Таблицы содержания» (Table of Contents), и выбора команды «Свойства» (Properties). Появившееся окно Свойств слоя (Layer Properties) имеет несколько за-

кладок. С помощью закладки «Символы» (Symbology) можно отрегулировать способы представления изображения в виде черно-белого или цветного рисунка с дополнительными возможностями обработки. Отменив цветовую растяжку изображения (Display > Stretch Type = None) (рис. 7.19) и сделав его полупрозрачным (Display > Transparent = 50%), мы получаем полупрозрачный слой оригинальных цветов космоснимка, наложенный на карту (рис. 7.20).

Создание новых векторных слоев в программе ArcGIS Desktop осуществляется в приложении ArcCatalog. Выбрав в окне приложения требуемую папку и поместив в нее указатель мыши, требуется нажать правую клавишу и в появившемся контекстном меню выбрать команду «Новый» (New) и искомый тип файла (Shapefile) (рис. 7.21). После этого возникнет новое окно, в котором следует выбрать тип векторного слоя (точка, линия, полигон). В этом же окне, нажав кнопку редактора (Edit), можно выбрать (кнопка Select) требуемую проекцию для ваших данных (рис. 7.22).

Указав на новый созданный вами слой указателем мыши и не отпуская левую клавишу, можно перетащить созданный слой в Таблицу содержания приложения ArcMap и добавить его к вашей карте. После этого можно приступить к нанесению новых объектов на карту, предварительно сделав нужный вам слой редактируемым (команда «Начать редактирование» (Start Editing панели инструментов Редактора (Editing)). Проследите за тем, чтобы были правильно выставлены инструменты редактирования, выбраны нужное действие редактирования и редактируемый слой в панели инструментов Редактора (Editing) (рис. 7.23, выделены красным). Данная панель инструментов, как и другие, подключается через команду меню «Вид» (View) > «Панели инструментов» (Toolbars) (см. рис. 7.14). Процедура редактирования завершается сохранением результатов через команду «Сохранить изменения» (Save Edits) меню панели Редактора (Editor).

В программе ArcMap существует также возможность *добавить точечные данные*, если имеются сведения об их координатах XY. Для выполнения этой процедуры требуется сначала открыть таблицу, содержащую данные о координатах объектов. Координаты должны быть представлены в числовом формате с десятичными значениями долготы и широты после разделителя в виде запятой. Таблица открывается нажатием клавиши «Добавить данные» (Add Data), содержимое ее можно просмотреть, нажав на соответствующую

щей строке в Таблице содержания правую клавишу мыши и выбрав команду контекстного меню «Открыть» (Open) (рис. 7.24). После этого можно добавить слой точечных данных, созданный на основе информации о координатах из добавленной к карте таблицы, выполнив команду меню «Инструменты» (Tools) > «Добавить данные XY» (Add XY Data). В появившемся одноименном окне следует выбрать таблицу с данными (в нашем случае это таблица sites-new1.dbf) и поля с данными о координатах X (широта, поле LAT) и Y (долгота, поле LON). В результате этой операции на карте должен появиться новый точечный слой вашей информации (слой «sites-new1 Events» на рис. 7.25).

Отображение этого векторного слоя в виде *тематического картографирования* может быть изменено с помощью *редактирования свойств его легенды*, которое вызывается через специальное окно нажатием правой клавиши мыши и выбором команды «Свойства» (Properties) в появляющемся контекстном меню. В появившемся окне Свойств слоя (Layer Properties) следует выбрать закладку работы с символами (Symbology), для дискретных значений точечного слоя определить поле значений, по которому будет осуществляться тематическое картографирование (Value Field, в нашем случае это тип памятника — поле Tname) и способ картографирования дискретных признаков по уникальным значениям (Categories > Unique Values). Добавив все значения классифицируемой переменной (клавиша «Добавить все значения», Add All Values), можно приступить к выбору значков различных форм, размеров и цветов, которые вы найдете в палитре Выбора символов (Symbol Selector) (рис. 7.26). Примечательно, что вы можете импортировать в карту программы ArcMap готовую легенду к вашим данным, созданную ранее с помощью программы ArcView 3.3 (см. главу 6). Для этого требуется нажать на клавишу «Импорт» (Import) и указать путь к файлу легенды *.avl (рис. 7.27).

Аналогичным образом можно произвести тематическое картографирование непрерывных признаков по количественным интервалам, например данных об абсолютной высоте. Выбрав свойства соответствующего слоя карты, требуется указать количественный способ классификации по градуированным цветам (Quantities > Graduated colors), поле, по которому происходит классификация (Value, в нашем случае это поле SEM4), а также количество выбранных интервалов классификации (Classes = 15) и требуемую вам цветовую схему (Color Ramps). В итоге вы полу-

чае карту с рельефом местности, раскрашенным в разные цвета в зависимости от значения абсолютной высоты (рис. 7.28).

Осуществление выборки объектов, как и в других программах ГИС, достигается с помощью инструментов выбора объектов на карте или с помощью составления запроса. В первом случае используется инструмент Выбор объектов (Select Features) панели Инструментов (Tools). С его помощью на карте вычерчивается область, внутри которой отмечаются все векторные слои. Соответствующие объекты будут выделены и в атрибутивных таблицах слоев (рис. 7.29). Другой способ заключается в построении запроса через команду меню «Выборка» (Select), причем запрос может быть создан либо к пространственному расположению объектов (Select by Location), либо к их атрибутивным характеристикам (Select by Attribute). В первом случае мы заполняем несколько полей в появившемся окне, указывая анализируемый слой и его пространственное соотношение с другим слоем. В приводимом примере это слой памятников sites-new1 Events, из которого мы выбираем все объекты, лежащие на расстоянии (are within the distance of) от реки (слой rivers_sel2) в 200 м (рис. 7.30). Во втором случае мы с помощью появившегося окна с перечислением полей, их значений и выражений создаем SQL-запрос, отбирая, например, все поселения кобанской культуры («TNAME» = 'поселение' AND «CULTURE» = 'кобанская'), которые будут выделены на карте и в атрибутивной таблице анализируемого слоя sites-new1 Events (рис. 7.31).

Как и в рассматривавшейся в предыдущей главе программе ArcView 3.3, программа ArcMap позволяет *создавать «горячие связи»* с внешними файлами, причем набор их расширился за счет практически всех типов файлов, представленных в виде документов Windows. Можно также создавать связи со страницами документов, находящимися в глобальной сети.

Для создания «горячих связей» (гиперссылок) с внешними документами необходимо присутствие в атрибутивной таблице поля с указанным путем к хранящимся в компьютере документам. В окне Свойств слоя (Layer Properties) следует выбрать закладку отображения данных (Display), в которой нужно подтвердить поддержку гиперссылок (поставить галочку возле команды Support Hyperlinks using field) и указать на то, с каким полем таблицы осуществляется «горячая связь» (в нашем случае это поле с информацией о круговых панорамных фотографиях, PHOTO). После этого

с помощью клавиши инструмента гиперссылки (Hyperlink) на панели Инструментов (Tools) можно вызывать интересующие вас документы, соотносящиеся с объектами на карте. При этом объекты, имеющие такие ссылки в атрибутивной таблице, будут отмечены цветными точками для удобства поиска (рис. 7.32).

В программе ArcMap существуют богатые возможности *автоматического подписывания объектов на карте*, которое осуществляется с помощью специальной закладки «Надписи» (Labels) в окне Свойства слоя (Layer Properties) (вызывается через команду Свойства (Properties) нажатием правой клавиши мыши на названии слоя в Таблице содержания). В данном окне можно выбрать метод автоматического подписывания объектов, поле со значениями подписей (в нашем случае это номер памятника, поле NUM), вид и цвет шрифта и способ его отображения на экране. Специальная клавиша «Свойства размещения» (Placement Properties) вызывает дополнительные окна, в которых можно выбрать наиболее удобное для вас место размещения подписи возле объекта (рис. 7.33). Подписи будут отображаться на карте, если вы проставите галочку возле строки «Надписать объекты» (Label Features) контекстного меню, вызываемого нажатием правой клавиши мыши на названии слоя в Таблице содержания.

Отображаемые на карте подписи не подлежат дальнейшему редактированию по отдельности (например, перемещению, добавлению или снятию), существуя в виде целостного слоя. Это бывает не всегда удобно при работе с картами, поэтому в ArcMap существует возможность преобразования слоя подписей в слой аннотации (Annotation Layer). Это достигается выполнением команды контекстного меню «Конвертировать надписи в аннотацию» (Convert Labels to Annotation) путем нажатия правой клавиши мыши на названии слоя в Таблице содержания. В появившемся окне следует указать способ хранения аннотации в документе карты (in the map), после чего нажать кнопку «Конвертировать» (Convert) (рис. 7.34). Появившийся слой подписей можно редактировать по отдельности, добавляя, убирая и перемещая их на нужное место. Управление слоями аннотации осуществляется через команды окна Свойств фрейма данных (Data Frame Properties), вызываемого нажатием правой клавиши мыши на названии фрейма данных (по умолчанию это Layers). В окне Свойств фрейма данных выбирается закладка «Группы аннотаций» (Annotation Groups), в которой можно добавлять, убирать и редактировать слои аннотаций.

Работа с таблицами в программе ArcMap напоминает аналогичные процедуры, описанные в предыдущей главе, но, однако, имеет свои особенности.

Добавление полей в таблицы осуществляется в режиме отсутствия редактирования (в меню Редактора (Editor) должна быть подсвечена строка «Начать редактирование» — Start Editing) нажатием клавиши «Опции» (Options) в окне Таблицы. В появившемся меню следует выбрать команду «Добавить поле» (Add Field), после выполнения которой в окне добавления поля требуется назначить имя поля, его тип и размер в символах (рис. 7.35). В программе ArcMap используется большое количество типов полей: это короткое целое число (Short Integer), длинное целое число (Long Integer), с плавающей точкой (Float), двойное (Double), текстовое (Text), поле даты (Data), бинарное (Blob) и поле глобального идентификатора (Guid). Введя требуемые вам названия и выбрав нужный тип и размер полей, можно приступить к заполнению таблицы. Для этого требуется включить режим ее редактирования, выполнив команду «Начать редактирование» (Start Editing) меню панели Редактора (Editor), после чего можно заполнять таблицу вашими данными (рис. 7.36). По окончании процедуры редактирования рекомендуется сохранить результаты и выйти из режима редактирования (команды «Сохранить изменения» (Save Edits) и «Закончить редактирование» (Stop Editing) меню панели Редактора).

Запросы к таблицам осуществляются с помощью инструмента создания SQL-запроса к атрибутивной информации (Select by Attributes), вызываемого через нажатие клавиши «Опции» (Options) в окне Таблицы. Далее формируется запрос согласно описанной выше процедуре (см. раздел «Осуществление выборки объектов»). Для *резюмирования таблиц* следует отметить поле с интересующей вас информацией (например, данные о типе памятников, поле TNAME), а затем нажать правую клавишу мыши и выбрать в появившемся контекстном меню строку «Статистика» (Summarize) (рис. 7.37). В появившемся окне следует подтвердить проделанную операцию, сохранив ее в виде отдельной таблицы, которая автоматически добавляется в вашу Таблицу содержания карты (таблица Sum_Output_2.dbf на рис. 7.37).

Выполнив резюмирование данных, можно *построить диаграмму*, отражающую распределение интересующих вас признаков, и включить ее в набор данных вашей карты. Для этого следует открыть таб-

лицу с итогами резюмирования и в ее окне нажать клавишу «Опции» (Options), после чего выбрать команду «Построить диаграмму» (Create Graph). Выполнив пошаговые инструкции, вы получаете диаграмму распределения признака (рис. 7.38), которую можно добавить к вашей карте в окно Компонировки через команду меню «Инструменты» (Tools) > Диаграммы (Graphs) > «Организовать» (Manage). В появившемся меню надо указать на нужную диаграмму и нажать на высветившуюся команду «Показать на карте» (Show in Layout).

Работа с компоновкой происходит в окне Компонировки (Layout View), где отображаются все слои вашей карты, отмеченные как активные в Таблице содержания. Используя богатые возможности инструментов по добавлению легенды, масштаба, стрелки с направлением на север, содержащиеся в меню «Вставка» (Insert) (рис. 7.39), вы можете подготовить к публикации качественный картографический материал (рис. 7.40). После этого готовую карту можно импортировать в графический формат, распечатать на принтере или опубликовать в специальном формате просмотра картографической информации с помощью инструмента Publisher. Подготовленные таким образом данные можно просматривать с помощью специальной программы ArcReader. Они приводятся на CD-ROM в виде примеров карт. Инструкция по работе с примерами приводится в гл. 2.

Пример 2. Открыв карту с примером 2 (файл c_example_02.pmf из папки C:\Examples или d_examples_02.pmf из папки D:\Examples), выполните следующие действия:

- 1) сделайте невидимым слой космоснимка LANDSAT, сняв галочку возле его названия в Таблице содержания в левой части окна программы;
- 2) раскройте легенду к слою «Рельеф», нажав на значок креста рядом с названием этого слоя;
- 3) сделайте этот слой полупрозрачным, вызвав правой клавишей мыши контекстное меню и выбрав в нем команду «Прозрачность» (Transparency), после чего установите ползунок в среднее положение;
- 4) раскройте легенду к слою «Памятники по типам»¹, нажав на значок креста рядом с названием этого слоя. Нажмите левой клавишей мыши один раз на название этого слоя;

¹ Обращаем ваше внимание на то, что слой памятников является учебным и не имеет отношения к реальным памятникам археологии, обнаруженным в Кисловодской котловине.

5) в панели инструментов выберите инструмент гиперссылки (Hyperlinks), обратите внимание на то, что два объекта на карте отмечены синей точкой;

6) нажмите поочередно мышью на эти два объекта, добившись появления на экране окна проигрывателя Windows Media с видеороликами;

7) отключите слой «Памятники по типам» и подключите слой «Памятники по культурам»;

8) используя инструмент Идентификации (Identify), получите информацию о находящихся на карте памятниках, нажимая поочередно мышью на их обозначения на карте;

9) нажмите на кнопку «Найти» (Find) и в появившемся окне напечатайте слово «курган» (без кавычек!) в поле «Найти» (Find), после чего нажмите на одноименную кнопку. Нажимая на строки результата поиска, посмотрите их отображение на карте;

10) перейдите в окно вида Компонировки (Layout View), нажав на соответствующую кнопку внизу окна программы;

11) в Таблице содержания поставьте галочку напротив названия слоя «Памятники по типам». Затем снимите галочку на названии слоя «Памятники по культурам». Обратите внимание, как меняется в соответствии с вашими действиями содержание легенды карты;

12) повторите перечисленные выше действия в окне вида Компонировки (за исключением пунктов 5 и 6 — гиперссылки можно просматривать только в режиме окна Данных).

Мы подошли к разделу, который является ключевым в применении ГИС в археологии. Действительно, ведь создание карты археологических памятников вряд ли можно рассматривать как самоцель. Главным достоинством геоинформационных технологий является возможность анализа пространственной информации, и этим достоинством не стоит пренебрегать.

Под *пространственным анализом* обычно понимается набор методов, при применении которых результат зависит от расположения объектов в пространстве¹. Пространственный анализ археологических объектов — весьма сложный самостоятельный раздел, достойный написания отдельного пособия. В данной главе мы рассмотрим лишь самые базовые элементы этого анализа. Заинтересованных читателей, желающих углубить свои знания по применению пространственного анализа, мы отсылаем к теоретическим работам П. Хаггета и М.Н. ДеМерса, а также к монографии Д. Уитли и М. Джиллинга, которые приводятся в списке литературы. Ближе познакомиться с возможностями модуля пространственного анализа Spatial Analyst настольной ГИС ArcGIS помогут курсы обучения, организуемые компанией «Data+» (<http://www.dataplus.ru/Training/Data/SpatAn.html>).

8.1.

Применение пространственного анализа в археологических исследованиях

Использование пространственного анализа в археологии имеет длительную историю; оно началось задолго до внедрения компью-

¹ Goodchild M. Geographic Information Systems and Spatial Analysis in the Social Sciences // Anthropology, Space and Geographic Information Systems. N.Y., Oxford, 1996. P. 241.

теров и появления ГИС. Начало изучения пространственного аспекта в археологии было положено австро-германской антропологической школой начала XX в. (Ф. Ратцель, Ф. Боас и др.), которая базировалась на выделении «культурных ареалов». В изучение роли ландшафта и географии в человеческой деятельности большой вклад внесла британская археология 1910–1920-х гг., в том числе благодаря широкому использованию аэрофотосъемки (О. Кроуфорд, С. Фокс). В США в 1920–1930-е гг. бурно развивается экологическое направление, наиболее полно отразившееся уже в послевоенных работах Дж. Стюарта, Г. Уилли и др. Однако отправной точкой в появлении новых подходов к изучению пространственных структур можно считать внедрение в археологию методов «новой географии» (ее еще называют «школа пространственного анализа»). В начале 1960-х гг. в связи с информационным взрывом появляется «новая география»¹ и одновременно происходит «количественная революция» в археологии. В результате возникает целое направление в изучении пространственных структур, отраженное в ставших классическими монографиях Я. Ходдера, К. Ортона² и Д. Кларка³. При этом уже тогда сформировалось два основных подхода к пространственному анализу: процессуальный и пост-процессуальный. *Процессуальный подход* сформирован так называемой «новой» американской археологией, которая применяет специальные статистические процедуры для анализа карт распределения памятников, рассматривая пространство как независимую от человека данность (работы Д. Кларка). *Пост-процессуальная археология* появилась в Великобритании в качестве альтернативы процессуальной, она пытается рассматривать пространство как часть человеческой активной деятельности (работы Я. Ходдера и К. Ортона). Более подробно с теоретическими аспектами подхода археологов к изучению пространства можно ознакомиться в работе Г.П. Гарбузова (см. список литературы к главе 8).

8.2.

Анализ пространственных структур в археологии

Как и в других областях применения пространственного анализа, пространственный анализ в археологии можно вести в нескольких направлениях: это может быть анализ сетей, изучение

иерархических пространственных структур, поиск закономерностей в точечных распределениях в пространстве и т.д. Различают несколько уровней пространственных структур в археологии:

- микроуровень (в рамках отдельных комплексов);
- средний уровень (в рамках памятника);
- макроуровень (в рамках региона).

Большинство археологических исследований касается анализа точечных структур, проводимых на макроуровне, т.е. изучение пространственного расположения памятников археологии в рамках региона. При изучении точечных пространственных структур применяются следующие методы.

Простейшей мерой точечного распределения является *плотность (density) точек*. Она определяется как результат деления числа точек на общую площадь, на которой они расположены (рис. 8.1). Плотности широко используются как меры компактности точек. Сравнивая плотности археологических объектов в разных областях, мы можем выявлять разные закономерности формирования археологических культур. Мы можем также анализировать этапы сложения культур, если будем сравнивать плотности распределения памятников одного региона в разные моменты времени.

Помимо общей плотности распределения, нас может интересовать еще и ее форма. Распределение является равномерным (*uniform*), если число точек на единицу площади в каждой малой подобласти такое же, как и в любой другой подобласти. В противном случае мы имеем дело с неравномерным (*irregular, nonuniform*) распределением объектов. Точечные объекты могут распределяться равномерно в пространстве в одном из трех возможных вариантов (рис. 8.2). Если точки расположены в узлах сетки, разделенных одинаковыми интервалами по всей области, то такое равномерное распределение называется регулярным (*regular*). В других случаях равномерно распределенные точки располагаются в случайном (*random*) порядке по всей рассматриваемой области либо они бывают собраны в тесные группы; такое распределение называется сгруппированным, или кластерным (*clustered*).

Регулярные точечные распределения относительно редко встречаются среди археологических явлений и связаны, как правило, с высокой организацией пространства, характерной, например, для памятников классической археологии (рис. 8.3, слева). В большинстве случаев мы имеем дело с иерархической системой размещения памятников, когда, например, поселения более низкого

¹ Haggett P. Пространственный анализ в экономической географии. М., 1968.

² Hodder I., Orton C. Spatial analysis in archaeology. Cambridge, 1976.

³ Clarke D. Spatial archaeology. L., 1977.

уровня группируются вокруг экономических и/или административных (религиозных) центров (рис. 8.3, справа).

Равномерные точечные распределения могут изучаться на основе отношений между одинаковыми подобластями, называемыми квадратами (quadrats). Это очень распространенный метод анализа дискретных данных. В стандартном *методе анализа квадратов (quadrat analysis)* определенная территория покрывается сеткой квадратов, каждый из которых рассматривается как объект, описываемый некоторым набором признаков, и в дальнейшем анализируется совокупность территориальных квадратов. Пример использования данного метода, близкий к археологическим задачам, можно найти в работе Н.В. Пиотух, когда пространственно-экономическая типология территории анализировалась по ряду признаков, связанных с хозяйственной деятельностью жителей Новоржевского уезда Псковской губернии XVIII в. (рис. 8.4). Признаки, характеризующие пространственную сетку, описывали по шкале баллов сельскохозяйственные угодья (пашенные и сенокосные), наличие водных ресурсов и дорог, качество почв. Результаты анализа опубликованы в сборнике «Археология и геоинформатика» (см. список литературы).

Система центральных поселений и сетка Кристаллера — метод, разработанный немецким географом Вальтером Кристаллером, который изучал экономику и географию южной Германии. На основе собранного материала в 1933 г. он опубликовал книгу «Центральные места южной Германии» («Die zentralen Orte in Süddeutschland»), в которой изложил теорию центральных мест. В соответствии с данной теорией существует оптимальная каркасно-сетевая структура населенных пунктов, которая обеспечивает доступ к объектам сферы услуг, максимально быстрое перемещение между городами и эффективное управление территорией. Система населенных пунктов обладает определенной иерархией, число уровней которой прямо пропорционально социально-экономическому развитию территории. С ростом уровня иерархии населенный пункт представляет все больший набор услуг все большему числу нижестоящих поселений.

Система центральных мест (так называемая «сетка Кристаллера») имеет форму пчелиных сот (смежных шестиугольных ячеек) (рис. 8.5). Центры некоторых ячеек являются узлами шестиугольной решетки более высокого порядка, центры ее ячеек — узлами

решетки еще более высокого порядка и т.д. вплоть до наивысшего уровня с единственным центром.

В археологии эта методика также нашла свое применение в изучении поселенческих структур, когда по методу Кристаллера осуществляется разделение карты местности с помощью окружностей или шестигранников с выделением поселенческого центра для каждого из них и подбором радиуса для наиболее оптимального деления территории (рис. 8.6). Этот способ применялся, например, В.Б. Ковалевской для картографирования гипотетических мест проживания аланского населения во Франции (см. список литературы к гл. 8).

Гравитационный метод базируется на предположении о значимости отдельных узлов модели, которая может быть неодинаковой. Более крупные объекты привлекают к себе большую активность, поэтому размер такого притяжения может представляться во многом подобно гравитационному притяжению тел, обладающих массой. Чем больше масса, тем больше сила притяжения между ним и его соседями.

Переноса идею гравитационного притяжения на взаимодействие между поселенческими центрами, мы получим модель гравитации (gravity model), которая в общем виде выражается в том, что общий объем связей между двумя поселениями должен быть прямо пропорционален произведению численности их населения и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними.

С помощью метода гравитации анализируются археологические поселенческие структуры. При этом, как правило, показатель численности населения заменяется на показатель площади памятника. Вычисленные с помощью метода гравитации индексы связи между поселениями выстраиваются в виде графов, которые помогают построить иерархическую модель системы расселения (рис. 8.7). Теоретические аспекты и практические результаты применения этого метода можно найти в работах Г.Е. Афанасьева (см. список литературы).

Помимо описания точечных распределений в пределах выбранных подобластей, также весьма полезно бывает рассмотреть локальные отношения внутри пар точек. Чаще всего это делается методом *анализа ближайшего соседства (nearest neighbor analysis)*, общепринятой процедурой определения расстояния от каждой точки до ее ближайшего соседа (РБС) и сравнения этой величины

со средним расстоянием между соседями. Вычисление этого статистического показателя включает определение среднего РБС среди всех возможных пар близлежащих точек (такие точки определяются как ближайшие к выбранной). Среднее РБС дает меру разреженности точек в распределении в пространстве (рис. 8.8). Как и в анализе квадратов, мы можем сравнить среднее РБС с тремя возможными распределениями — регулярным, случайным и сгруппированным путем специальных вычислений индекса случайного распределения¹.

Более сложными являются процедуры *пространственного моделирования потенциальной экономической зоны вокруг памятника*, получившие название *Site catchment analysis*. Этот анализ является одной из основных процедур в современной ландшафтной археологии². Существуют различные методы для моделирования потенциальной экономической округи вокруг древних поселений. Наиболее распространенный представляет собой построение окружностей с определенным радиусом, внутри которого выделяются различные зоны для хозяйственного использования (рис. 8.9). Подобный метод применялся Г.Е. Афанасьевым для изучения потенциальных экономических территорий вокруг аланских поселений в бассейне Среднего Дона. Имеются многочисленные примеры использования данного метода в ГИС-анализе памятников археологии, некоторые из которых можно найти в статье Г.П. Гарбузова (см. список литературы к гл. 8).

Точечные распределения могут также характеризоваться с помощью *полигонов Тиссена (Thiessen Tessellation)*, называемых также диаграммами Дирихле (Dirichlet diagrams) и диаграммами Вороного (Voronoi diagrams). Они названы в честь климатолога А. Тиссена, который пытался описывать и анализировать точечные данные с помощью площадных символов и аналитических методов. Операция по созданию полигонов Тиссена довольно проста. Если у нас есть несколько точечных объектов, мы можем представить себе, что каждая точка окружена одиночным неправильным многоугольником. Граница этого многоугольника проходит на середине расстояния между данной точкой и всеми соседними точками. В по-

добном случае каждая точка покрытия будет иметь свой собственный полигон Тиссена, показывающий область исключительно ее влияния (рис. 8.10). Эту область при анализе археологического материала можно рассматривать как область потенциальной экономической зоны вокруг поселения¹.

Следует отметить, что широко распространенная процедура анализа территории вокруг археологических памятников путем построения полигонов Тиссена имеет ряд ограничений, которые следует учитывать при использовании данного метода². Прежде всего, если мы используем эту процедуру без учета веса поселения, то у нас примерно одинаковые по площади территории будут иметь рядовые мелкие поселения и крупные центры, в которых проживало большее количество населения и которые, соответственно, нуждались в большей по площади экономической зоне (рис. 8.11). Таким образом, при моделировании необходимо разделять объекты на обладающие большим и меньшим весом (площадью, количеством населения), что будет влиять на размер построенных вокруг них полигонов (рис. 8.12).

Другим отмеченным авторами цитируемой работы ограничением в использовании деления территории с помощью полигонов Тиссена стало отсутствие внешних границ по периметру анализируемой территории. В результате полигоны, расположенные по внешней стороне анализируемой карты, имеют непропорционально большие зоны влияния (рис. 8.10–8.12). Это ограничение может быть преодолено, если задать максимальное расстояние до границы полигона от его центра (рис. 8.13).

Наконец, один из главных недостатков метода Тиссена заключается в том, что территория рассматривается как двумерная плоскость и при ее делении не учитываются внутренние барьеры (например, глубокие каньоны рек), которые являются естественными границами. В программах ГИС можно преодолеть и это ограничение, если осуществлять построение полигонов Тиссена по так называемым «маскам» — специально созданным полигональным объектам, границами между которыми являлись бы внутренние территориальные барьеры. Практическая работа по адаптации методов ГИС для моделирования хозяйственного деления территории

¹ Афанасьев Г.Е., Савенко С.Н., Коробов Д.С. Древности Кисловодской котловины. М., 2004. С. 67–68.

² Ruggles A., Church R. Spatial Allocation in Archaeology: An Opportunity for Re-evaluation // New Methods, Old Problems. Geographic Information Systems in Modern Archaeological Research. Illinois, 1996. P. 147–173.

¹ Де Мерс М.Н. Географические информационные системы. М. 1999. С. 326–327.

² Wheatley D., Gillings M. Spatial Technology and Archaeology. L.; N.Y., 2002. P. 149–162.

при помощи полигонов Тиссена была осуществлена автором на основе анализа поселенческих памятников Кисловодской котловины эпохи раннего Средневековья¹. В результате использовались «маски» деления территории по границам течения основных рек, являющихся естественными границами внутри анализируемой территории, а зоны ответственности вокруг основных мест проживания ограничивались радиусом в 5 км. Это соответствует известной по этнографии максимально благоприятной зоне ведения оседлого земледелия² (рис. 8.14).

При изучении степени близости расположения памятников к окружающим ресурсам полезно использовать процедуру *анализа энергетических затрат* на преодоление расстояния с учетом движения по рельефу местности. Данная процедура получила в литературе название *Cost Distance Analysis*³. Суть ее заключается в расчете энергетических затрат, которые предполагаются различными при движении по ровной местности, вниз по склону и вверх по склону. Стоимость энергозатрат также увеличивается по мере удаления от точки начала движения. В результате компьютерных расчетов мы строим карту ГИС с так называемой «стоимостной поверхностью» (Cost Surface), которая имеет различные цвета в зависимости от затрат на преодоление расстояния по рельефу местности (рис. 8.15). Анализ данной поверхности может служить для моделирования кратчайшего пути к выбранным объектам карты с учетом энергетических затрат на преодоление расстояния (рис. 8.16).

В археологии подобный анализ применяется относительно редко⁴. В отечественной практике анализ расчета стоимости пути использовался Г.В. Требелевой в диссертационной работе (результаты пока не опубликованы). Краткое упоминание о применении подобных процедур содержится в совместной статье украинских

¹ Коробов Д.С. Применение методов пространственного анализа при изучении системы расселения алан Кисловодской котловины // Археология и геоинформатика. Вып. 5. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2008; Коробов Д.С. ГИС-моделирование сельскохозяйственных угодий эпохи раннего средневековья в Кисловодской котловине // Археология и геоинформатика. Вып. 6. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2010.

² Jarman M.R., Vita-Finzi C., Higgs E.S. Site catchment analysis in archaeology // Man, Settlement and Urbanism. L., 1972. P. 63.

³ Wheatley D., Gillings M. Указ. раб. P. 151–159.

⁴ van Leusen M. Viewshed and Cost Surface Analysis Using GIS (Cartographic Modelling in a Cell-Based GIS II) // New Techniques for Old Times. CAA 98. BAR International Series. 757. Oxford, 1999. P. 216.

исследователей, публиковавшейся в электронном сборнике «Археология и геоинформатика». Один из первых подобных опытов в отечественной археологии был проведен автором при анализе доступности источников воды вокруг аланских поселений Кисловодской котловины (см. список литературы к гл. 8).

8.3.

Практическое применение пространственного анализа в ГИС

Рассмотрим некоторые практические шаги по использованию методов пространственного анализа в ГИС. Анализ по сути сводится к построению аналитических растровых карт, которые строятся различными способами по результатам математической обработки пространственной информации, содержащейся в виде векторных слоев ГИС. Применение пространственного анализа приводится на примере настольной ГИС ArcGIS 9, основы работы с которой описаны в предыдущей главе.

Аналитические растровые слои карт строятся в ArcGIS 9 с помощью специального дополнительного модуля *пространственного анализа (Spatial Analyst)*, который подключается командой меню «Инструменты» (Tools) > «Дополнительные модули» (Extensions)¹ (рис. 8.17). Для работы требуется вывести панель инструментов модуля пространственного анализа, для чего выполняется команда «Вид» (View) > «Панели инструментов» (Toolbars) и выбирается панель Spatial Analyst (рис. 8.18). Дальнейшая работа происходит с помощью меню данной панели.

Следует обратить внимание на то, что пространственный анализ может осуществляться лишь при использовании декартовой системы координат, когда анализ проводится на плоском листе карты, а не на поверхности Земли. Поэтому перед началом работы рекомендуем вам перевести все ваши картографические данные в проекцию UTM соответствующей зоны системы координат WGS-84 или проекцию Гаусса–Крюгера системы координат 1942 г. Подробнее о методах выбора проекции см. гл. 7.

Дополнительные настройки анализа можно произвести через команду меню «Опции» (Options) на панели инструментов Spatial

¹ Эта операция возможна лишь после приобретения лицензии на использование данного модуля, которая отдельно распространяется дистрибьютерами программного продукта.

Analyst. В появившемся окне можно установить некоторые настройки, например размер ячейки раstra, выводимого на аналитическую карту. Размер исчисляется в единицах измерения карты. В нашем случае установлена ячейка, равная 100 м (рис. 8.19), что позволяет оперировать общепринятыми единицами измерения площади (каждая ячейка карты равна 1 га).

Еще одним важным подготовительным моментом является создание анализируемых слоев рельефа местности. В пространственном анализе используются слои покрытия grid, поэтому рекомендуется заранее привести вашу информацию к этому формату данных. Подготовленные данные о рельефе конвертируются из формата TIN в формат grid с помощью команды меню «Конвертировать» (Convert) > «TIN в растр» (TIN to Raster) панели инструментов 3D Analyst (рис. 8.20) (подробнее об этих операциях можно узнать из гл. 9).

Одним из простейших методов пространственного анализа является построение прямых линейных зон вокруг анализируемых объектов. Предположим, нам требуется узнать, как группируются в пространстве Кисловодской котловины укрепления эпохи раннего Средневековья. Используя процедуру *анализа прямого линейного расстояния* (Straight Line Distance) меню панели инструментов Spatial Analyst, мы выстраиваем буферные зоны равной величины вокруг анализируемых точечных объектов (памятников) (рис. 8.21). С помощью инструментов классификации в окне свойств полученного слоя (Layer Properties > Symbology > Classify) можно задать интервал (Defined Interval) для этих буферных зон, например в 1 км (1000 м), для удобства анализа. Фактически это является анализом ближайшего соседства, поскольку наши объекты группируются по степени близости в пространстве.

Анализ позволяет ограничить выстраиваемые буферные зоны выбранным расстоянием. Использовать эту возможность можно, поставив максимальное расстояние (Maximum Distance) в окне диалога анализа прямого линейного расстояния. В результате мы получаем буферные зоны, ограниченные выбранным расстоянием вокруг точечных объектов, как, например, укрепленные поселения (рис. 8.22), или линейных, как речная сеть (рис. 8.23). Следующим шагом может быть анализ ресурсных зон, расположенных вокруг укрепленных поселений или памятников, попадающих в зону 1 км вокруг речной сети Кисловодской котловины.

Построение полигонов Тиссена осуществляется с помощью команды «Расстояние» (Distance) > «Распределение» (Allocation) меню панели инструментов Spatial Analyst. Предварительно можно подготовить «маски» для анализа отдельных территорий, чтобы учитывать внутренние барьеры. В нашем случае подобными барьерами являлись глубокие речные каньоны, поэтому для их учета использовался полигональный слой, созданный по линиям основных рек (рис. 8.24). Затем перед проведением процедуры построения полигонов Тиссена в меню «Дополнительно» (Options) панели инструментов Spatial Analyst поочередно указывался анализируемый слой «маски» — каждый отдельный полигон (рис. 8.25). Для ограничения внешних границ моделируемых полигонов Тиссена использовалось максимальное расстояние в 5 км (Maximum Distance = 5000) (рис. 8.26). В результате такой процедуры поочередно строятся полигоны Тиссена для ограниченных внутренними барьерами территорий, которые также имеют обоснованные внешние границы (рис. 8.27).

Вычисление стоимости взвешенного расстояния (Cost Weighted Distance) предполагает создание стоимостного слоя затрат на преодоление расстояния. Она осуществляется с помощью команды меню панели инструментов Spatial Analyst «Расстояние» (Distance) > «Взвешенная стоимость» (Cost Weighted). В появившемся окне следует указать анализируемый слой ваших данных (в нашем случае это strongholds_utm), слой раstra для оценки стоимости (как правило, это информация о рельефе местности в формате grid) и установить галочку напротив команды «Создать слой направления» (Create Direction). В этом случае при анализе создаются два аналитических слоя: слой оценки стоимости на преодоление расстояния (Cost Distance) (рис. 8.28) и слой оценки стоимости движения по разным направлениям на местности (Cost Direction) (рис. 8.29). Эти слои могут анализироваться самостоятельно или служить для выполнения дальнейших аналитических процедур.

Вычисление кратчайшего пути (Shortest Path Distance) является одной из таких процедур, использующих подготовленные стоимостные слои. Для проведения этой операции используется соответствующая команда меню панели инструментов Spatial Analyst «Расстояние» (Distance) > «Кратчайший путь» (Shortest Path). В возникшем окне указываются слой объектов, к которому вычисляется расстояние (в нашем случае это слой с речной сетью,

rivers_sell_utm) и подготовленные заранее аналитические стоимостные слои расстояния и направления (Cost Distance и Cost Direction). Если вы хотите ограничить поиск объектов неким радиусом, то в поле Cost Distance следует проставить подготовленный заранее слой с буферными зонами определенного радиуса, построенными вокруг ваших объектов (например, зоны в 1 км вокруг укрепленных поселений, как на рис. 8.22). В этом случае у вас будут построены наиболее удобные маршруты, учитывающие движение по рельефу местности, от памятников к рекам в радиусе 1 км (рис. 8.30).

Вычисление плотности (Calculate Density) распределения ваших объектов на карте является самостоятельной процедурой меню панели инструментов Spatial Analyst. После выполнения команды «Плотность» (Density) в появившемся диалоговом окне указывается название анализируемого слоя, радиус поиска (как правило, это 1 км или 1000 м), единицы измерения (кв. км) и размер ячейки раstra (100 м) (рис. 8.31). Полученная карта плотности памятников, как правило, нуждается в дальнейшем изменении параметров классификации, так как оперирует не целыми числами (это видно из легенды в Таблице содержания к слою Density of strongholds_utm). Процедура переклассификации осуществляется с помощью диалогового окна свойств слоя (Layer Properties), которое вызывается из контекстного меню нажатием правой клавишей мыши. В этом окне в закладке символов (Symbolology) с помощью клавиши «Классифицировать» (Classify) вызывается дополнительное окно, в котором указывается способ классификации с помощью заданных интервалов (Defined Intervals). Указав единицу в качестве интервала, вы получаете новый вид аналитического слоя карты, в котором плотность измеряется в целых значениях количества памятников на один квадратный километр (рис. 8.32).

Полученные аналитические растровые слои могут подвергаться дальнейшим операциям (сложению, вычитанию, умножению, делению) с помощью специального инструмента: *растрового калькулятора (Raster Calculator)*. Предположим, что нами проведено несколько процедур по определению плотности памятников разных типов (укрепленных и неукрепленных поселений). Нам требуется получить итоговую карту плотности всех анализируемых объектов. Вызвав из меню панели инструментов модуля Spatial Analyst растровый калькулятор, мы можем провести операцию сло-

жения двух растровых слоев плотности укрепленных и неукрепленных поселений и получить итоговую карту плотности памятников всех анализируемых типов (рис. 8.33). Если же нам необходимо совместить информацию о плотности укрепленных поселений и буферной зоне в 1 км вокруг них, с помощью растрового калькулятора мы можем выполнить операцию умножения этих двух растровых аналитических слоев, получив в итоге карту, совмещающую информацию о плотности и ближайшем соседстве анализируемых памятников (рис. 8.34).

Модуль пространственного анализа позволяет визуализировать статистическую информацию, соотнесенную с нашими объектами, в виде карт поверхностей распределения того или иного признака. В зависимости от выбранного радиуса эта карта может отражать распределение признака в пространстве в виде окрестностей анализируемых точек (памятников). Процедура *статистического анализа окрестностей (Neighborhood Statistics)* вызывается из меню инструментальной панели модуля Spatial Analyst. В появившемся окне требуется задать имя анализируемого слоя (Input data), поле с анализируемой количественной информацией (Field), тип статистической процедуры (Statistic type), вид строящейся окрестности (Neighborhood), размер ячейки раstra на карте. Предположим, нам требуется проанализировать информацию о распределении количества подъемного материала, обнаруженного на поселенческих памятниках открытого типа. Заполнив диалоговое окно команды статистического анализа окрестностей, мы получаем итоговую карту распределения этого признака в пространстве с выбранной ячейкой в 1 км вокруг поселения (рис. 8.35). В дальнейшем мы можем совместить эту картину распределения керамики с данными о плотности поселений, получив итоговую карту произведения аналитических слоев, полученных с помощью растрового калькулятора (рис. 8.36).

Мы рассмотрели некоторые основные теоретические и практические шаги в освоении методов пространственного ГИС-анализа. Разумеется, возможности этого направления в археологии значительно шире, а более тесное знакомство с ним требует специальных знаний, выходящих за рамки настоящего курса. Познакомиться с аналитическими картами, построенными на основе учебных данных, можно, открыв пример 3, помещенный на CD-ROM.

Пример 3. Откройте карту с примером 3 (файл с_example_03.pmf из папки C:\Examples или d_examples_03.pmf из папки D:\Examples). Убрав галочку, отключите слой рельефа grid. Поочередно подключите и отключите аналитические слои карты, просматривая легенду к ним, расположенную в Таблице содержания:

1) слой «Зоны в 1 км вокруг памятников». Обратите внимание на количество родников, попадающих или не попадающих в эту зону;

2) слой «Полигоны Тиссена 1». Обратите внимание на отсутствие внешних границ и внутренних барьеров при моделировании деления территории;

3) слой «Полигоны Тиссена 2». Обратите внимание на наличие внешних границ и внутренних барьеров при подобном моделировании;

4) слой «CostDirection to Памятники»;

5) слой «CostDistance to Памятники»;

6) слой «Плотность памятников»;

7) слой «Плотность родников»;

8) аналитический слой, полученный при произведении слоев плотности памятников и родников;

9) слой с показателями распределения керамики на поселении;

10) аналитический слой, полученный при произведении слоев плотности памятников и распределения керамики;

11) слой с моделированием кратчайших путей к родникам в радиусе 1 км от памятников;

12) слой с моделированием кратчайших путей к рекам в радиусе 1 км от памятников.

Перейдите в окно вида Компоновки (Layout View) и повторите проделанные операции, обращая внимание на изменение легенды к карте.

Визуализация археологической информации в последние годы становится все более популярным способом представления данных, полученных в процессе полевой или камеральной работы. Достаточно сказать, что проблемам создания «виртуальной реальности» (Virtual Reality — VR) посвящены специальные секции таких общепризнанных международных форумов, как конференции по применению компьютерных технологий в археологии (Computer Applications in Archaeology — CAA) или конференции по применению современных методов в полевой археологии (Archaeological Prospection). Существует большое количество Интернет-ресурсов, отражающих интерес к этой проблематике. Среди них можно назвать проекты, воссоздающие архитектурные ансамбли и внутреннее убранство раскопанных археологами городов и поселений (http://www.uni-tuebingen.de/troia/vr/index_en.html), моделирование древнего ландшафта (<http://www.photogrammetry.ethz.ch/research/peru/index.html>), виртуальные модели археологических комплексов (<http://www.learningsites.com>) и многое другое (рис. 9.1). Активное внедрение виртуальной реальности в археологию привело к возникновению специализированных конгрессов, одним из наиболее значимых среди которых стал Международный симпозиум по виртуальной реальности, археологии и интеллектуальному культурному наследию¹. В Интернете существуют электронные учебники по трехмерным реконструкциям и анимации².

В отечественной археологической науке, к сожалению, это перспективное направление развито еще весьма слабо. Достаточно сказать, что опубликованных работ по трехмерному компьютерному

¹ International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage — VAST.

² Creating and Using Virtual Reality: a Guide for the Arts and Humanities // Internet: http://vads.ahds.ac.uk/guides/vr_guide/index.html

моделированию очень мало. Несколько специальных работ, посвященных этой теме, были написаны С.Н. Алексейчуком, А.А. Довгалевым, Д.В. Груздевым и И.В. Журбиным, а также автором данного учебного пособия. Недавно в журнале «Российская археология» была опубликована статья о применении интегрированной системы сбора и хранения археологической информации о Гнездовском археологическом комплексе, в которой авторы также касаются проблемы создания трехмерной модели ландшафта памятника. Пожалуй, один из наиболее удачных опытов в этом направлении принадлежит Ю.М. Баранову и Л.Л. Косинской (см. список литературы к гл. 9).

9.1.

Способы создания трехмерной виртуальной реальности

В качестве основных способов трехмерного моделирования в археологии можно назвать использование систем автоматического проектирования (САПР), применение фотограмметрии, использование трехмерного лазерного сканирования, а также создание и анализ триангуляционных и растровых моделей в ГИС.

Системы автоматического проектирования, прежде всего пакет программ AutoCAD, требуют наличия специальных навыков у пользователя, а зачастую и отдельного обучения. В настоящее время это один из наиболее распространенных способов построения трехмерных моделей с их последующей визуализацией. Результаты подобного моделирования неоднократно публиковались в электронном сборнике «Археология и геоинформатика». Методика моделирования в AutoCAD изложена в работах С.Н. Алексейчука и на его авторском Интернет-сайте (<http://www.arheo3d.narod.ru>). В качестве примера трехмерной модели археологического памятника, построенного по результатам инструментальной топографической съемки в программе AutoCAD, можно привести модель аланских укреплений на Мосейкином мысу возле Кисловодска, построенную С.Н. Алексейчуком (рис. 9.2).

Основные навыки работы с AutoCAD излагаются в статье В.П. Макрушина (см. список литературы).

Трехмерное моделирование с помощью фотограмметрии требует, пожалуй, еще больших специальных знаний и подготовки, чем САПР. Суть его заключается в построении моделей на основе трех-

мерных измерений, проводимых по данным аэрофотосъемки и космических спутников. Примеры такого моделирования можно найти в Интернете. Одним из наиболее ярких проектов последних лет, в котором использовалось трехмерное моделирование археологических ландшафтов методами фотограмметрии, является изучение геоглифов Наска и Пальпы в Перу, проводимое немецкими и швейцарскими специалистами (рис. 9.3) (<http://www.photogrammetry.ethz.ch/research/peru/index.html>).

Трехмерное лазерное сканирование осуществляется при помощи специализированной и весьма дорогостоящей аппаратуры — 3D сканеров наземного и воздушного базирования. Несмотря на дороговизну, этот способ трехмерного моделирования получает все большее распространение в археологии за счет максимального приближения результатов моделирования к исходному объекту. Причем речь идет не только о создании трехмерных изображений археологических находок, но и участков ландшафта в окрестностях памятников, а также видов раскопов и выявленных объектов. Несколько примеров, приведенных на рис. 9.4 и 9.5, являются результатом работы германской компании ArcTrop, активно сотрудничающей с европейскими археологами. На рис. 9.4 сверху демонстрируются результаты лазерного сканирования детских захоронений позднего латенского периода из Райнхайма, снизу — трехмерное изображение укрепления римского времени в Констанце и его реконструкции. Данные памятники находятся в Германии. Другие примеры трехмерного лазерного сканирования архитектурных объектов из Люксембурга приведены на рис. 9.5: сверху можно увидеть изображение средневекового замка Узельдинген, внизу — развалины замка эпохи Ренессанса Мансфельд.

Частным случаем использования лазерного сканирования является применение технологии Light Detection and Ranging (LIDAR) — лазерного сканирования воздушного базирования, которое основано на измерениях расстояния и точной ориентации этих измерений между сенсором и отражающей поверхностью. Это достигается путем соединения GPS-измерений с инерционным измерительным блоком, с помощью которого осуществляется детальный сбор информации о земной поверхности. Система основана на принципе отражения импульсного лазера от колеблющегося зеркала и измерении времени полета для установления расстояния, которое проходит лазерный импульс. Эта система используется для создания современных топографических моделей

местности. В археологии она успешно применяется в том числе благодаря технологии, по которой можно отсекают информацию о растительном покрове, получая трехмерную модель рельефа, скрытого лесными насаждениями. С помощью подобной технологии выявляются ранее неизвестные археологические памятники, например следы средневековых земледельческих наделов (рис. 9.6). Подробнее о применении LIDAR в археологии можно узнать из коллективной статьи Б. Зитлера и др., а также на сайте Венского воздушного архива (см. список литературы к гл. 9).

Трехмерное моделирование в ГИС является основной темой настоящей главы, поэтому остановимся на нем подробнее. Подобное моделирование осуществляется с помощью специальных модулей, например модуля 3D Analyst программы ArcGIS 9. Данное моделирование более приближено к запросам среднестатистического пользователя ГИС и не требует специального обучения.

Процесс создания трехмерной модели ГИС состоит из нескольких этапов. Прежде всего требуется создать цифровую модель поверхности, ЦМП (digital elevation model — DEM), под которой обычно подразумевают цифровую модель рельефа, ЦМР (digital terrain model — DTM). Разница этих двух понятий заключается в том, что цифровая модель рельефа является одним из видов цифровой модели поверхности, наиболее распространенным при компьютерном моделировании. В принципе мы можем построить цифровую поверхность на основании любой количественной информации, распределенной неким образом в пространстве (например, частотное распределение типов бус или акинаков, как это делается путем компьютерного картографирования¹). Имея цифровую модель поверхности и используя специальные программные модули, мы легко можем превратить эту информацию в трехмерное изображение и визуализировать.

Чаще всего, однако, в роли количественной информации выступают данные об абсолютной или относительной высоте местности, на основании которых строится цифровая модель рельефа (ЦМР). Цифровая модель рельефа является одним из видов цифровой модели местности (ЦММ). Отличие этих понятий заключается в том, что ЦМР использует только информацию о поверхности

рельефа, а ЦММ включает также информацию о растительном покрове, зданиях, объектах инфраструктуры и т.д. В археологии мы имеем дело прежде всего с построением ЦМР.

9.2.

Способы построения ЦМР

Существует несколько способов построения ЦМР: с помощью регулярной матрицы данных о высоте (regular grid), с помощью интерполяции точечных нерегулярных данных (spatial interpolation) и с помощью нерегулярной триангуляционной сети (TIN — Triangulated Irregular Network). Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки.

Регулярная матрица данных имеет высокую точность, напрямую зависящую от частоты измерений, но при этом требует весьма трудоемкой полевой работы по сбору этих измерений и поэтому применима лишь на ограниченной площади. Существует целая серия работ, связанных со сбором высокоточных данных о высоте местности по регулярной сети, результатом которых являются яркие топографические планы, представленные в трехмерном виде и позволяющие без археологических раскопок говорить о внутренней структуре памятника и отдельных его объектах (рис. 9.7). Обычно для подобных измерений используют электронные нивелиры или геодезические GPS, которыми замеряются данные о высоте по регулярной сетке, например, через 1 м.

Другим вариантом построения ЦМР может быть *интерполяция нерегулярных точечных данных о высоте*. Подобная работа по моделированию рельефа Таманского полуострова на основании данных о высотных отметках топографических карт была проведена в свое время Г.В. Требелевой (рис. 9.8) (см. список литературы к гл. 9). У этого метода также имеются свои ограничения, заключающиеся прежде всего в том, что разные методы интерполяции приводят к разным, зачастую весьма далеко отстоящим друг от друга результатам (рис. 9.9, а). Кроме того, нерегулярность распределения данных о высоте может привести к огрублению цифровой модели в местах с сильно пересеченным рельефом, где требуется больше высотных измерений, и, напротив, к избыточности информации на плоских участках местности.

¹ Ковалевская В.Б. Особенности картографирования массовых и редких явлений в археологии (анализ распространения акинаков VII–V вв. до н. э.) // Археология и геоинформатика. [Электронный ресурс.] М. Вып. 2. (CD-ROM.), 2005.

Наиболее распространенным способом представления ЦМР является построение ее на основе *нерегулярной триангуляционной сети* (далее TIN). Этот эффективный метод применяется с конца 1970-х гг., его преимущество заключается в специальном способе подбора оптимального количества измерений для разных типов рельефа, более подробных на пересеченной местности и менее — на плоских участках. Подобные измерения осуществляются с помощью специальных геодезических приборов: теодолита, электронного тахеометра или GPS-приемника геодезического класса.

Кроме того, использование цифровых моделей TIN позволяет автоматически анализировать в ГИС два важных показателя — крутизну склона (slope) и его ориентировку (aspect). Однако и этот метод имеет свои ограничения, касающиеся прежде всего сложностей при интерполяции данных о высотных отметках, отраженных в виде горизонталей (рис. 9.9, б). Кроме того, цифровая модель, созданная на основе TIN, несет элемент огрубления реального рельефа местности, поскольку базируется на треугольных плоскостях, что бывает заметно при визуализации моделей. Тем не менее именно использование TIN в качестве основы для построения ЦМР является наиболее распространенным методом и поэтому входит в состав модулей трехмерного анализа различных пакетов программ ГИС.

9.3.

Построение ЦМР в программе ArcGIS 9

Для того чтобы построить TIN, используя настольную ГИС ArcGIS 9, требуется в программе ArcMap подключить модуль 3D Analyst, имея в наличии векторный слой, отображающий рельеф местности в виде горизонталей, либо точечную информацию о высотных отметках рельефа. Напоминаем читателю, что цифровые данные о рельефе практически всего земного шара были получены в 2000 г. со спутника с помощью специальной радарной системы Shuttle radar topographic mission (SRTM) (см. главу 4). Информацию о ее размещении и использовании для построения ЦМР в ГИС можно найти на сайте ГИС-лаборатории по адресу <http://gis-lab.info/qa/srtm.html#mission>.

Для подключения модуля 3D Analyst требуется выполнить команду «Инструменты» (Tools) > «Дополнительные модули» (Extensions)¹ (рис. 9.10), после чего можно вывести его на экран в виде

¹ Команда доступна лишь при наличии лицензии на использование модуля 3D Analyst, которая приобретается отдельно у дистрибьютеров программного продукта.

отдельной панели инструментов (команда «Вид» (View) > «Панели инструментов» (Toolbars) (рис. 9.11). Теперь мы можем приступить к созданию ЦМР, предварительно подключив векторный слой с данными о рельефе местности в виде точек или горизонталей.

Из меню панели инструментов 3D Analyst мы выбираем команду «Создать/Изменить TIN» (Create/Modify TIN) и далее «Создать TIN из объектов» (Create TIN from Features). Появляется отдельное окно, в котором мы выбираем слой рельефа в качестве основы построения модели и способ ее построения (рис. 9.12). Для этого требуется выбрать поле в таблице слоя, несущее информацию о высоте (в данном случае это поле SEM4), способ триангуляции (в виде массива точек, резкого или нерезкого перегиба) и конечный файл с информацией о ЦМР. Мы выбрали в качестве способа триангуляции «нерезкий перегиб», а в качестве конечного файла название «tin2». После подтверждения команды с помощью клавиши «ОК» программа приступает к созданию TIN¹.

После создания ЦМР имеется несколько возможностей ее представления на экране: в виде одноцветной теневой модели (рис. 9.13, а), многоцветной теневой модели согласно выбранной цветовой схеме и количеству используемых классов деления модели по высотам (рис. 9.13, б), исходных триангуляционных поверхностей (рис. 9.13, в) или только их узлов (рис. 9.13, г). Все перечисленные выше способы отображения TIN и некоторые другие доступны из меню Свойств слоя (Layer Properties) закладки Символов (Symbolology).

9.4.

Трехмерный анализ в ГИС

Построив TIN, мы можем приступать к анализу трехмерной поверхности с помощью модуля 3D Analyst (рис. 9.14). Анализ сводится к следующим процедурам:

- создание изолиний по имеющейся ЦМР (Contour);
- анализ уклона (Slope);
- анализ экспозиции склонов (Aspect);
- отмывка рельефа (Hillshade);
- анализ видимости (Viewshed);
- анализ насыпей/выемок (Cut/Fill);
- статистический подсчет площади и объема (Area and Volume).

¹ Следует отметить, что скорость создания TIN и его представления на экране напрямую зависит от аппаратных ресурсов, используемых оператором.

Кроме того, имеются дополнительные кнопки на панели 3D Analyst, позволяющие:

- автоматически создать изолинии по выбранным участкам TIN (Create Contour);
 - смоделировать кратчайший путь вниз по склону (Create Steepest Path);
 - построить линию взгляда между двумя точками (Create Line of Sight);
 - интерполировать точку, линию или полигон на трехмерную поверхность (Interpolate Point, Line, Polygon);
 - построить линию профиля или разреза (Create Profile Graph).
- Рассмотрим подробнее некоторые процедуры.

Анализ уклона (Slope) производится с помощью одноименной команды меню панели инструментов 3D Analyst. В появившемся окне выбирается название анализируемого слоя TIN, представление информации о крутизне в градусах или процентах, а также величина ячейки растра. В результате мы получаем аналитический растровый слой со статистической информацией о крутизне склонов разных участков карты (рис. 9.15). В нашем случае очевидно присутствие участков с глубокими речными каньонами, где крутизна склонов приближается к 90° (отмечены красным цветом).

Аналогичным образом осуществляется процедура *анализа экспозиции склонов (Aspect)*. Заполнив информацию об имени анализируемого слоя и размере ячейки растра, мы получаем аналитическую растровую карту, где с помощью разных цветов отмечены направления ориентировки склонов местности (рис. 9.16).

Анализ насыпей/выемок (Cut/Fill) проводится с целью визуализировать разницу в рельефе, возникшую в результате каких-либо его изменений по высоте. Он редко применяется для археологических исследований. Для использования этой процедуры требуется наличие двух слоев рельефа, отражающих его состояние на разные моменты времени. В результате анализа разницы программа выстраивает карту, на которой разными цветами обозначены участки рельефа, которые поднялись, опустились или остались без изменений (рис. 9.17).

Анализ видимости (Viewshed Analysis) требует наиболее пристального внимания для рассматриваемой темы, поскольку именно он

получил наибольшую популярность в археологических исследованиях. В зарубежной литературе моделирование зон видимости и зрительных связей с 1970-х гг. превратилось в сложившееся направление, отраженное как в виде специальных исследований, так и в виде обобщающих работ (см. работы М. ван Лейзена, Д. Уитли и М. Джиллинга в списке литературы к гл. 9). В этих работах авторы приходят к выводу, что одним из факторов, определяющих выбор места обитания в древности, являлся фактор хорошего обзора местности. Анализ зрительных связей имеет высокую степень важности при изучении системы оповещения между поселениями, открывает некоторые аспекты верований древних людей, помогает реконструировать систему расселения и хозяйственного освоения территорий.

К сожалению, приходится констатировать практически полное отсутствие опубликованных исследований, ведущихся в России в данном направлении, как ручным способом, так и с помощью ГИС. Лишь в последнее время появились работы, в которых анализируются зрительные связи античных крепостей Азиатского Босфора и укрепленных поселений Кисловодской котловины, изучаемые с помощью анализа видимости ГИС (работы Г.В. Требелевой и Д.С. Коробова, см. список литературы к гл. 9).

При анализе видимости с помощью ГИС речь идет прежде всего о двух его аспектах: изучении *зон видимости (field-of-view)* и *линий зрительной связи (line-of-sight)*. *Зона видимости* представляет собой пространство обзора местности, открывающееся с точки наблюдения. Моделирование этого пространства осуществляется с помощью специальной команды меню Viewshed панели 3D Analyst. При вызове этой команды появляется дополнительное окно с параметрами, которые необходимо определить для дальнейшего анализа (рис. 9.18). Это прежде всего слой поверхности, который является основой для анализа (в нашем случае это слой «tin2»), и точечная или линейная тема ГИС, представляющая собой пункты или линию наблюдения (точечный слой «strongholds_viewshed»). Если при анализе пользователь оперирует единицами измерения, отличными от используемых в данном окне карты (например, футами вместо метров), программа дает возможность установить соотношение между этими единицами с помощью так называемого Z-фактора (по умолчанию Z-фактор равен единице). При анализе видимости на больших площадях бывает полезно учитывать фактор кривизны земной поверхности, что также возможно сделать, подключив соответствующую функцию «Use Earth curvature».

Результаты анализа зоны видимости выводятся на карту в виде аналитического растрового слоя, где каждая ячейка имеет информацию о том, видна она или не видна с выбранной точки наблюдения, что отражается на карте в виде разных цветов. Величина ячейки определяется программой автоматически в зависимости от размера окна карты или задается пользователем. Рекомендуем устанавливать величину ячейки 10×10 или 100×100 м, что позволяет оперировать общепринятыми величинами площади (гектарами).

Следует отметить, что при анализе видимости может использоваться дополнительная информация о точках наблюдения и способах обзора, если она внесена соответствующим образом в исходную таблицу анализируемой темы (рис. 9.19). К этой информации относятся:

- 1) данные о высоте расположения точки наблюдения в единицах измерения, принятых в данном окне карты (заносятся в таблицу в специальное поле «SPOT»; при отсутствии данного поля в таблице принимается высота точки, интерполируемая с трехмерной поверхности TIN);
- 2) данные о высоте расположения наблюдателя над точкой наблюдения (поле «OFFSETA», в метрах; при отсутствии поля в таблице равно единице);
- 3) данные о высоте расположения наблюдаемой цели над анализируемой поверхностью (поле «OFFSETB», в метрах; при отсутствии поля в таблице равно нулю);
- 4) данные о горизонтальном угле обзора (заносятся в виде азимутов в поля «AZIMUTH1» и «AZIMUTH2» в градусах по часовой стрелке от 0° на севере до 360° ; при отсутствии данных полей в таблице считается, что наблюдение ведется на всем пространстве вокруг наблюдателя);
- 5) данные о вертикальном угле обзора (заносятся в виде азимутов в поля «VERT1» и «VERT2» в градусах от 90° вверх до -90° вниз; именно эти значения принимаются при отсутствии этих полей в таблице);
- 6) ближний и дальний радиусы наблюдения (заносятся в виде полей «RADIUS1» и «RADIUS2» в единицах измерения окна карты; при отсутствии полей в таблице ближний радиус равен нулю, а дальний — бесконечности).

Так, например, при анализе зон видимости с аланских укреплений Кисловодской котловины автором использовалось поле «SPOT» с данными о высоте точки наблюдения, поле «RADIUS2» с заложенной информацией об ограничении радиуса обзора в 10 км и поле «OFFSETA» с данными о высоте стояния наблюдателя.

Весьма интересной особенностью ГИС-анализа зоны видимости является возможность просчитать совокупную видимость с нескольких выбранных точек. Это может быть достигнуто как с помощью простой алгебраической операции суммирования карт с зонами видимости (cumulative viewshed map), так и с помощью специальных процедур логического объединения отдельных карт (multiple viewshed map). Представленная на рис. 9.18 карта видимости со всех аланских укреплений Кисловодской котловины является типичным примером кумулятивной карты видимости.

Вторым способом анализа видимости является моделирование *линий зрительной связи* между выбранными точками. Эта функция доступна из панели 3D Analyst в виде специальной кнопки «Создать линию взгляда» (Create Line of Sight — отмечено красным кружком на рис. 9.20). После нажатия кнопки появляется дополнительное меню, в котором задаются данные о высоте стояния «наблюдателя» и высоте наблюдаемой цели над анализируемой поверхностью (аналогичны полям «OFFSETA» и «OFFSETB», описанным выше). После внесения этой информации в окно меню пользователь с помощью мыши создает линию взгляда между двумя выбранными точками, видимые и невидимые участки которой окрашены в разные цвета. Если с начальной точки видна конечная цель, в левом нижнем углу окна программы появляется утвердительный ответ на вопрос о ее видимости (Target is visible) (рис. 9.20).

Следует особо остановиться на некоторых *ограничениях, накладываемых компьютерным анализом видимости* и отмеченных предыдущими исследователями (см. работы М. ван Лейзена, Д. Уитли и М. Джиллинга в списке литературы к гл. 9). Основные недостатки в адекватности компьютерных моделей действительной видимости связаны с:

- 1) точностью трехмерной модели рельефа;
- 2) статичностью моделирования видимости, которая меняется при движении и разных углах зрения;
- 3) идеальностью условий наблюдения (прозрачность атмосферы, отсутствие растительности и т.д.).

Отдельно стоит проблема доказательства важности зрительных связей между памятниками для древнего населения и существования системы таких связей в древности.

В используемой автором модели видимости с аланских укреплений Кисловодской котловины учитывались недостатки, прису-

щие данному методу. В частности, было введено ограничение на радиус обзора в 10 км, что подтверждено в результате эксперимента по передаче дымового сигнала (см. работу Д.С. Коробова в списке литературы к гл. 9) (рис. 9.21). В результате анализ видимости с укреплений окрестностей Кисловодска, проведенный с помощью ГИС, помог наметить некоторые тенденции в пространственном распределении сигнальных постов как единой системы, а также прояснить разницу в передаче информации при поступлении сигнала об опасности с разных сторон котловины (рис. 9.22).

9.5.

Визуализация и анимация трехмерных моделей в программе ArcScene

Перейдем к вопросам, связанным с *визуализацией трехмерной цифровой модели*, которая осуществляется в настольной ГИС ArcGIS с помощью специальной программы ArcScene (см. главу 7). Программа ArcScene представляет собой примерно такую же оболочку для создания, просмотра, редактирования и анализа слоев ГИС, что и программа ArcMap, но со специальными функциями представления данных в виде трехмерного изображения.

Первым шагом в создании нового проекта в ArcScene является добавление слоя TIN, представленного в виде затененной модели с градуированным обозначением высоты. Как и в программе ArcMap, способ представления любого слоя моделируется с помощью вариантов, перечисленных в закладке «Символы» (Symbolology) окна Свойств слоя (Layer Properties), которое вызывается из контекстного меню щелчком правой клавиши мыши на редактируемом слое. Слой TIN автоматически имеет трехмерное представление, в отличие от остальных слоев. Для правильного отображения высотной информации мы должны для каждого слоя указать источник ее получения в меню Свойств слоя (Layer Properties), используя закладку «Базовые высоты» (Base Heights). В программе существует несколько вариантов получения информации о высоте для построения трехмерного слоя ГИС. Поскольку у нас уже имеется готовая ЦМР в виде TIN, мы указываем ее в качестве источника для отображения каждого слоя в трехмерном виде (рис. 9.23). Совершив эту несложную операцию, мы можем представить выбранный участок местности в виде трехмерной модели, используя линейный слой рельефа (рис. 9.24, а), космоснимок LANDSAT (рис. 9.24, б), космоснимок КФА-1000 (рис. 9.24, в) или аэрофотоснимок (рис. 9.24, г). В каж-

дом случае помимо слоя «подложки» в трехмерном виде нанесены слои с отображением речной сети и карты аланских укреплений.

Программа ArcScene обладает обширным инструментарием для представления в разных видах трехмерной цифровой модели, достаточно простым в использовании. Поэтому остановимся подробнее лишь на одном аспекте работы с визуализацией ландшафта, который может вызвать сложности у пользователей программы — трехмерной анимации объектов.

Анимация цифровых моделей — один из наиболее емких в плане аппаратных ресурсов процессов при компьютерной обработке данных. Для успешного использования ее с помощью программы ArcScene требуются мощный процессор (не менее Intel Pentium 4, с частотой желательнее более 2,0 ГГц) и значительный объем оперативной памяти (желательнее не менее 512 Мб; оптимальная работа достигается при объеме памяти в 1,5–2,0 Гб). Основной вид анимации, используемый программой, — моделирование облета местности. Для этого существует специальная кнопка с изображением птицы на основной панели меню и некоторые особые процедуры, описанные ниже.

Помимо аппаратных ресурсов скорость отображения информации на экране существенно зависит от свойств отображаемого слоя. Так, векторные слои, занимающие значительно меньшее количество памяти, отображаются гораздо быстрее растровых. При работе с растровыми файлами на увеличение скорости может повлиять перевод изображений (например, космоснимков) из формата TIFF в формат JPEG.

Существенное влияние на качество анимации оказывают функции 3D Визуализации (Rendering), изменение которых доступно при использовании одноименной закладки меню Properties при редактировании слоя. Имеются три основных варианта: а) слой отображается все время, б) только после остановки анимации, в) лишь в процессе анимации (рис. 9.25). При этом программа использует простую векторную модель отображения местности в виде прямоугольных блоков, если частота обновления анимации замедляется и превышает заданное количество времени. Поэтому увеличение этого временного показателя может повлиять на качество изображения при записи анимации (рекомендуем показатель в 2 секунды, что было достаточно для приемлемого воспроизведения анимационных файлов).

Анимационные функции программы доступны из специального меню анимации (Animation), выводимого в качестве отдельной панели через команду «Вид» (View) > «Панели инструментов» (Toolbars) (рис. 9.26). Помимо команд для работы с анимационными файлами, имеется специальная панель для управления ими (Animation Controls). Программа позволяет записывать, импортировать и редактировать анимационные ролики. Не вдаваясь в подробности редактирования анимационных файлов, остановимся на одном пункте меню — моделировании облета местности вдоль заданного пути (Camera Flyby from Path).

Для использования этой функции необходимо выделить векторный линейный объект и задать параметры облета. На заднем плане рис. 9.27 представлены два маршрута, заранее созданных в виде линейного векторного слоя, которые использовались автором при создании анимационных файлов облета Кисловодской котловины. Один из них проходит по течению реки Березовой, другой проложен по периметру котловины. Выделив маршрут с помощью стандартной клавиши Select Features, мы можем редактировать параметры облета в специальном меню Camera Flyby from Path (рис. 9.27). Программой задается высота облета в принятых в проекте единицах (Vertical offset), уровень упрощения визуализации (Simplification factor) и три варианта анимации:

- полет над выбранным маршрутом, при котором перемещаются и наблюдатель, и наблюдаемая цель (fly by);
- перемещение наблюдателя вдоль маршрута с зафиксированной целью;
- перемещение наблюдаемой цели по маршруту с зафиксированным положением наблюдателя.

При выборе первого варианта (облета местности) становятся доступными дополнительные параметры ориентации камеры (меню Orientation settings; рис. 9.27). В них включены:

- уровень охвата местности взглядом наблюдателя (Lookahead);
- горизонтальный угол наклона камеры в градусах (Azimuth), который можно задавать как в положительных (по часовой стрелке), так и в отрицательных (против часовой стрелки) значениях;
- вертикальный угол наклона камеры (Inclination), также задаваемый в градусах, положительных при наклоне камеры вверх и отрицательных — при наклоне вниз;
- крен отображаемой местности (Roll), задаваемый в градусах, положительных при наклоне влево и отрицательных — вправо.

Использование так называемого масштабного коэффициента (Scale factor) создает эффект покачивания — как при наблюдении за местностью с небольшого самолета.

Смоделировав подобный полет, мы можем просмотреть записанный видеоролик с помощью панели Animation Controls, а также сохранить его в анимационном формате программы для будущего использования (ArcScene Animation file — *.asa) (рис. 9.28). При этом данный формат сохраняет лишь количественные характеристики в виде координат выбранного маршрута облета и поэтому обладает небольшим размером. Просмотр анимационного файла *.asa осуществляется с отображаемыми на экране слоями ГИС.

Заключительным этапом работы с программой ArcScene может являться запись видеоролика в общепринятом формате *.avi, позволяющем просмотреть его на любом компьютере и использовать в дальнейшем для различных целей. Запись видеоролика осуществляется в процессе просмотра файла *.asa с помощью команды меню «Экспорт в видео» (Export to Video) панели Анимации (Animation), после чего возникает дополнительное окно, в котором задаются имя видеофайла и его свойства (рис. 9.29). При этом, как и показано на рисунке, рекомендуется уменьшить размер окна конечного файла для достижения приемлемого размера файла видеозаписи. Качество видеоролика регулируется с помощью дополнительного окна AVI Options, в котором указывается количество кадров в секунду и уровень качества изображения. После выполнения этой команды программа начнет запись ролика в режиме реального времени, причем продолжительность ролика устанавливается в специальном окне панели управления анимацией (Animation Control) (рис. 9.30). С использованием описанных выше возможностей программы ArcScene автором были созданы видеофайлы с моделированием облета Кисловодской котловины, пример которых приводится на рис. 9.31 и в работе, опубликованной в электронном сборнике «Археология и геоинформатика» (см. список литературы).

В заключение следует остановиться на общей проблеме, связанной с использованием трехмерных визуализаций в археологии. Существует мнение, что подобный род деятельности является лишь весьма затратной и в принципе бесполезной «игрушкой», не дающей никаких конкретных научных результатов. Позволим себе не согласиться с этим мнением. Мы, как и изучаемые нами древние люди, обитаем в трех пространственных измерениях. Представление археологической информации в трехмерном виде позволяет

по-новому взглянуть на нее, приблизиться к тому взгляду, которым обладали создатели древней материальной культуры. Подобный взгляд дает пищу для размышлений, заставляет нас задуматься о причинах того или иного размещения археологических памятников, залегания культурных слоев или распределения в них находок. Быть может, пока трехмерная визуализация археологических объектов не позволяет однозначно решить все эти вопросы, но потенциал данного направления в археологии представляется весьма существенным.

Поближе познакомиться с тем, как выглядят результаты трехмерного моделирования в ГИС, вам поможет пример 4.

Пример 4. Откройте карту с примером 4 (файл с `example_04.pmf` из папки `C:\Examples` или `d_examples_04.pmf` из папки `D:\Examples`). Убрав галочку, отключите слой рельефа 3D. Поочередно подключите и отключите аналитические слои карты, просматривая легенду к ним, расположенную в Таблице содержания:

- 1) слой результатов анализа уклона;
- 2) слой результатов анализа экспозиции склона;
- 3) слой результатов анализа обзора со всех памятников;
- 4) затем подключите снова слой рельефа 3D, не отключая слой обзора со всех памятников. Обратите внимание на разницу в представлении слоя обзора;
- 5) отключите слой обзора со всех памятников, оставив слой рельефа 3D. Поочередно подключите и отключите слои анализа степени обзора:
- 6) с памятников группы 1;
- 7) с памятников группы 2;
- 8) с памятников группы 3;
- 9) с памятников группы 4;
- 10) с помощью инструмента увеличения (`Zoom In`) увеличьте масштаб карты вокруг памятника 25 (левая точка с расходящимися от нее смоделированными линиями взгляда). Подключите слой анализа степени обзора с памятника 25, обратив внимание на совпадение видимых зон обзора с него на окрестные памятники с видимыми участками линий взгляда;
- 11) с помощью инструмента «Переместить» (`Pan`) перетащите карту налево, установив посередине окна памятник 6 (правая точка с расходящимися от нее смоделированными линиями взгляда). Отключите слой анализа обзора с памят-

ника 25 и подключите слой анализа обзора с памятника 6, обратив внимание на совпадение видимых участков.

Вернитесь к предыдущему масштабу карты, нажав клавишу Предыдущий экстенд (`Go Back`). Перейдите в окно вида Компонировки (`Layout View`) и повторите проделанные операции, обращая внимание на изменение легенды к карте.

Рассматриваемая в настоящей главе тема не имеет прямого отношения к геоинформатике. Однако мы считаем важным остановиться на основных методах геофизического обследования археологических памятников, поскольку это является своеобразным предисловием к заключительной главе настоящего пособия, посвященной мультидисциплинарному неразрушающему подходу к изучению объектов культурного наследия. Этот подход заключается в организации на памятниках археологии интегрированных проектов по их изучению, где геофизическим методам отводится едва ли не ведущая роль.

Применению некоторых геофизических методов в археологических исследованиях посвящен небольшой раздел в учебном пособии Ю.Л. Шаповой¹. Поэтому в данной главе будет уделено внимание как традиционным методам геофизики, так и возникшим в последние годы новым направлениям в ней. Желая поближе познакомиться с методикой и теоретическими основами геофизического обследования на археологических памятниках мы рекомендуем обратиться к специальной литературе, приводимой в списке. Наиболее современным из отечественных работ является теоретическое исследование И.В. Журбина, использовавшееся при написании данной главы (см. список литературы к главе 10).

10.1.

Общие сведения о геофизике

Итак, под геофизическими методами подразумевают набор методов исследования физических свойств грунтов. При этом в зависимости от объекта исследования различают глубинные и при-

поверхностные методы геофизического обследования. *Глубинные методы* применяются в геологических работах, когда с помощью геофизики ученые проникают в глубь земной коры на десятки километров. Разумеется, разрешающая способность подобных исследований крайне низка. Методы *приповерхностной геофизики* разрабатывались для изучения первых метров земной поверхности. Именно эти методы применяются в археологии, поэтому о них и будет идти речь далее.

Все геофизические методы можно разбить на несколько групп по виду изучаемых физических полей:

- магнитометрические, т.е. измеряющие магнитное поле Земли;
- электрометрические, базирующиеся на изучении удельного электрического сопротивления грунтов;
- гравиметрические, измеряющие силу земного притяжения;
- сейсмоакустические, изучающие распространение звуковой волны в земных недрах;
- термометрические, измеряющие температурные режимы земной коры;
- радиолокационные, наблюдающие за распространением радиоволн в земных недрах;
- методы, изучающие ядерно-физические свойства Земли.

При этом далеко не все методы применяются в археологических исследованиях. Наилучшие результаты для археологических исследований дает применение магнитной и электрометрической разведки, а также георадиолокации. Гравиметрические, сейсмоакустические, ядерно-физические и термометрические методы для полевых археологических исследований применяются достаточно редко и только в комплексе с электроразведкой или магниторазведкой. Это вызвано дороговизной аппаратуры, сложностью методики исследований, ограниченным кругом объектов, на которые реагирует аппаратура. Например, при гравиметрических исследованиях эффективно фиксируются только геологическая подоснова, исторические эколандшафтные формы, выявляются элементы палеорельефа, подземные пустоты большого размера, имеющие развитие по площади. Сейсморазведка эффективна при изучении внутреннего строения оборонительных сооружений, локализации подземных пустот и погребенных архитектурных объектов.

¹ Шапова Ю.Л. Естественнонаучные методы в археологии. М., 1988. С. 114–115.

10.2.

Причины применения геофизических методов в археологии

Использование геофизических методов, на первый взгляд весьма затратных с финансовой точки зрения, при исследовании археологических памятников обусловлено рядом причин. Во-первых, успешное использование геофизики позволяет сократить временные и финансовые затраты на раскопки памятника. При этом мы получаем предварительную информацию об объектах на памятнике для целенаправленного выбора минимального участка раскопок, что является основным принципом неразрушающей археологии. Кроме того, геофизическими методами можно получить информацию о памятниках, изучение которых с помощью археологических раскопок просто невозможно в силу их застроенности современными населенными пунктами, объектами инфраструктуры и т.д. К подобным объектам относятся исторические здания и памятники архитектуры, изучение которых возможно исключительно геофизическими неинвазивными методами.

Использование геофизических методов частично решает проблему охранных раскопок. Ввиду постоянного расширения инфраструктуры и территории городской застройки часто возникает проблема отвода под строительство участков, содержащих объекты археологии. Существующее законодательство предполагает археологическое согласование и выделение средств на охранные раскопки. Однако время, в течение которого возможны археологические раскопки, зачастую весьма ограничено. Единственным решением проблемы в данном случае является применение оперативных геофизических методов, в результате которых можно выделить перспективные участки отведенной под строительство территории для более тщательного исследования с помощью раскопок, а также менее перспективные в этом смысле участки, где можно ограничиться наблюдением за ходом строительства.

Таким образом, основными факторами, определяющими привлекательность геофизических методов для археологии, являются их оперативность, принцип сохранения объекта исследования, возможность существенного сокращения финансовых расходов и трудозатрат. В связи с этим использование неразрушающих геофизических методов в археологической практике научных исследований зарубежных и отечественных специалистов имеет давнюю традицию.

10.3.

Краткая история применения геофизических методов в зарубежной археологии

Пожалуй, первое засвидетельствованное применение геофизических методов в археологии относится к 1893 г., когда британский археолог А. Питт-Риверс использовал шуп для обнаружения рва на археологическом памятнике. Этот факт приводится в монографии А. Кларка, посвященной применению геофизического обследования в археологии (см. список литературы к гл. 10). Считается, что впервые геофизические измерения электрического сопротивления на археологических памятниках с применением специальных приборов были осуществлены в 1946 г. Ричардом Эткинсоном. Однако французским исследователем в области археологической геофизики А. Эссе приводятся факты первого использования электротомии французским археологом Робертом дю Месниль дю Бюиссоном еще в 1934 г. при обследовании могильника возле Парижа¹. Результаты этих работ никогда не публиковались на английском языке и были долгое время неизвестны широкой аудитории.

Магнитометрические обследования начались в 1958 г. Мартином Эйткенем, который впервые использовал протонный магнитометр. Модели этих приборов постоянно совершенствуются для получения лучшей разрешающей способности по фиксации малейших колебаний магнитного поля Земли. Революционным событием в области магнитометрии можно считать 1963 г., когда западногерманский археолог И. Схоллар применил дифференциальный сенсор, и 1966 г., когда им была разработана автоматическая цифровая запись магнитометрических данных. С этого момента применение магнитометрии является наиболее широко распространенным методом в археологических исследованиях за счет эффективности и относительной дешевизны.

С 1980-х гг. начинается первое использование методов георадиолокации в зарубежной археологии, которые также сейчас завоевали большую популярность благодаря высокой проникающей способности в глубь приповерхностных слоев, а также за счет получения адекватного трехмерного представления о «теле» археологического памятника.

¹ Hesse A. Count Robert du Mesnil du Buisson (1895–1986), a french precursor in geophysical survey for archaeology // Archaeological Prospection. 2000. Vol. 7. Issue 1. P. 43–49.

В настоящее время можно говорить о том, что археологическая геофизика оформилась в виде особого направления, как научного, так и коммерческого. Существует целый ряд компаний, предоставляющих на платной основе услуги по геофизическому обследованию археологических памятников. Этими компаниями (например, Bartington, GEM Systems, Geoscan, SIR и многие другие) распространяется геофизическое оборудование, в том числе и специально разработанное для археологов. Ссылки на адреса подобных компаний можно легко найти в сети Интернет.

Помимо коммерческого, существует и научный интерес к проблемам теоретического и практического применения геофизических методов в археологии. Объединению усилий специалистов в области археологической геофизики служит Международное общество археологического обследования с офисом в университете г. Брэдфорда (Великобритания) (см. список Интернет-ресурсов к гл. 10). Это общество проводит регулярные конгрессы "Archaeological Prospection", на которых обсуждаются проблемы археогеофизики. Информацию о результатах некоторых конгрессов на русском языке можно найти на страницах журнала «Российская археология» в виде хроники, подготовленной автором данного пособия¹.

10.4.

История применения геофизических методов в отечественной археологии

Применение геофизических методов в отечественной археологии также насчитывает уже более полувека. И.В. Журбин в цитируемой работе вслед за В.В. Глазуновым и А.К. Станюковичем выделяет несколько периодов ее применения (см. список литературы к гл. 10): экспериментальный (1950-е гг.), методический (1960-е гг.) и производственный (с 1970-х гг.).

После первых экспериментов 1950-х гг. наступил период фактического формирования отечественной археогеофизики (1960-е гг.). Он был связан в первую очередь с расширением арсенала геофизических методов, используемых в археологии, оценкой потенциала этих методов для изучения различных типов объектов, обсуждением методических и технических вопросов. Наиболее часто использовались различные модификации методов электрометрии и магниторазведки. Электрометрические исследования были свя-

заны с изучением античных построек и скифских склепов¹. Магниторазведка применялась при поиске, картировании и изучении гончарных печей на территории древнерусских памятников и средневековых памятников Крыма², картировании поселения трипольской культуры и могильников. Кроме электрометрии и магниторазведки, были использованы и другие геофизические методы изучения археологических памятников, например сейсморазведка и фосфатный анализ почв.

Начиная с 1970-х гг. археогеофизические исследования продолжают совместно с крупными специализированными геофизическими учреждениями³. В конце 1970-х гг. археогеофизика привлекала особое внимание Комиссии по применению методов естественных наук в археологии и Московского общества испытателей природы, под эгидой которых был проведен ряд конференций. Исследования этого периода характеризуются разнообразием типов изучаемых археологических объектов, датируемых в широком хронологическом диапазоне, а также расширением географии археогеофизических исследований.

Традиционно продолжались неразрушающие исследования памятников Северного Причерноморья. Основными объектами являлись преимущественно однослойные античные сельские поселения с рядовой структурой каменных построек и относительно небольшой мощностью культурных напластований⁴: античные виллы и усадьбы, остатки древних агротехнических сооружений, античные и средневековые гончарные центры и гончарные печи на их территории, поселения эпохи бронзы, погребальные памятники. Развивались геофизические исследования археологических памятников центральных и северо-западных районов России. Основными объектами исследований являлись средневековые поселения, их структура, планировка и отдельные объекты и сооружения на их территории. Археогеофизические исследования проводились и в других регионах — Армении, Таджикистане, Северном Кавказе,

¹ Шилик К.К. Опыт электроразведки методом симметричного электропрофилирования // СА. 1967. № 3.

² Шилик К.К. О магниторазведке гончарных печей у Чабан-Куле // КСИА. 1974. Вып. 140.

³ Колчин Б.А. Физико-математические методы в археологии // Новое в применении физико-математических методов в археологии. М., 1979; Станюкович А.К. Основные методы полевой археологической геофизики // Естественно-научные методы в полевой археологии. Вып. 1. М., 1997.

⁴ Станюкович А.К. Геофизические методы в архитектурно-археологических исследованиях // Вопросы исследования памятников архитектуры. М., 1990.

¹ См. список литературы к гл. 11.

Сибири, Украине. В последние годы российские специалисты в области археогеофизики проводили исследования и за рубежом.

В рассматриваемый период появилась тенденция многолетних и многоцелевых археогеофизических исследований, позволяющих разработать и апробировать методику измерений, математической обработки и методы интерпретации результатов для определенных категорий памятников археологии. На базе ежегодной комплексной археолого-геофизической экспедиции на территории ряда памятников были сформированы научно-исследовательские полигоны по применению неразрушающих геофизических методов. В экспериментах принимали участие ведущие исследовательские группы России и зарубежные специалисты. Примерами последовательных исследований одного памятника являются поселение Панское-I, грунтовые могильники Северного Кавказа, городище Чича-I. Группами аналогичных археологических объектов, которые были исследованы в рассматриваемый период, являлись античные памятники Крыма и архитектурно-исторические объекты и территории русских городов (см. соответствующие работы в списке литературы).

Такой подход не только обеспечивает более высокое качество археологической интерпретации геофизических данных, по сравнению с «однократными» исследованиями, но и позволяет совершенствовать геофизические методы в их археологическом применении. Необходимость и эффективность многолетних исследований на археолого-геофизических полигонах была подтверждена работами И.В. Журбина на средневековом городище-крепости Иднакар и многослойном Зуево-Ключевском I городище (Удмуртия), а также на поселении бронзового века Горный (Каргалинский горно-металлургический центр, Оренбургская область) (см. работы И.В. Журбина в списке литературы к гл. 10).

Постепенно в новых экономических условиях 1990-х гг. сложилось и коммерческое направление в археологической геофизике. В настоящее время в России полевые обследования с помощью археологической геофизики проводят ЗАО НПП «Геотехнология», Фонд подводных геофизических исследований (<http://www.geo-gadar.ru/index.php>), специалисты геологического факультета МГУ (<http://www.geor.ru>) и др.

10.5.

Использование магнитометрии в археологии

Остановимся подробнее на основных геофизических методах, применяемых в археологии. К таковым прежде всего относится

магнитометрия. Она основана на измерении магнитного поля Земли и выявлении его аномальной составляющей, которая определяется изменением естественной структуры верхних слоев грунта ввиду наличия в них объектов археологии. Археологические объекты характеризуются магнитными свойствами, отличающимися от магнитных свойств вмещающей среды. В соответствии с этим магниторазведка однозначно фиксирует местоположение объектов, которые подвергались термическому воздействию в древности (каменные стены сгоревших построек, остатки древних печей, горнов) (рис. 10.1), а также остатков кузнечного производства (железная окалина в слое, развалы шлака, очаги, зольники) и перекопов в материковом слое (ямы различного назначения, дренажные системы, рвы, котлованы). Менее уверенно фиксируются стены, дороги, траншеи, деревянные конструкции, канавы, шахты, «пятна» жилищ без каменной кладки.

К методам магнитометрии можно отнести *применение металлодетекторов в археологии*. В принципе это самый распространенный геофизический метод поиска металлических объектов, поскольку при этом используется наиболее дешевая аппаратура (стоимостью в несколько сотен долларов США), которая проста в использовании и не требует специальных знаний. Металлодетектор представляет собой «активный» инструмент — он генерирует электромагнитный сигнал и принимает его отражение. Прибор имеет ограничения как по набору изучаемых объектов (исключительно металлические предметы), так и по глубине проникновения сигнала. Кроме того, металлодетекторы весьма чувствительны к шумам, что выражается в большом количестве современных металлических объектов, попадающихся при обследовании. Следует отметить и некоторое психологическое ограничение в применении металлодетекторов археологами. Ведь это излюбленный инструмент современных искателей сокровищ, грабителей археологических древностей. Поэтому вопросы, связанные с регламентацией использования металлодетекторов при обследованиях археологических памятников, чрезвычайно остро стоят как перед отечественными, так и перед зарубежными учеными. В России применение металлодетекторов при археологических работах регламентируется Положением о порядке проведения археологических полевых работ (археологических раскопок и разведок) и составления научной отчетной документации, утвержденным решением Ученого совета Института археологии Российской академии наук от 30 марта 2007 г.

Правила использования металлодетектора при разведочных и раскопочных работах приводятся в пунктах 3.13. и 4.13¹.

Магниторазведка в археологии проводится с использованием специальных приборов: магнитометров. Когда-то это были первые электрические магнитометры, статично устанавливаемые над точкой измерения (рис. 10.2). В настоящее время используются квантовые магнитометры: протонные и цезиевые, отличающиеся разрешающей способностью и скоростью измерений. С их помощью можно осуществлять постоянную запись величины измеряемого магнитного поля в движении (рис. 10.3).

При этом важным моментом является разбивка на поверхности памятника сетки геофизических измерений и тщательная фиксация проходов по этой сетке, которые для увеличения скорости работ осуществляются во встречных направлениях (рис. 10.4). Эти правила работы с сеткой измерений (геофизики зачастую используют для нее термин «полигон») используются в процессе практически всех геофизических работ. Обычно разбивка осуществляется квадратами со сторонами 10 × 10, 20 × 20, 40 × 40, 50 × 50 м. Для обозначения квадратов на поверхности растягивается веревка с отметками для контроля над частотой измерений. Чем меньшая величина данной разметки, тем, с одной стороны, большая разрешающая способность у результатов обследования, но и, с другой стороны, большие трудозатраты на получение этих результатов. Как правило, измерения осуществляются с шагом в 1 м, реже в 2 м или 0,5 м. Геофизику в процессе полевой работы требуются помощники, которые переносят размеченный веревками полигон для ускорения процесса обследования (рис. 10.5). Важнейшим условием является жесткая топографическая привязка разбитых полигонов геофизического обследования для последующей увязки ее с сеткой раскопок. Для этого рекомендуется создавать единую сеть квадратов на памятнике, используемую геофизиками и археологами. Современные полевые методы позволяют добиться точнейшей топографической привязки геофизических участков обследования с помощью измерений GPS-приемников геодезического класса.

Популярность применения магнитометрии заключается прежде всего в том, что это, с одной стороны, достаточно дешевый способ археогеофизики (стоимость оборудования от 1500 до 10 000 \$), а с другой — весьма эффективный, поскольку он позволяет быстро

обследовать большие территории (за рабочий день от 0,5 до 1,5–2,0 га). К недостаткам данного метода можно отнести его чувствительность к шумам: на результаты магнитометрии имеет большое влияние электромагнитное излучение буквально всех объектов инфраструктуры (металлические изгороди, линии электропередач, автомобили, засоренность памятника современным металлическим мусором и т.д.). Кроме того, магнитометрия имеет ограниченность в характере магнитных аномалий у археологических объектов.

Ранее считалось, что с помощью магнитометрии можно обнаружить только те археологические объекты, магнитные свойства которых изменились после пребывания в огне (очаги, гончарные и металлургические печи, скопления керамики, сгоревшие деревянные или глинобитные постройки и т.д.). Однако современные магнитометры фиксируют мельчайшие перепады магнитного поля, они способны распознать, например, разницу в заполнении грунтовых столбовых или хозяйственных ям за счет большего содержания в них органики в отличие от вмещающего слоя. Поэтому магнитометрия в настоящее время является основным геофизическим методом обследования поселений и могильников разных эпох и географических широт. При этом следует учитывать, что данные магнитометрии отражают, как правило, информацию об аномалиях магнитного поля, лежащих на глубине 1–2 м от поверхности. Магнитометр способен различить на большей глубине лишь крупные объекты из черного металла (цветной металл не обладает особыми свойствами магнитного поля и не фиксируется с помощью магнитометра). Поэтому наилучшие результаты достигаются при исследовании однослойных поселений или могильников с неглубоко залегающими сооружениями.

Территорию, которая исследуется магнитометрией, следует предварительно освободить от современного металлического мусора, лежащего на поверхности и под дерном (с этой целью обычно используют металлодетекторы). Чтобы избежать искажений, вызванных влиянием современных объектов инфраструктуры, зачастую используют такой вид магнитометров, как градиентометр (рис. 10.6). Он представляет собой магнитометр с несколькими датчиками, расположенными у поверхности земли и приподнятыми над ее поверхностью на 1–2 м. Показания считаются одновременно с обоих пар датчиков, а затем вычисляется градиент — разница показателей магнитного поля пары датчиков. Поскольку

¹ См. Интернет: <http://archaeolog.ru/index.php?id=36>.

шумы современных электромагнитных излучений влияют на поднятый в пространстве датчик, эти показатели отсекаются при математической обработке данных магнитной съемки, и остаются лишь данные о магнитном поле приповерхностного слоя. Интерпретацию магнитометрической съемки полезно подкреплять данными каппаметрии — измерения магнитной восприимчивости геологических и археологических объектов, а также разных почвенных слоев непосредственно на изучаемом памятнике археологии.

В качестве небольших примеров использования магнитометрии на зарубежных и отечественных памятниках приводятся результаты масштабных работ польского исследователя Т. Хербича в Мемфисе (Египет), которые были прекрасно подтверждены результатами раскопок (рис. 10.7), а также работы французских исследователей в античном городе Дура-Эвропос в Сирии (М. Даба и др.), где проведенная на широкой площади магнитометрия позволила реконструировать план нераскопанной части города (рис. 10.8). В России следует упомянуть магнитометрические исследования германских геофизиков Х. Беккера и Й. Фассбиндера, о которых речь пойдет в следующей главе, измерения Й. Фассбиндера на аланских памятниках близ Кисловодска (рис. 10.9), а также яркие результаты, полученные в ходе исследований В.Г. Бездудным ряда поселений Курской и Ростовской области (рис. 10.10). Разумеется, список магнитометрических измерений на археологических памятниках этим не ограничивается: заинтересованный читатель легко найдет данную информацию в зарубежных изданиях (например, в трудах международной конференции “Archaeological Prospection” или в одноименном журнале), а также в отечественных публикациях (см., например, работы российских и украинских геофизиков, опубликованные в электронном издании «Археология и геоинформатика»).

Наконец, следует упомянуть еще одно достоинство магнитной съемки, которое заключается в том, что благодаря ее масштабности и наглядности именно она чаще всего используется в ГИС для последующего анализа и интерпретации данных о памятнике (рис. 10.11). Импорт магнитного плана памятника в программу ГИС в этом случае сопровождается выделением объектов, интерпретируемых как археологические, которые потом можно вывести в виде векторного полигонального слоя и использовать методы пространственного анализа для изучения закономерностей в размерах, форме и расположении тех или иных структур.

10.6.

Электроразведка в археологии

Электроразведка основана на изучении электрических свойств археологических объектов в среде, вмещающей эти объекты. Возможность практического применения электрометрических методов для изучения грунта обусловлена тем, что вмещающие грунты и объект, погруженный в них, различаются по удельному электрическому сопротивлению (рис. 10.12). При зондировании грунта методами электрометрии чаще всего применяются методы постоянного тока и низкочастотного электромагнитного поля.

Метод электрометрии позволяет исследовать практически все категории объектов — оборонительные сооружения, объекты в культурном слое (цоколи стен, отдельные камни, их скопления, нарушения и уплотненности почвенного слоя, котлованы жилищ, перекопы), архитектурные остатки и фундаменты, подземные пустоты, печи и очаги. Существенные трудности возникают при поиске методом электрометрии погребенных деревянных объектов и грунтовых погребений без конструкций. Следует также отметить, что на качество измерений при электрометрии существенно влияет ориентировка находящихся в земле объектов: наилучшие результаты достигаются, если измерения производятся в перпендикулярном направлении к вытянутым структурам (таким, как, например, стены каменных построек).

На археологических памятниках используется прежде всего электропрофилирование и площадное измерение сопротивления. Это достигается последовательным измерением сопротивления между двумя воткнутыми в землю электродами (рис. 10.13). При этом чем больше расстояние между электродами, тем глубже проникающая способность измерений.

Стоимость оборудования для электрометрии относительно невысока (от 1500 \$), но зависит от его конструктивных особенностей. Ведь следует отметить, что электрометрия — достаточно трудоемкий способ археогеофизики, поскольку занимает большее количество времени на перестановку измерительных приборов (электродов). Поэтому существуют технические усовершенствования, когда измерения осуществляются с несколькими парами электродов вручную (рис. 10.14) или с помощью механических устройств (рис. 10.15). В последнем случае измерения могут сопровождаться точной пространственной привязкой с помощью геодезических GPS-приемников, что сильно ускоряет работу, поскольку снимает

необходимость разбивки сети измерений на местности. Разумеется, стоимость подобных механизированных устройств весьма значительна.

Одной из особенностей электрометрии является постобработка ее результатов, когда на основе полученных профилей измерений электрического сопротивления методом интерполяции выстраивается план обнаруженных аномалий в приповерхностном слое. Поскольку измерения привязаны по глубине, можно получить достаточно объективную картину о залегающих на разных уровнях аномалиях, соотносящихся с археологическими объектами, путем операции так называемых «временных срезов» (time slice) (рис. 10.16). Данный метод получил название электротомографии, он позволяет получить весьма успешные результаты по выделению некоторых археологических объектов, вплоть до построения плана поселения на определенной глубине без археологических раскопок.

Электрометрия, как уже было сказано выше, применяется реже, чем магнитометрия, однако в упомянутых выше работах можно найти интересные примеры ее использования при изучении археологических памятников. Следует отметить, что данный метод наиболее успешно применялся советскими, а впоследствии и российскими геофизиками, чей высокий уровень в электрометрических приповерхностных измерениях является общепризнанным фактом в мировой науке. Не заостряя внимания на ставших уже классическими исследованиях К.К. Шилика, В.В. Глазунова, Т.Н. Смекаловой, остановимся на последних исследованиях И.В. Журбина, результаты которых публиковались в электронном издании «Археология и геоинформатика». Автором была разработана система многоэлектродного автоматизированного электроразведочного комплекса «Иднакар», разработанного в Физико-техническом институте УрО РАН (г. Ижевск), а также специализированная программная система для обработки и визуализации результатов измерений. Наиболее широко она применялась в процессе многолетних исследований на городище эпохи Средневековья Иднакар в Удмуртии, где был отработан значительный участок электрометрических измерений (рис. 10.17). В последние годы коллектив И.В. Журбина проводит интересные работы по интерпретации геоэлектрических профилей, которые с помощью добавления топографической информации приводятся в максимальное соответствие с археологическими профилями (рис. 10.18). Результаты компьютерной визуализации данных электропрофилирования позволили создать адекватные модели внутренних оборонительных сооруже-

ний городища (рвов и валов), которые в настоящее время неразличимы на поверхности (рис. 10.19).

10.7.

Георадарные исследования

Метод георадиолокации является одним из новейших способов изучения неоднородностей в приповерхностных отложениях Земли — ему около тридцати лет. Суть метода заключается в зондировании приповерхностных слоев радиоволнами на частоте от 20 до 1000 МГц «активным» способом — передающей и принимающей антенной (рис. 10.20). При этом измеряется скорость и глубина прохождения сигнала, которая меняется в зависимости от свойств грунта (наибольшая — сухой песок, наименьшая — сырая глина). Эти измерения позволяют выстроить георадиолокационный профиль, на котором в разрезе отражаются объекты, отличающиеся от вмещающей среды.

Георадарные исследования завоевывают все большую популярность как за рубежом, так и в России, несмотря на относительную дороговизну аппаратуры — ее стоимость варьируется от 10 000 до 50 000 \$ и выше. Ограничительным моментом в использовании георадиолокации являются несколько обстоятельств: это прежде всего присутствие так называемой «мертвой зоны», лежащей непосредственно под дерном, где антенны не успевают зафиксировать отраженный сигнал. В результате интерпретация профиля начинается с глубины, которая напрямую зависит от частоты антенны (у антенн меньшей частоты меньше и величина «мертвой зоны»). Кроме того, требуется математическая постобработка результатов для удаления шумовых эффектов в профиле, которая может существенным образом влиять на дальнейшую интерпретацию выявленных аномалий. Вообще же интерпретация георадарных профилей представляется сложной операцией, требующей специальной подготовки.

К числу достоинств данного геофизического метода следует отнести высокую разрешающую способность этих приборов, которые работают с шагом в 10–20 см, а также скорость обследования некоторыми типами георадаров, работа которых возможна как с помощью ручной тяги (рис. 10.21), так и с помощью передвижных механизмов (рис. 10.22). В последнем случае также применяется автоматическая запись пространственного расположения профилей с помощью геодезических GPS-приемников. Найти примеры российских работ

с подобными механизированными георадиолокационными комплексами можно на Интернет-сайте <http://www.geor.ru>.

Особым образом стоит проблема с записью георадарных данных, которая содержит гораздо больше информации, чем данные магнито- и электрометрии. Для этого создают сложные комплексы, состоящие из портативных компьютеров, подключенных к антеннам георадара, применяя зачастую весьма оригинальные устройства, как, например, использование австрийскими геофизиками для этой цели детской коляски с покрытием в виде солнечных батарей (рис. 10.23). Следует сказать, что эта проблема решена у разработчиков отечественной модели георадара «ЛОЗА», снабженной портативным герметичным записывающим устройством. Одной из особенностей этой модели является возможность глубокого обследования подповерхностного слоя с высокой разрешающей способностью. Однако эта точность достигается за счет относительно медленной работы, когда каждое измерение по профилю необходимо заносить вручную (рис. 10.24). Подробнее с этой моделью георадаров можно познакомиться на Интернет-сайте ее разработчиков¹.

Как уже упоминалось выше, первичные результаты георадиолокационного обследования представляют собой профили, на которых отражена скорость и глубина прохождения отраженного радиосигнала (рис. 10.25). Имея набор подобных профилей, можно построить методом итерполяции трехмерную модель обследованного участка местности и затем представить ее плановые разрезы на разной глубине благодаря процедуре “time slice” (рис. 10.26). Существуют специальные компьютерные программы подобной обработки георадарной информации. Наиболее распространенная из них принадлежит американскому геофизику Д. Гудману, изучавшему методами георадиолокации многочисленные археологические памятники разных континентов и эпох². На рис. 10.27 показана процедура создания послойных планов радиолокационных аномалий, соотносимых с залегающим под земной поверхностью археологическим объектом — катакомбным захоронением. Оработка данной методики на памятниках эпохи раннего Средневековья в Японии позволила без археологических раскопок определять тип залегающих под курганными насыпями каменных склепов (рис. 10.28). Примеры анимационных файлов с записью такой пошаговой процедуры создания планов залегающих на разной глубине архео-

логических объектов, полученные с помощью георадиолокации, приведены на рис. 10.29. Вы можете найти подобные модели культурного слоя и объектов разных эпох, исследованные геофизиками из МГУ А.А. Ключко и Д.Л. Шишковым, на их авторском сайте¹. В настоящий момент эта технология получила дальнейшее развитие в виде трехмерного моделирования разных составляющих археологического слоя, которые выделяются методом георадиолокации как объекты с разными свойствами (рис. 10.30).

Другой интересной особенностью интерпретации данных георадиолокации является возможность топографической коррекции — т.е. математических операций по изменению георадарного профиля в соответствии с неровностями обследованной поверхности земли (рис. 10.31). В этом случае у нас в руках оказывается более адекватная информация об аномалиях, что важно при исследовании методом георадиолокации выраженных в рельефе объектов, например курганных насыпей (рис. 10.32). Ярким примером использования методов топографической коррекции результатов георадарного профилирования с помощью модели «ЛОЗА» является неинвазивное исследование курганов Ставрополя и Кабардино-Балкарии (рис. 10.33). С.В. Меркуловым было разработано специальное программное обеспечение «КРОТ» для обработки результатов георадиолокации с возможностью построения поперечных разрезов (“time slice”) и осуществления топографической коррекции².

10.8.

Использование сейсморазведки в археологии

Сейсморазведка относительно редко применяется в археологии. Суть этого метода заключается в изучении упругих свойств подземных или подводных объектов за счет измерения времени прохождения упругой волны, возбуждаемой колебаниями земных недр. Для задач глубинной геофизики с этой целью используются взрывные устройства, закладываемые в шахты. Приповерхностная геофизика может удовлетвориться минимальными колебаниями, вызванными, например, вколачиванием деревянной сваи в землю. За счет измерений сейсмоакустический метод позволяет выявлять разницу в средах, вызванную пустотой, или погребенные каменные конструкции, сильно отличающиеся от вмещающей среды (рис. 10.34). Данный метод требует наличия специализированного и

¹ <http://www.geo-radar.ru/index.php>

² См. Интернет: <http://www.gpr-survey.com/gprslice.html>.

¹ См. Интернет: <http://www.geor.ru>.

² См. Интернет: <http://radar-stv.narod.ru/index.html>.

весьма дорогостоящего оборудования, иногда нескольких передвижных сейсмостанций. Сложность методики и ее высокая стоимость обусловили редкое использование данного метода в археологии. Одним из ярких примеров успешного применения сейсморазведки в комплексе с электроразведкой и магнитометрией служит изучение древних захоронений могильника Клин-Яр 3 возле Кисловодска, проведенное группой геофизиков в 1980-е гг.¹

Завершая краткий обзор использования геофизических методов в археологических исследованиях, следует указать на два важных момента. Во-первых, представляется очевидной необходимость тесного сотрудничества археолога и геофизика для достижения адекватного результата по неразрушающему обследованию археологических памятников. Только в ходе подобного сотрудничества удастся, с одной стороны, профессионально определить достоинства и ограничения выбранного геофизического метода, а с другой — добиться приемлемой интерпретации его результатов, адекватной изучаемым древностям. Вторым моментом является важность комплексного подхода к геофизическому обследованию археологических памятников. Именно сочетание разнообразных методов геофизики (в совокупности с другими неdestructивными методами) на одном памятнике позволяет достичь наиболее весомых результатов в интерпретации обнаруженных аномалий. При этом обычной стратегией является широкомасштабное обследование поверхности с помощью магнитометрии и затем более детальный анализ перспективных участков методами электротометрии и/или георадиолокации. Естественным ограничителем в широком распространении данного подхода является высокая стоимость геофизических работ, но мы считаем, что непременно следует стремиться к комплексности в использовании геофизики — ведь конечная стоимость полных раскопок интересующего Вас памятника будет заведомо выше и займет гораздо больше времени. Принципам этого комплексного подхода и его примерам посвящена заключительная глава данного пособия.

¹ Шрайбман В.И., Серкерев С.А., Сидельникова Т.А., Флеров В.С. Новое в применении магниторазведки и электроразведки при исследовании грунтовых погребений на Северном Кавказе // СА. 1988. № 1.

НЕДЕСТРУКТИВНЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД В СОВРЕМЕННОЙ АРХЕОЛОГИИ

11.1.

Международные принципы управления археологическим наследием

Мы подошли к заключительной теме в области применения геоинформатики в археологических исследованиях, которая напрямую связана с современными подходами к полевым и камеральным работам на памятниках археологии. Эти подходы сформировались в процессе осознания того факта, что культурное наследие не может рассматриваться в качестве собственности какой-либо державы, на территории которой оно располагается, но является достоянием всего человечества. Ведь, в самом деле, даже в XXI столетии продолжается варварское разрушение и разграбление культурных ценностей, иногда под прикрытием властных структур. Общеизвестен факт, когда в марте 2001 г. лидеры движения Талибан в Афганистане постановили декретом, что известный буддистский памятник в долине Бамиан является идолопоклонническим и поэтому должен быть уничтожен. В результате были стерты с лица земли уникальные скульптурные композиции, простоявшие 1200 лет, которые уже семь лет безуспешно пытаются реставрировать. А чего стоит разграбление археологических ценностей в музее Багдада в апреле 2003 г., произошедшее при фактическом попустительстве американских военных! Не говоря уже об огромном количестве фактов грабительского уничтожения археологических памятников, происходящих практически по всему миру¹.

Таким образом, положение об общечеловеческой ценности культурного наследия легло в основу всей международной правовой базы современной археологии. Эта база сформирована не-

¹ См. статьи Н.А. Макарова на сайте Института археологии РАН, Интернет: <http://www.archaeolog.ru/?id=28>; и В.И. Гуляева в журнале «Достояние поколений» № 1, 2006 и № 2, 2007, Интернет: <http://www.archaeology-russia.org/journal/>

сколькими европейскими и мировыми конвенциями, некоторые из которых подписаны и ратифицированы Российской Федерацией:

- Европейская культурная конвенция 1954 г. (Париж);
- Европейская конвенция по охране археологического наследия 1969 г. (Лондон);
- Конвенция ЮНЕСКО об охране всемирного культурного и природного наследия 1972 г. (Париж);
- Хартия по охране и использованию археологического наследия 1990 г. (IX Генеральная ассамблея Международного Союза по памятникам и достопримечательным местам);
- Европейская конвенция по охране археологического наследия 1992 г. (Валетто);
- Рамочная конвенция Совета Европы о значении культурного наследия для общества, подписанная 27 октября 2005 года в г. Фаро, Португалия.

Желающие ознакомиться детально с положениями этих документов могут легко найти их в глобальной сети. Вкратце перечисленные международные соглашения заложили следующие *принципы управления археологическим наследием*:

- законодательство каждой страны должно основываться на концепции, что археологическое наследие является наследием всего человечества;
- охрана археологического наследия должна основываться на самом полном знании о его существовании, численности и значимости (необходимость проведения инвентаризации памятников);
- законодательство страны должно обеспечивать охрану археологического наследия от разрушения в процессе строительства и от незаконных раскопок;
- приоритетным требованием является сохранение археологического наследия в мировом масштабе.

Перечисленные требования закладывают, таким образом, следующие *принципы современного полевого исследования*:

- основной принцип — это признание того, что при сборе информации о памятнике его разрушение должно быть минимальным;
- неразрушающие (недеструктивные) методы должны применяться всюду, где это возможно;
- раскопки должны проводиться предпочтительно на памятниках,

обреченных на разрушение антропогенными и природными причинами;

- в исключительных случаях раскопки могут производиться для решения исследовательских проблем после глубокого анализа потенциала памятника;
- при этом раскопки должны затрагивать лишь часть памятника, сохраняя в неприкосновенности участки для будущих исследований.

Исходя из этих принципов формируется современный подход к полевому и камеральному изучению археологических памятников, названный *мультидисциплинарным*, когда для решения археологических вопросов привлекается максимальный набор естественно-научных методов, позволяющих с минимальными археологическими раскопками или без них решить встающие перед исследователем задачи. Этот подход приобрел широкое направление за рубежом и в нашей стране, о чем говорит, например, создание специальных секций, посвященных современным мультидисциплинарным полевым и камеральным исследованиям, в рамках прошедших недавно Всероссийских археологических съездов в Новосибирске (2006 г.) и Суздале (2008 г.).

11.2.

Комплексные проекты в археологии

В зарубежной литературе для обозначения подобного подхода можно встретить также термин «*комплексный проект*» (*integrated project*). Под этим термином в широком смысле можно понимать любое современное археологическое исследование, предполагающее комплексность методов — сочетание классических методов археологии с различными методами естественных наук. Однако в узком смысле комплексный проект — это объединение в полевом и камеральном исследовании результатов обработки данных дистанционного зондирования, геофизического обследования, археологического почвоведения и археологических раскопок памятника, которое происходит на базе ГИС (рис. 11.1). Таким образом, геоинформатика является связующим звеном для использования самых разнообразных методик, поскольку именно она обеспечивает единое пространственное представление результатов мультидисциплинарного исследования, что позволяет соотносить их с кон-

кретными археологическими объектами. В результате комплексные проекты позволяют изучать археологические древности неdestructивными методами, поскольку дают представление о планиграфии памятника и особенностях располагающихся на нем различных объектов, что позволяет выработать стратегию дальнейшего полевого изучения памятника с наименьшими разрушениями его в процессе раскопок.

Можно приводить огромное количество примеров комплексных проектов, которые в последние два десятилетия проводились в различных странах. Для западноевропейской археологии и ее школ в Азии данный подход стал уже практически единственно возможным. В российской науке дела в области неdestructивной археологии обстоят не столь благополучно, но также налицо происходящие изменения в принципах полевого исследования, стремящегося сохранить для потомков объекты культурного наследия. Примеры подобных полевых исследований можно найти в различных публикациях, например в электронном издании «Археология и геоинформатика».

Приводимые ниже несколько примеров комплексных проектов на археологических памятниках Австрии и России ни в коей мере не претендуют на всеобъемлющий охват данного направления. Австрийский опыт избран здесь лишь в качестве сложившейся технологии в подходе к изучению большинства археологических памятников этой страны сегодня. Данный подход образовался в процессе сотрудничества специалистов Венского университета и других научных заведений в области изучения данных дистанционного зондирования (М. Донеус), археологической геофизики (В. Нёбауэр) и геоинформатики (А. Эдер-Хинтерлейтнер). В результате их совместных работ с археологами — специалистами по различным культурам и типам памятников — ежегодно проводится большое количество неdestructивных обследований, позволяющих получить новые знания и уточнить старые представления о памятниках. Основные методические принципы работы и практические их результаты подробно опубликованы авторами. Там же заинтересованный читатель найдет немало примеров подобных исследований в Европе, Азии и Америке. Рекомендуем также ознакомиться с другими изданиями докладов международного конгресса “Archaeological Propection”, приводимых в списке литературы к главе 11.

11.3.

Примеры комплексных проектов в Австрии

К числу наиболее часто привлекающихся в качестве объектов для комплексных исследований следует назвать неолитические круги, представляющие собой серии концентрических рвов с проходами, оформленными по сторонам света. Данный вид памятников был открыт в 1970-е гг. с помощью аэрофотосъемки, в настоящий момент картографированы сотни подобных объектов на территории Центральной Европы. Памятники изучались и в процессе раскопок одним из ведущих специалистов — открывателей этих монументов — австрийским археологом Герхардом Трнкой. В результате комплексного использования данных дистанционного зондирования и геофизики были изучены круги возле населенных пунктов Шлец, Хорнсбург, Пуш и многие другие. Яркие результаты комплексного изучения *круга Пуш* приводятся здесь в качестве иллюстраций. Прежде всего проводилась интерпретация аэрофотоснимка, на котором была выделена целая серия возможных археологических объектов, в том числе и два круга эпохи неолита. На базе этого снимка была создана ГИС памятников окрестностей Пуш (рис. 11.2). Затем, имея пространственные координаты выявленных по аэрофотосъемке объектов, проводилось геофизическое обследование одного из кругов методом магнитной съемки (рис. 11.3). В результате были уточнены границы памятника и построена его трехмерная компьютерная модель. Эта модель, созданная по данным геофизического обследования, послужила основой для трехмерной реконструкции объекта (рис. 11.4). В результате была предпринята оригинальная методика по обозначению объекта на поверхности: периметр рвов был засеян горчицей, чтобы их контуры выделялись на местности (рис. 11.5, а). На памятнике также проводились мероприятия с участием австрийских школьников, в ходе подготовки к которым рвы обозначались в виде незасаенных сельскохозяйственными культурами дорожек (рис. 11.5, б). Это прекрасный пример неdestructивного использования археологического памятника в качестве объекта музейного показа.

Другим ярким примером масштабного применения неdestructивных методов является памятник мирового значения — крупнейший римский военный лагерь на Дунае *Карнунтум*. Его раскопки проводились не один десяток лет с середины XIX в., в результате чего в настоящее время на территории памятника имеется музей

под открытым небом. Однако обширные участки памятника попадают под современные сельскохозяйственные владения. Эти участки изучались методами геофизики в ходе долговременных комплексных работ, превративших Карнунтум в настоящий полигон по отработке современных недеструктивных методов изучения археологических памятников (рис. 11.6). Некоторые участки многократно обследовались разными моделями магнитометров и георадаров, результаты обследований сопоставлялись с данными аэрофотосъемки. В итоге было картографировано большое количество построек сопровождавших римский лагерь поселений (рис. 11.7). В некоторых случаях, используя комплексные методы, исследователям удалось аргументированно реконструировать находящиеся под землей архитектурные сооружения, связав их с уже раскопанными участками форума римского времени (рис. 11.8). Благодаря точной пространственной привязке, полученной с помощью геодезических GPS-приемников, все результаты геофизических обследований и интерпретаций аэрофотосъемки сформировали ГИС археологического комплекса Карнунтума. В настоящее время создана трехмерная компьютерная визуализация архитектурных объектов этого уникального памятника, в которой использованы данные многолетних комплексных исследований¹.

11.4.

Примеры комплексных проектов в России

Организация комплексных проектов в нашей стране началась примерно в то же время, что и за рубежом — в начале 1990-х гг., но долгое время они не получали широкого распространения в силу недостатков системы финансирования науки и возникшей в результате этого некоторой технической отсталости. Можно с уверенностью сказать, что эти времена уже в прошлом, и сегодняшние мультидисциплинарные проекты по изучению археологического наследия Российской Федерации ведутся не менее успешно, чем в Европе или Америке. Заинтересованный читатель может найти информацию о подобных проектах, организованных археологами из Москвы, Новосибирска, Санкт-Петербурга и других научных центров, самостоятельно или в сотрудничестве с зарубежными коллегами. Мультидисциплинарный подход в археологии дает наиболее значимые результаты при проведении современных полевых ис-

следований². Комплексные проекты, включающие изучение данных дистанционного зондирования, результаты геофизического и почвоведческого обследования, объединенные в ГИС, стали повседневностью. Ниже приводится несколько примеров таких работ.

Пожалуй, одним из первых комплексных проектов, предполагающих недеструктивное обследование археологического памятника с привлечением максимального спектра современных методик, были работы на *Маяцком селище*, проводившиеся Институтом археологии РАН под руководством Г.Е. Афанасьева¹. Данный памятник был выбран в качестве полигона для отработки методики исследования прежде всего потому, что он был изучен в ходе многолетних работ Советско-Болгаро-Венгерской экспедиции ИА АН СССР, когда раскопками было исследовано 50 жилых и хозяйственных построек селища возле знаменитой Маяцкой крепости. Накопленная информация позволяла определить основные типы археологических объектов, которые могут быть выявлены дистанционными методами по результатам дешифрирования аэрофотоснимка.

С этой целью для локализации выделенных объектов вся территория памятника, отображенная на аэрофотоснимке, была покрыта условной сеткой квадратов, которые имели размер 1 × 1 см на снимке и приблизительно 120 × 120 м на местности (рис. 11.9). Каждый квадрат был оцифрован в Институте космических исследований РАН и затем обработан при помощи программно-аппаратного комплекса MAGISOFT и пакета программ EгMapper 5.5. Выявленные по яркостным характеристикам пятна, сопоставимые по характерным формам и размерам с известными сооружениями, были описаны и привязаны к условным реперам на аэрофотоснимке. По результатам проведенного дешифрирования аэрофотоматериалов в 1994 и 1995 гг. была организована археологическая экспедиция, целью которой была проверка на местности правильности выводов, сделанных в ходе камеральных работ.

В процессе полевых работ последовательно решались задачи привязки результатов дешифрирования к местности и проведения

¹ См., например: Алешинская А.С., Кочанова М.Д., Макаров Н.А., Спиридонова Е.А. Становление аграрного ландшафта Суздальского Ополя в средневековье (по данным археологических и палеоботанических исследований) // РА. 2008. № 1; Дервянко А.П., Молодин В.И., Шуньков М.В. Мультидисциплинарные исследования Института археологии и этнографии Сибирского отделения РАН за последнее десятилетие // РА. 2005. № 2.

² Афанасьев Г.Е., Зотько М.Р., Коробов Д.С. Первые шаги “космической археологии” в России (к дешифровке Маяцкого селища) // РА. 1999. № 2.

¹ См. Интернет-сайт: http://www.limes.co.at/index_en.php?sub=carnuntum_en.

собственно раскопочных работ. Для точной привязки пятен масштабно-координатная сетка, использованная при оцифровке и анализе изображений, была разбита на территории памятника. Дальнейшая привязка объектов проводилась внутри полученных квадратов. Используя замеры, сделанные по снимку, на площади тестовых участков местности были реперами отмечены центры предполагаемых объектов. Затем несколько объектов в разных квадратах были отобраны для раскопок. Критериями для отбора послужили расположение объектов на интересующих участках рельефа, а также форма, размеры и читаемость их при дешифрировании.

В итоге работ 1994–1995 гг. удалось обнаружить три новых постройки салтово-маяцкой культуры и гончарный комплекс. Они были намечены к исследованиям на разных участках Маяцкого селища в целях отработки методики дешифрирования. Присклонный участок на северо-восточной окраине памятника (квадрат Г9) содержал несколько характерных пятен, одно из которых принадлежало постройке 51 (рис. 11.10). На поверхности в этом месте наблюдалась западина от котлована постройки, исследованной раскопками (рис. 11.11). Другой участок относился к ровной местности, не подвергавшейся распашке и сохранившей благодаря этому следы археологических объектов на поверхности. Одно из пятен в кв. В8 характерной формы и размеров было выбрано в качестве объекта исследования (рис. 11.12), локализовано на местности и раскопано. Перед раскопками было отмечено присутствие влаголюбивого травяного покрова, характерного для растительности в котлованах построек. В результате полевых работ была расчищена постройка 52, в которой был устроен гончарный комплекс (рис. 11.13). Наконец, третьим участком была выбрана подвергавшаяся многолетней распашке часть Маяцкого селища, на которой в кв. Е5 было выделено пятно предполагаемой постройки (рис. 11.14), не имевшее никаких визуальных признаков на поверхности. В результате была обнаружена и исследована постройка 53, внутри которой сохранилась печь с боковой топочной камерой (рис. 11.15). Следует отметить, что работы по топографической локализации объектов на местности сильно осложнялись отсутствием GPS-приемников, которые помогли бы решить поставленную задачу с большим успехом.

Многолетний мультидисциплинарный проект по исследованиям *Каргалинского древнего горно-металлургического меднорудного центра эпохи бронзы*, проводившийся в 1990–1999 гг. экспедицией

Института археологии РАН под руководством Е.Н. Черныха, в настоящее время получил широкое освещение благодаря многотомной публикации (см. список литературы к гл. 11)¹. Этот уникальный регион представляет собой гигантский производственный, горнодобывающий и металлообрабатывающий комплекс. Специфический характер археологических объектов данного региона — прежде всего следов древних горнопроходческих работ, находящихся на поверхности, — обусловил характер комплексной методики их изучения, применявшейся в ходе работы над проектом. В большинстве случаев археологам приходилось иметь дело с вертикальными и горизонтальными проходками песчаниковых пород (шахтами и штольнями), устроенными древним населением для достижения рудных тел. Следы этих объектов распознавались на аэрофотосъемке и космических снимках (рис. 11.16, а), что позволило составить общее представление об ареале данного феномена и проверить выводы при осмотре шахт и штолен на поверхности (рис. 11.16, в). Некоторые участки при полевом обследовании тщательно картографировались — составлялись планы подземных штолен (рис. 11.16, б).

Особое внимание исследователи сосредоточили на комплексном изучении поселка металлургов эпохи позднего бронзового века — селище Горный. Прежде всего на памятнике была устроена единая координатная сетка для привязки раскопанных и нераскопанных участков и соотнесения их с данными недеструктивных обследований. Эти обследования велись в течение нескольких сезонов с помощью электрометрии коллективом геофизиков под руководством И.В. Журбина, что оказало важное, а порой и решающее влияние на планирование раскопочных работ. Электрометрия осуществлялась с использованием автоматизированного электроразведочного комплекса «Иднакар», разработанного в Физико-техническом институте УрО РАН (рис. 11.17, а). Геофизиками ставились две основные цели: определение границ и общей планировки поселения Горный и определение структуры и границ археологических объектов, выделенных на территории памятника. Общая площадь исследования составила более 9000 кв. м, в результате чего был получен электрометрический план поселения (рис. 11.17, б). Выделенные по результатам геофизического обследования аномалии исследовались раскопками. При этом использовался макси-

¹ Пользуемся случаем выразить глубокую благодарность Е.Н. Черныху за возможность использовать в данном издании неопубликованные материалы.

мально полный спектр данных, полученных методами естественных наук — палинологией, археозоологией, антропологией, спектральным и радиоуглеродным анализами и т.д. Результаты раскопок визуализировались с помощью компьютерных технологий, создавались трехмерные модели изученных объектов (рис. 11.18). В ходе проекта были получены обширные материалы, обобщение и интерпретация которых опубликованы в пятитомной коллективной монографии «Каргалы» (см. список литературы к гл. 11).

Городище Чича (эпоха поздней бронзы — раннего железного века) в Барабинской степи (рис. 11.19) — яркий пример удачного сочетания в одном проекте комплексных геофизических исследований и тестовых археологических раскопок. Совместные исследования Института археологии и этнографии СО РАН с Германским археологическим институтом проводились на памятнике под руководством В.И. Молодина в 1999–2000 гг., через 20 лет после его открытия. Широкомасштабные магнитометрические исследования на городище велись немецкими геофизиками Х. Беккером и Й. Фассбиндером, в результате чего была выявлена уникальная планиграфия памятника (рис. 11.20). Всего магнитометрической съемкой было охвачено более 23 га, в результате чего площадь памятника, выявленного в ходе магнитометрии, по сравнению с известной благодаря выраженным в рельефе объектам и наблюдению за распространением подъемного материала, увеличилась в пять раз.

Было намечено несколько объектов для небольших раскопок, которые более детально исследовались с помощью магнитометрии (рис. 11.21, а). Перед началом работ российскими геофизиками дополнительно проводилось электрометрическое обследование территории будущего раскопа, выстраивались геоэлектрические разрезы (рис. 11.21, б) и разноглубинные срезы, построенные по принципу *time slice* (рис. 11.22). В итоге комплексных геофизических работ была получена детальная информация о форме и глубине залегающих в земле археологических объектов, которая была блестяще подтверждена археологическими раскопками (рис. 11.23). В настоящий момент исследования городища Чича можно считать эталонными по отработке методики неинвазивного изучения археологического памятника комплексными геофизическими методами.

Одним из ярких примеров комплексного подхода к изучению памятников археологии стали недавние работы на *крепости эпохи*

*раннего Средневековья Пор-Бажын*¹, расположенной на острове посреди озера Тере-Холь, на юго-востоке Тувы, в труднодоступном районе Восточных Саян (рис. 11.24). Впервые памятник упоминается в 1701 г. историком и этнографом Сибири С.У. Ремезовым в «Чертежной книге Сибири». В 1891 г. памятник впервые был обследован этнографом и археологом Д.А. Клеменцем, который первый отметил его сходство с древним уйгурским городом Кара-Балгасун (Монголия). Памятник занимает практически весь остров и имеет площадь 3,5 га. В 1957–1963 гг. на памятнике работала Тувинская экспедиция Института этнографии АН СССР под руководством С.И. Вайнштейна. На основании находок и по ряду аналогий С.И. Вайнштейн, вслед за Д.А. Клеменцем и другими учеными, датировал Пор-Бажын серединой VIII в. н.э., т.е. временем Уйгурского каганата.

Новый этап в изучении крепости Пор-Бажын наступил в 2007–2008 гг., когда под патронажем Министерства по чрезвычайным ситуациям РФ были организованы мультидисциплинарные исследования, на настоящий момент наиболее полно отвечающие принципам современного неинвазивного подхода к изучению археологических памятников. Впервые археологическое изучение памятника включило все современные естественно-научные методы (геофизические, гидрологические, почвенные, планиметрические), которые позволили получить и сохранить обширную и разнообразную информацию о памятнике.

До начала археологических работ было сделано лазерное сканирование всего острова и памятника с помощью технологии LIDAR, в результате которого были созданы топографический план и трехмерная цифровая модель объекта (рис. 11.25, а). Полученная цифровая модель стала основой для пространственной привязки всех дальнейших комплексных работ на памятнике. Эти работы включали археологическое исследование памятника и его окрестностей; планиметрические исследования памятника и всего острова (топографическая съемка и лазерное сканирование); геофизические, гидрологические и почвенные исследования с целью создания палеоландшафтных реконструкций; разработку комплексных мер по консервации и реставрации памятника, а также по сохранению территории острова; рекреационные исследования с целью сохранения историко-культурного и природного наследия; разработку концепции музеефикации памятника.

¹ Выражаем глубокую признательность И.А. Аржанцевой за предоставленные материалы неопубликованных исследований.

Геофизическое обследование острова и акватории озера методами магнитометрии и электроразведки позволило выявить в крепости места аномалий, перспективных для обнаружения археологического материала. Была построена геофизическая модель строения острова и озера, сделана палеоландшафтная реконструкция древней акватории озера.

Гидрологические изыскания дали возможность построить карту глубин озера, сделать оценку его водного баланса и среднесрочный прогноз поведения его уровня, а также определить современные гидрохимические и гидробиологические характеристики озерной воды. Геоморфологические исследования включали в себя бурение дна озера и датирование озерных осадков. В результате в озерных отложениях обнаружены следы пожара, разрушившего крепость. Установлена история колебаний уровня озера Тере-Холь, а также то, что остров образовался лишь незадолго до строительства крепости.

С помощью почвенных исследований были изучены строительные материалы. Они оказались местными, добытыми из разных источников: глинобитные стены были построены из озерных илов, а черепица и кирпичи изготавливались из береговых отложений. Были реконструированы микроландшафтные условия на острове на момент строительства.

В соответствии с программой изучения памятника Пор-Бахын было определено шесть ключевых объектов, на которых производились археологические раскопки: центрального комплекса, элементов фортификации, северных и южных дворов, внутренних («Церемониального») и внешнего двора (рис. 1.25, б). В ходе раскопок были уточнены особенности применявшейся строительной техники, обнаружены многочисленные архитектурные детали строения (рис. 11.26, а). Это позволило провести достоверную компьютерную реконструкцию архитектурных сооружений, выполненную в виде трехмерной модели (рис. 11.26, б–в).

Таким образом, применение мультидисциплинарного подхода в изучении крепости Пор-Бахын позволило получить в кратчайшие сроки большой объем новой информации, что послужило ее дальнейшему сохранению как уникального памятника истории культуры.

Мы завершаем этот краткий обзор некоторыми результатами исследования поселений с симметричной планировкой в Кисловодской котловине. Первый из этих ярких памятников кобанской культуры

эпохи позднего бронзового — раннего железного века был открыт автором в 1999 г. на правом берегу р. Березовой и получил название поселение Правоберезовское 9. В 2003 г. в процессе дешифрирования аэрофотосъемки долин рек Березовой и Кабардинки была выявлена структура этого поселения, оставшаяся на тот момент не совсем ясной и потому неопубликованной (рис. 11.27).

В 2004 г. начался новый этап в изучении памятников этого типа. В процессе совместных экспедиционных работ, ведущихся Институтом археологии РАН и Германским археологическим Институтом (руководители Д.С. Коробов и С. Райнхольд), сначала на поверхности, а затем на нескольких аэрофотоснимках были обнаружены аналогичные поселения с симметричной планировкой — центральной площадью, окруженной со всех сторон рядом домов (рис. 11.28). Все эти поселения расположены к югу от Кисловодска, на плоскогорье, на высоте 1400–2400 м. Полевое обследование нескольких десятков подобных памятников позволило изначально связать видимые на аэрофотосъемке объекты с существующими развалинами каменных стен, покрытыми растительностью и возвышающимися на 0,5–0,8 м над поверхностью. В 2005–2008 гг. А.Б. Белинским (ГУП «Наследие» Минкультуры Ставропольского края) и С. Райнхольд была проведена масштабная археологическая разведка в верховьях Кумы и Подкумка, в ходе которой были проверены результаты дешифрирования аэрофотоснимков и первично обследовано 120 поселений из 160, распознающихся на аэрофотосъемке благодаря остаткам видимой на поверхности архитектуры. Итогом этой работы стал ГИС памятников кобанской культуры, расположенных в междуречье верховьев Подкумка и Кумы (рис. 11.29). Пространственный анализ этой информации позволил выявить закономерности в размещении поселений с симметричной планировкой (см. список литературы к гл. 11).

В процессе разведочных работ специалистами ГУП «Наследие» А.В. Довгалевым, С.В. и Е.С. Меркуловыми осуществлялась микротопографическая съемка рельефа с помощью лазерного тахеометра (рис. 11.30). В результате получена точная топографическая основа для последующего наложения любой информации, будь то аэрофотоснимки или результаты геофизических изысканий (рис. 11.31).

На поселениях Кабардинка 2 и 3 специалистами ГУП «Наследие» велись исследования методами георадиолокационного профилирования (использовалась отечественная разработка — георадар «ЛОЗА»). При этом было обследовано несколько участков с выраженными в рельефе архитектурными сооружениями и без них, а

Геофизическое обследование острова и акватории озера методами магнитометрии и электроразведки позволило выявить в крепости места аномалий, перспективных для обнаружения археологического материала. Была построена геофизическая модель строения острова и озера, сделана палеоландшафтная реконструкция древней акватории озера.

Гидрологические изыскания дали возможность построить карту глубин озера, сделать оценку его водного баланса и среднесрочный прогноз поведения его уровня, а также определить современные гидрохимические и гидробиологические характеристики озерной воды. Геоморфологические исследования включали в себя бурение дна озера и датирование озерных осадков. В результате в озерных отложениях обнаружены следы пожара, разрушившего крепость. Установлена история колебаний уровня озера Тере-Холь, а также то, что остров образовался лишь незадолго до строительства крепости.

С помощью почвенных исследований были изучены строительные материалы. Они оказались местными, добытыми из разных источников: глинобитные стены были построены из озерных илов, а черепица и кирпичи изготовлялись из береговых отложений. Были реконструированы микроландшафтные условия на острове на момент строительства.

В соответствии с программой изучения памятника Пор-Бажын было определено шесть ключевых объектов, на которых производились археологические раскопки: центрального комплекса, элементов фортификации, северных и южных дворов, внутреннего («Церемониального») и внешнего двора (рис. 1.25, б). В ходе раскопок были уточнены особенности применявшейся строительной техники, обнаружены многочисленные архитектурные детали строений (рис. 11.26, а). Это позволило провести достоверную компьютерную реконструкцию архитектурных сооружений, выполненную в виде трехмерной модели (рис. 11.26, б–в).

Таким образом, применение мультидисциплинарного подхода в изучении крепости Пор-Бажын позволило получить в кратчайшие сроки большой объем новой информации, что послужило его дальнейшему сохранению как уникального памятника истории и культуры.

Мы завершаем этот краткий обзор некоторыми результатами исследования *поселений с симметричной планировкой в Кисловодской котловине*. Первый из этих ярких памятников кобанской культуры

эпохи позднего бронзового — раннего железного века был открыт автором в 1999 г. на правом берегу р. Березовой и получил название поселение Правоберезовское 9. В 2003 г. в процессе дешифрирования аэрофотосъемки долин рек Березовой и Кабардинки была выявлена структура этого поселения, оставшаяся на тот момент не совсем ясной и потому неопубликованной (рис. 11.27).

В 2004 г. начался новый этап в изучении памятников этого типа. В процессе совместных экспедиционных работ, ведущихся Институтом археологии РАН и Германским археологическим Институтом (руководители Д.С. Коробов и С. Райнхольд), сначала на поверхности, а затем на нескольких аэрофотоснимках были обнаружены аналогичные поселения с симметричной планировкой — центральной площадью, окруженной со всех сторон рядом домов (рис. 11.28). Все эти поселения расположены к югу от Кисловодска, на плоскогорье, на высоте 1400–2400 м. Полевое обследование нескольких десятков подобных памятников позволило изначально связать видимые на аэрофотосъемке объекты с существующими развалинами каменных стен, покрытыми растительностью и возвышающимися на 0,5–0,8 м над поверхностью. В 2005–2008 гг. А.Б. Белинским (ГУП «Наследие» Минкультуры Ставропольского края) и С. Райнхольд была проведена масштабная археологическая разведка в верховьях Кумы и Подкумка, в ходе которой были проверены результаты дешифрирования аэрофотоснимков и первично обследовано 120 поселений из 160, распознающихся на аэрофотосъемке благодаря остаткам видимой на поверхности архитектуры. Итогом этой работы стал ГИС памятников кобанской культуры, расположенных в междуречье верховьев Подкумка и Кумы (рис. 11.29). Пространственный анализ этой информации позволил выявить закономерности в размещении поселений с симметричной планировкой (см. список литературы к гл. 11).

В процессе разведочных работ специалистами ГУП «Наследие» А.В. Довгалевым, С.В. и Е.С. Меркуловыми осуществлялась микротопографическая съемка рельефа с помощью лазерного тахеометра (рис. 11.30). В результате получена точная топографическая основа для последующего наложения любой информации, будь то аэрофотоснимки или результаты геофизических изысканий (рис. 11.31).

На поселениях Кабардинка 2 и 3 специалистами ГУП «Наследие» велись исследования методами георадиолокационного профилирования (использовалась отечественная разработка — георадар «ЛОЗА»). При этом было обследовано несколько участков с выраженными в рельефе архитектурными сооружениями и без них, а

Мы завершаем экскурс в мир геоинформатики, в ходе которого были рассмотрены основные принципы ее применения в археологических исследованиях. Эти пришедшие из области «новой географии» методы, казавшиеся революционными двадцать с лишним лет назад, становятся такими же привычными, как и заимствованный из геологии стратиграфический метод, или адаптированный из биологии метод типологический. И это неслучайно — ведь археология активно пользуется достижениями других наук уже много десятилетий. С середины XX в. археологи используют новейшие методы физики и химии, которые помогают определять возраст древностей (радиоуглеродный метод), дают возможность узнать состав металлических сплавов или стеклянных изделий (спектральный анализ). Вот уже пятьдесят с лишним лет при раскопках на поселениях и могильниках применяют геофизические приборы и методы — магнитометры, электрометрию, георадары — которые помогают без раскопок «заглянуть» под землю, узнать, где находятся наиболее перспективные для дальнейшего изучения места. В конце прошлого столетия в археологию проникают новейшие открытия в области генетики (изучение геномов древнего человека, дающих представление о родственных связях, об этническом происхождении) или биохимии (изотопный анализ человеческих останков — с его помощью можно узнать о месте, в котором человек родился и вырос, благодаря отложению в костях химических элементов потребляемой человеком воды).

И, конечно же, не остались в стороне от археологии новейшие компьютерные технологии, активно развивающиеся на планете последние тридцать—сорок лет. Еще в конце 1950-х гг. среди археологов были популярны методы комбинаторики и математической статистики. С их помощью ученые пытались обобщить и осмыслить накопившиеся к этому времени огромные массивы археологической информации. Количество ее в археологии, как и в других науках, росло столь стремительно, что этот процесс получил название «информационного взрыва». В этот момент — с рубежа 1960-х — 1970-х гг. — на помощь кисточке и лопате приходят электронно-вычислительные машины.

Первые компьютеры, как известно, были очень громоздкими, дорогими и сложными устройствами. Использовать их в работе могли только

профессиональные программисты. Именно тогда складываются научные коллективы, объединяющие археологов и математиков: в Москве и Ленинграде, Новосибирске и Ижевске, Киеве и Тбилиси. Появляются первые попытки описать на языке математики остатки построек и погребений, создать банки данных для хранения информации о древних культурах, выявить статистические закономерности процессов, происходивших в человеческих обществах.

Но уже с середины 1980-х гг. происходит революция в мире компьютерных технологий: появляются персональные компьютеры, управлять которыми может и неспециалист, а с ними — огромное количество всевозможных программ для работы с текстами, изображениями, чертежами, картами. Конечно, для использования новых методов по-прежнему требуются специальные знания, но овладеть ими и использовать их на практике стало значительно легче.

Именно в середине 1980-х гг. происходит значительное событие в мировой археологии, положившее начало новому направлению: географо-информационному. Практически одновременно в Великобритании (К. Квамм) и в США (С. Джилл и Д. Хоуерс) появляются научные работы, в которых показаны возможности использования в археологии методов геоинформатики, лежащие в основе географо-информационных систем.

Как мы уже видели, ГИС используют самые разнообразные данные — главное, чтобы они имели единую пространственную привязку к местности. Весьма большую помощь в изучении древностей археологам оказывают данные дистанционного зондирования Земли — аэрофотосъемка и космосъемка. При этом аэрофотосъемка используется археологами уже более ста лет. После Первой мировой войны, давшей своеобразный толчок в использовании аэрофотосъемки в целях военной разведки, этот метод завоевал огромную популярность в Западной Европе и США, что привело к открытию десятков тысяч новых памятников археологии, и даже целых цивилизаций. С 1930-х гг. аэрофотосъемка взята на вооружение советскими, а позже российскими археологами, в результате чего были открыты и изучены новые цивилизации и ландшафты.

Неменьшую ценность для ГИС имеют сейчас и данные космосъемки. Современные цифровые сканеры и радары, размещенные на спутниках, дают представление о самых небольших объектах, с которыми работает археолог. Вместе с тем поступающая из космоса информация уже имеет точную пространственную привязку, а значит, может использоваться в ГИС без дополнительных рутинных процедур геокодирования изображений, что необходимо делать с аэрофотоснимками. Кроме того, космоснимки делаются в нескольких спектральных диапазонах, в том числе невидимых человеческому глазу, и позволяют получить представление об объектах, скрытых современной растительностью. Так, недавно при сотрудничестве археологов Нью-Гэмпширского университета и специалистов космического агентства NASA были открыты новые города майя в местностях, покрытых непроходимыми джунглями. Специальные методы работы с космоснимками, их точная пространственная привязка и

использование в полевом обследовании GPS-приемников позволили археологам быстро найти руины городов и храмов IX в. н.э., на поиски которых раньше могла бы уйти жизнь целого поколения.

Но не только поиском новых памятников заняты археологи, использующие ГИС. Есть здесь и другая цель — пространственный анализ оставленных человеком древностей, попытка реконструировать ландшафты, в которых обитал человек, понять его взаимосвязь с окружающей средой. Исследования, ведущиеся в этом ключе, объединены в направление, называемое «ландшафтной археологией». Для успешного проведения таких исследований требуется множество разнообразной информации о климате и палеогеографии, о занятиях древних людей сельским хозяйством или охотой и собирательством, о системе расселения и особенностях размещения вокруг поселков разных зон жизнедеятельности — древних земельных полей, выпасов, источников воды и топлива. ГИС в этом случае выступает мощной системой, которая способна объединить всю эту разнородную информацию, «переварить» ее, обработать и обобщить в виде карт.

Наверное, квинтэссенцией сочетания современных компьютерных технологий и данных археологии, палеоботаники, палеогеографии, антропологии и других наук является создание виртуального археологического ландшафта. Это направление существует всего несколько лет, оно напоминало бы компьютерную игру, если бы не базировалось на весьма точных научных знаниях. Современные компьютерные технологии позволяют человеку переместиться в реконструируемый по данным науки ландшафт, попасть на памятник археологии, воссозданный по результатам раскопок и неразрушающих обследований, побродить по помещениям античных домов или заглянуть внутрь неолитического жилища, познакомиться с их обстановкой, точно воспроизведенной по полевым чертежам и фотографиям. Это можно сделать, глядя на экран компьютера или с использованием специальных приборов, помогающих переместиться в виртуальную реальность. Наверное, подобное путешествие и есть та самая машина времени, о которой мечтал сто лет тому назад Герберт Уэллс — компьютер, позволяющий с помощью современных технологий из недалекого будущего заглянуть в глубокое прошлое!

Список литературы и Интернет-ресурсов

Главе 1

- Археология и геоинформатика. Вып. 2, 3, 4, 5, 6. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2005–2010.
- Афанасьев Г.Е., Савенко С.Н., Коробов Д.С. Древности Кисловодской котловины. М., 2004. Гл. 2.
- Белинский А.Б., Коробов Д.С., Райнхольд С. Ландшафтная археология на Северном Кавказе: первые результаты исследования предгорного ландшафта Кисловодска эпохи позднего бронзового — раннего железного века // Материалы по изучению историко-культурного наследия Северного Кавказа. Вып. IX. Археология, краеведение. Ставрополь, 2009.
- Владимиров В.Н. Историческая геоинформатика: геоинформационные системы в исторических исследованиях. Барнаул, 2005.
- Гарбузов Г.П. Археология ландшафта и геоинформатика: теоретические аспекты взаимоотношений // Археология и геоинформатика. Вып. 4. М., 2007 [Электронный ресурс]. (CD-ROM).
- Гарбузов Г.П. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование Земли в археологических исследованиях (на примере Таманского полуострова): Автореф. дис. ... канд. ист. наук. М., 2007.
- Геоинформатика. Кн. 1. / Под ред. проф. В.С. Тикунова. М., 2008. Гл. 1.
- Де Мерс М.Н. Географические информационные системы. М., 1999.
- Дараган М.Н. Использование ГИС-технологий для изучения пространственно-временной концентрации курганов скифского времени Нижнего Поднепровья // Археология и геоинформатика. Вып. 5. М., 2008 [Электронный ресурс]. (CD-ROM).
- Карнап-Борнхайд фон К., Хильберг Ф., Кальмринг С., Шульце Й. Хелебю, поселение и порт: старые материалы и новейшие исследования // РА. 2010. № 1.
- Ковалевская В.Б. Компьютерная обработка массового археологического материала из раннесредневековых памятников Евразии // Хронология восточно-европейских древностей V–IX веков. Вып. 2. Стекланные бусы и поясные наборы. М., 2000.
- Круглый стол «Геоинформационные технологии в археологических исследованиях» (Москва, 2 апреля 2003 г.): Сб. докл. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2004. (Археология и геоинформатика. Вып. 1).
- Основы геоинформатики. Кн. 1. / Под ред. проф. В.С. Тикунова. М., 2004. Раздел 1.
- Смекалов С.Л., Федоров Д.Л. Геоинформационные технологии в археологических исследованиях. СПб., 2004.
- Смекалов С.Л. Древние антропогенные структуры Восточного Крыма (Геоинформационный и историко-картографический аспекты): Автореф. дис. ... канд. ист. наук. М., 2005.

- Требелева Г.В. Оборона территории Азиатского Боспора в первые века нашей эры: историческое моделирование на основе ГИС-технологий: Автореф. дис. ... канд. ист. наук. М., 2005.
- Gaffney V., Stan i Z. GIS approaches to regional analysis: A case study of the island of Hvar / Kenneth Kvamme (preface). Znanstveni inštitut Filozofske fakultete. University of Ljubljana, Yugoslavia Ljubljana, 1991.
- Gill S.J., Howers D.A. Geographical Information System approach to the use of surface samples in intra-site distributional analysis // UISPP Commission IV Symposium on Data Management and Mathematical Methods in archaeology. Denver, 1985.
- Green S.W., Zvebil M. The colonization and agricultural transition of Southeast Ireland // Proceedings of the Prehistoric Society of London. October, 1990.
- Kirkinen T. Center in the Wilderness Area Using a GIS in modeling Late Iron Age Settlement in Eastern Finland // Archaeological Application of GIS. Sydney University Archaeological Methods Series. # 5. 1997.
- Kvamme K.L. Geographic Information Systems techniques for regional archaeological research // UISPP Commission IV Symposium on Data Management and Mathematical Methods in archaeology. Denver, 1985.
- Madry S.L.H., Crumley C.L. An application of remote sensing and GIS in regional archaeological settlement pattern analysis: the Arroux River valley, Burgundy, France // Interpreting Space: GIS and archaeology. L.; N.Y.; Philadelphia, 1990.
- Rhind D.W. A GIS Research Agenda // International Journal of Geographical Informational Systems. # 2. 1988.
- Savage S.H. GIS in archaeological research // Interpreting Space: GIS and archaeology. L.; N.Y.; Philadelphia, 1990.
- Tomlinson R.F., Marble D.F., Calkins H.W. Computer Handling of Geographic Data Unesco Natural Resource Research Series. # 13. 1976.
- Wheatley D., Gillings M. Spatial Technology and Archaeology / Chapter 1. Archaeology, space and GIS. L.; N.Y., 2002.
- Williams I., Limp W.F., Briuer F.L. Using geographic information systems and exploratory data analysis for archaeological site classification and analysis // Interpreting Space: GIS and archaeology. L.; N.Y.; Philadelphia, 1990.

Ссылки на полезные Интернет-сайты:

- Толковый словарь по геоинформатике / Под ред. А.М. Берлянта и А.В. Кошкарёва. Интернет: <http://biology.krc.karelia.ru/misc/geoinf/titul.htm>
- АИС «Археограф» (Ст.А. Васильев, ИИМК РАН). Интернет: <http://ardb.spb.ru/GISforArchaeology>. Интернет-сайт компании ESRI. Интернет: <http://www.esri.com/industries/archaeology/index.html>
- GIS Bibliography на сайте археологической лаборатории Сиднейского университета. Интернет: http://acl.arts.usyd.edu.au/index.php?option=com_content&task=view&id=87&Itemid=111
- ГИС в археологии на сайте «Скифика-Кельтика». Интернет: http://www.archaeology.ru/sci_methods/sc_gis_00.html
- Отрасли применения ГИС на сайте компании «Дата+». Интернет: <http://www.dataplus.ru/Industries/index.htm>
- Сайт Бургундского проекта. Интернет: <http://www.informatics.org/france/gis.html>

К главе 2

- Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация. М., 1986.
- Бугаевский Л.М. Математическая картография. М., 1998.
- Багров Л. История русской картографии. М., 2005.

- Макаренко Н.Л., Демьянов Г.В. Система координат СК-95 и пути дальнейшего развития государственной геодезической сети России // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. 2002. № 1-2 (33-34).
- Салищев К.А. Картоведение. М., 1990.
- Kennedy M., Kopp S. Understanding Map Projection. GIS by ESRI. Redlands, 1994-2000.
- Kohlstock P. Kartographie. Eine Einfuehrung. Paderborn, München, Wien, Zürich, 2004.
- Wheatley D., Gillings M. Chapter 2. The spatial database // Spatial Technology and Archaeology. L.; N.Y., 2002.
- Wikipedia: статьи «Земной эллипсоид», «Географические координаты», «Картографическая проекция», «Картография», «Топографическая карта». Интернет: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>

К главе 3

- Генике А.А., Побединский Г.Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. 2-е изд. М., 2004.
- Довгалева А.А. ArcPad — полевая ГИС археолога // Археология и геоинформатика. Вып. 3. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2006.
- Довгалева А.А. Оптимизация мобильной ГИС ArcPad для сбора данных и картографирования в полевых условиях // Археология и геоинформатика. Вып. 5. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2008.
- Пелевин А.Т., Кац М.Я., Соколов С.Б. Опыт совместного использования ГИС и спутниковой навигации при геофизических работах на археологических объектах // Круглый стол «Геоинформационные технологии в археологических исследованиях» (Москва, 2 апреля 2003 г.): Сб. докл. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2004.
- Постнов А.В., Вергунов Е.Г. Основы геодезического обеспечения археологических исследований с применением спутниковых навигационных приемников (GPS-навигация для археологов). Новосибирск, 2003.
- Серапинос Б.Б. Спутниковое позиционирование // Информационный бюллетень. Журнал ГИС-Ассоциации, 1997. № 3(10)-5(12). 1998, № 1 (13).
- Chartrand J.A.H. New tools and old tasks: surveying with GPS in archaeology // Anglo-Russian Archaeology Seminar: Recording Systems for Archaeological Projects. Bournemouth University School of Conservation Sciences. Research Report 6. Bournemouth; Moscow, 2000.
- Wheatley D., Gillings M. Chapter 3. Acquiring and integrating data // Spatial Technology and Archaeology. L.; N.Y., 2002.

Интернет-сайты дилеров GPS-оборудования:

- ПРИН — <http://www.prin.ru>
- JJ-GROUP — <http://www.jj-group.ru/>
- GARMIN — <http://garmin.ru/>
- ГЕОСТРОЙИЗЫСКАНИЯ — <http://www.gsi2000.ru/>

Интернет-ресурсы с компьютерными программами:

- GPS Utility — <http://www.gpsu.co.uk>
- DNRGarmin — <http://www.dnr.state.mn.us/mis/gis/tools/arcview/extensions/DNRGarmin/DNRGarmin.html>

К главе 4

- Андрюханов Б.В. Дешифрование аэрофотоснимков при изучении оросительных систем // Археология и естественные науки. М., 1965.

- Афанасьев Г.Е. Перспективы применения методов аэрокосмического зондирования в археологии // КСИА. 1993. № 210.
- Афанасьев Г.Е. Основные направления применения ГИС- и ДЗ-технологий в археологии // Круглый стол «Геоинформационные технологии в археологических исследованиях» (Москва, 2 апреля 2003 г.): Сб. докл. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2004.
- Афанасьев Г.Е., Зотко М.Р., Коробов Д.С. Первые шаги «космической археологии» в России (к дешифровке Малцкого селища) // РА. 1999. № 2.
- Афанасьев Г.Е., Савенко С.Н., Коробов Д.С. Древности Кисловодской котловины. М., 2004. Гл. 2.
- Брушко И.В., Назарова Н.П., Петренко В.Г. Древние культурные ландшафты на юге Тилигуло-Днестровского междуречья по данным аэрофотосъемки // Северо-западное Причерноморье — контактная зона древних культур. Киев, 1991.
- Виноградов Б.В. О выборе времени для аэрофотосъемок в пустынных ландшафтах юга Средней Азии // Труды Лаборатории аэрометодов. Т. V. М.; Л., 1956.
- Галиева З.С. Аэрометоды в реконструкции эволюции исторических ландшафтов Восточного Приаралья // Археология и геоинформатика. Вып. 4. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2007.
- Гарбузов Г.П. Археологические исследования и дистанционное зондирование Земли из космоса // РА. № 2. 2003.
- Гарбузов Г.П. Структура древнего землеустройства Таманского полуострова // РА. № 3. 2003.
- Горлов Ю.В., Лопанов Ю.А. Древнейшая система мелиорации на Таманском полуострове // ВДИ. 1995. № 3.
- Довгалева А.А. Использование ГИС-технологий и ДДЗ для выявления памятников археологии // Археология и геоинформатика. Вып. 2. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2005.
- Довгалева А.А. Основы применения программного комплекса ERDAS IMAGINE при обработке данных дистанционного зондирования. Презентация доклада // Археология и геоинформатика. Вып. 3. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2006.
- Довгалева А.А. Сравнительный анализ онлайн-сервисов материалов дистанционного зондирования для создания ГИС археологических объектов // Археология и геоинформатика. Вып. 6. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2010.
- Дойель Л. Полет в прошлое. М., 1979.
- Жуковский М.О. Использование данных спутников CORONA в археологических исследованиях // Археология и геоинформатика. Вып. 6. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2010.
- Зотко М.Р. Компьютерная обработка изображений в археологии // Компьютеры в археологии. М., 1996.
- Игонин Н.И. Применение аэрофотосъемки при изучении археологических памятников // Археология и естественные науки. М., 1965.
- Коробов Д.С. Применение ГИС и аэрофотосъемки при картографировании следов древнего земледелия в Кисловодской котловине // Круглый стол «Геоинформационные технологии в археологических исследованиях» (Москва, 2 апреля 2003 г.): Сб. докл. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2004.
- Лисецкий Ф.Н. Система античного землеустройства на Нижнем Побужье // Древнее Причерноморье // Краткие сообщения Одесского Археологического Общества. Одесса. 1994.
- Николаенко Г.М. Межевание полей Херсонесской хоры // КСИА. № 182. 1985.
- Павлов С.П. Применение аэрофотосъемки в археологии // Проблемы истории докапиталистических обществ. № 11—12. М.; Л., 1934.
- Паромов Я.М. Главные дороги Таманского полуострова // Древности Боспора. № 1. М., 1998.
- Паромов Я.М. О земельных наделах античного времени на Таманском полуострове // Археологические Вести. № 7. СПб., 2000.
- Пелевин А.Т. Использование GPS при геометрической коррекции данных дистанционного зондирования. Презентация доклада // Археология и геоинформатика. Вып. 3. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2006.
- Райнхольд С. Аэрофотосъемка и археология культурного ландшафта. Системы поселений позднего бронзового — раннего железного века в верхней части Кисловодской котловины // Археология и геоинформатика. Вып. 2. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2005.
- Рукавишников Д.В. Применение низковысотной аэрофотосъемки в археологии // Археология и геоинформатика. Вып. 2. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2005.
- Толковый словарь по геоинформатике / Под ред. А.М. Берлянта и А.В. Кошкарёва. Интернет: <http://biology.krc.karelia.ru/misc/geoinf/titul.htm>
- Толстов С.П., Андрианов Б.В., Игонин Н.И. Использование аэрометодов в археологических исследованиях // СА. 1962. № 1.
- Цуцкин Е.В. Некоторые направления космической археологии // Археологические исследования Калмыкии. Элиста, 1987.
- Цуцкин Е.В., Елина А.И., Елин М.Л. Использование космических снимков в археологических целях // Памятники Калмыкии каменного и бронзового веков. Элиста, 1982.
- Черезетти Б. ГИС археологических памятников дельты Мургаба // Археология и геоинформатика. Вып. 3. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2006.
- Шингирей И.Л. Применение археологических методов дистанционного зондирования в изучении природных и культурных особенностей Черных Земель в Калмыкии // Археология и геоинформатика. Вып. 3. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2006.
- Шишкин К.В. Применение аэрофотосъемки для исследования археологических памятников // СА. 1966. № 3.
- Шишкин К.В. Аэрометод как источник для исторической топографии Ольвии и ее окрестностей // СА. 1982. № 3.
- Щеголов А.Н. Основные структурные элементы античной межевой системы на Маячном полуострове (Юго-Западный Крым) // История и археология Юго-Западного Крыма. Симферополь, 1993.
- Afanasyev G.E., Zotko M.R., Korobov D.S. The Experience of Application of Aerospace Probing Methods in the Study of Mayatsk Settlement // News from CINECA's ICARUS Project. # 9. January 1997.
- Agache R. Détection aérienne des vestiges protohistoriques, gallo-romains et médiévaux dans le bassin de la Somme et ses abords // Bulletin de la Société Préhistorique du Nord. N° spécial 7. Amiens, 1970.
- Beaseley G.A. Air Photography in Archaeology // Geographical Journal. May 1919.
- Braasch O. Luftbildarchäologie in Süddeutschland. Spuren aus römischer Zeit. Stuttgart, 1983.
- Crawford O.G.S. What Air Photography Means to the Future of Archaeology // Christian Science Monitor. 21 December 1923.
- Crawford O.G.S. Air Photography for Archaeologists. London, 1929.
- Dassie J. Manuel d'archéologie aérienne. Paris, 1978.
- Doneus M. The impact of vertical photographs on an analysis of archaeological landscapes // Doneus M., Eder-Hinterleitner A., Neubauer W. (eds.). Archaeological Prospection: Fourth International Conference on Archaeological Prospection. Vienna, 19—23. September 2001. Wien, 2001.

- Ebert J. Remote Sensing Applications in Archaeology // Advances in Archaeological Method and Theory. V. # 1. N.Y., 1984.
- Goguet R. De l'aviation à l'archéologie. Paris, 1968.
- Going Ch.J. A Neglected Asset. German Aerial Photography of the Second World War Period // Robert H. Bewley and Włodzimierz Rączkowski (eds). Aerial Archaeology. Developing Future Practice. Amsterdam, 2002.
- Madry S.L.H. A Multiscalar Approach to Remote Sensing in a Temperate Regional Archaeological Survey // Regional dynamics: Burgundian Landscapes in Historical Perspective. San Diego, 1987.
- Madry S.L.H., Crumley C.L. An application of remote sensing and GIS in regional archaeological settlement pattern analysis: the Arroux River valley, Burgundy, France // Interpreting Space: GIS and archaeology. L.; N.Y.; Philadelphia, 1990.

Ссылки на полезные Интернет-сайты:

- Aerial archaeology by J. Dassié <http://www.archaero.com/archeo31.html>
- Aerial Archaeology in Northern France <http://www.culture.gouv.fr/fr/arcnat/aerien/en/index.html>
- Aerial Archaeology Research Group <http://aarg.univie.ac.at/>
- Aerial Archive Vienna <http://www.univie.ac.at/Luftbildarchiv>
- The Aerial Reconnaissance Archives (TARA) [http://aerial.rcahms.gov.uk/worldwide/Antoine Poidebard s.j. Pionnier de l'archeologie aerienne, Missionnaire d'Armenie \(1878–1955\) http://www.usj.edu.lb/poidebard/vie.htm](http://aerial.rcahms.gov.uk/worldwide/Antoine Poidebard s.j. Pionnier de l'archeologie aerienne, Missionnaire d'Armenie (1878–1955) http://www.usj.edu.lb/poidebard/vie.htm)
- Совинформспутник <http://www.sovinformsputnik.com/>
- SPOT Image <http://www.spotimage.fr>
- Eurimage <http://www.eurimage.com/index.html>
- Landsat 1990 and 2000 <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>
- Digital Globe <http://www.digitalglobe.com>
- Photogrammetric Reconstruction of the Geoglyphs of Nasca and Palpa <http://www.photogrammetry.ethz.ch/research/peru/index.html>
- SAS Планета <http://sasgis.ru/sasplaneta/>

К главе 5

- Беглицова С.В., Князева Л.Ф., Телегина М.В. Геоинформационная система памятников историко-культурного наследия Удмуртии // Археология и геоинформатика. Вып. 2. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2005.
- Васильев Ст.А. Автоматизация вывода археологических объектов на цифровую карту. Проблема организации данных // Круглый стол «Геоинформационные технологии в археологических исследованиях» (Москва, 2 апреля 2003 г.): Сб. докл. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2004.
- Васильев Ст.А. АИС «Археограф»: система описания археологических памятников и вывода данных в ГИС // Археология и компьютерные технологии: представление и анализ археологических материалов. Ижевск, 2005.
- Васильев Ст.А. Проект «АИС Археограф» // Археология и геоинформатика. Вып. 3. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2006.
- Сборник задач и упражнений по геоинформатике / Под ред. проф. В.С. Тикунова. М., 2005.
- Johnson I. Understanding MapInfo: A Structured Guide. Sydney, 2006.
- Mapping Archaeological Data: A Structured Introduction to MapInfo. Sydney, 1995.
- MapInfo Professional 9.0. Руководство пользователя. М., 2006. Интернет: <http://www.estimart.ru/Главная/tabid/38/Default.aspx>
- АИС «Археограф» в Интернете: <http://ardb.spb.ru>

К главе 6

- Введение в ArcView GIS.
- Сборник задач и упражнений по геоинформатике / Под ред. проф. В.С. Тикунова. М., 2005.
- ArcView GIS. Руководство пользователя.

К главе 7

- Вьено А. ArcCatalog. Руководство пользователя. М., 2001.
- Минами М. ArcMap. Руководство пользователя. Ч. I, II. М., 2000.
- Михайлов С.А., Бессуднов А.Н., Ивашов М.В., Карандеев А.Ю. Разработка ГИС археологического памятника на платформе ESRI ArcGIS (на примере Никольского грунтового могильника) // Археология и геоинформатика. Вып. 5. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2008.
- Начало работы с ArcGIS. М., 1999–2001. Интернет: <http://www.dataplus.ru/Support/Library/Index.htm>
- Начало работы в ArcGIS 9. М., 1999–2004. Интернет: <http://www.dataplus.ru/Support/Library/Index.htm>
- Что такое ArcGIS? М., 2001. Интернет: <http://www.dataplus.ru/Support/Library/Index.htm>
- Что такое ArcGIS 9? М., 2001–2004. Интернет: <http://www.dataplus.ru/Support/Library/Index.htm>
- Шанэр Дж., Райтил Дж. Редактирование в ArcMap. М., 2000.

К главе 8

- Афанасьев Г.Е. Археологическая разведка на новостройках и пространственный анализ // КСИА. Вып. 196. 1987.
- Афанасьев Г.Е. Население лесостепной зоны бассейна Среднего Дона в VIII–X вв. // Археологические открытия на новостройках. Вып. 2. М., 1987. Гл. 1.
- Афанасьев Г.Е. Донские аланы. Социальные структуры алано-ассо-буртасского населения бассейна Среднего Дона. М., 1993. Гл. 5.
- Афанасьев Г.Е., Савенко С.Н., Коробов Д.С. Древности Кисловодской котловины. М., 2004. Гл. 2.
- Гарбузов Г.П. Археология ландшафта и геоинформатика: теоретические аспекты взаимоотношений // Археология и геоинформатика. Вып. 4. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2007.
- Де Мерс М.Н. Географические информационные системы. М. 1999. Раздел 4.
- Ковалевская В.Б. Археологическая культура — практика, теория, компьютер. М., 1995.
- Коробов Д.С. Применение ГИС и аэрофотосъемки при картографировании следов древнего земледелия в Кисловодской котловине // Круглый стол «Геоинформационные технологии в археологических исследованиях» (Москва, 2 апреля 2003 г.): Сб. докл. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2004.
- Коробов Д.С. Применение методов пространственного анализа при изучении системы расселения алан Кисловодской котловины // Археология и геоинформатика. Вып. 5. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2008.
- Коробов Д.С. ГИС-моделирование сельскохозяйственных угодий эпохи раннего средневековья в Кисловодской котловине // Археология и геоинформатика. Вып. 6. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2010.
- Пиотух Н.В. Пространственный анализ: проблема выбора метода классификации и хозяйственная типология // Археология и геоинформатика. Вып. 2. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2005.

- Томашевский А.П., Вовкодав С.М. Археолого-геоинформационная система «Овручский проект» // Археология и геоинформатика. Вып. 4. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2007.
- Хаггетт П. Пространственный анализ в экономической географии. М., 1968.
- Clarke D. Spatial archaeology. L., 1977.
- Christaller W. Central places in southern Germany; translated by Carlisle W. Baskin. New Jersey, 1966.
- Douglas D. Least-cost Path in GIS Using an Accumulated Cost Surface and Slope Lines // Cartographica. 1994. 31.
- Goodchild M. Geographic Information Systems and Spatial Analysis in the Social Sciences // Anthropology, Space and Geographic Information Systems. N.Y.; Oxford, 1996.
- Hodder I., Orton C. Spatial analysis in archaeology. Cambridge, 1976.
- Jarman M.R., Vita-Finzi C., Higgs E.S. Site catchment analysis in archaeology // Man, Settlement and Urbanism. L., 1972.
- van Leusen M. Viewshed and Cost Surface Analysis Using GIS (Cartographic Modelling in a Cell-Based GIS II) // New Techniques for Old Times. CAA 98. BAR International Series. 757. Oxford, 1999.
- Ruggles A., Church R. Spatial Allocation in Archaeology: An Opportunity for Reevaluation // New Methods, Old Problems. Geographic Information Systems in Modern Archaeological Research. Illinois, 1996.
- Wheatley D., Gillings M. Spatial Technology and Archaeology. L.; N.Y., 2002. Chap. 6, 7.
- К главе 9:**
- Алексейчук С.Н. Трехмерная ГИС в археологии (Методика комплексной реконструкции памятников археологии) // Круглый стол «Геоинформационные технологии в археологических исследованиях» (Москва, 2 апреля 2003 г.): Сб. докл. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2004.
- Баранов Ю.М., Косинская Л.Л. Опыт компьютерной реконструкции неолитического жилища и его вещной жилой среды // Археология и геоинформатика. Вып. 5. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2008.
- Груздев Д.В., Журбин И.В. Моделирование и реконструкция археологических объектов // Археология и геоинформатика. Вып. 2. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2005.
- Довгалева А.А. Трехмерная визуализация при проведении историко-культурных экспертиз // Круглый стол «Геоинформационные технологии в археологических исследованиях» (Москва, 2 апреля 2003 г.): Сб. докл. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2004.
- Зитлер Б., Купальняц Л., Басож Ф. LIDAR как новый инструмент в изучении объектов культурного наследия. Потенциал и ограничения в распознавании микрорельефных структур при археологическом и ландшафтном обследовании // Археология и геоинформатика. Вып. 5. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2008.
- Ковалевская В.Б. Особенности картографирования массовых и редких явлений в археологии (анализ распространения акинаков VII–V вв. до н. э.) // Археология и геоинформатика. [Электронный ресурс]. М. Вып. 2. (CD-ROM), 2005.
- Коробов Д.С. Трехмерная визуализация Кисловодской котловины с помощью модуля 3D Analyst // Археология и геоинформатика. Вып. 2. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2005.
- Коробов Д.С. Применение модуля 3D-Analyst для изучения системы оповещения у алан Кисловодской котловины // Археология и геоинформатика. Вып. 3. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2006.

- Макушин В.П. Некоторые приемы использования чертежной программы AutoCAD // Археология и геоинформатика. Вып. 5. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2008.
- Пелевин А.Т., Кац М.Я., Соколов С.Б. Опыт совместного использования ГИС и спутниковой навигации при геофизических работах на археологических объектах // Круглый стол «Геоинформационные технологии в археологических исследованиях» (Москва, 2 апреля 2003 г.): Сб. докл. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2004.
- Пушкина Т.А., Жуковский М.О. Цифровой архив материалов исследований Гнездовского археологического комплекса // РА. № 1. 2005.
- Требелева Г.В. Применение анализа видимости при исследовании системы обороны Таманского полуострова // Археология и геоинформатика. Вып. 3. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2006.
- Aerial Archive Vienna <http://luftbildarchiv.univie.ac.at/airborne-laserscanning/>
Creating and Using Virtual Reality: a Guide for the Arts and Humanities // Internet: http://vads.ahds.ac.uk/guides/vr_guide/index.html
- Gillings M., Wheatley D. Seeing is not believing. Unresolved issues in archaeological visibility analysis // Ancient landscapes and rural structures. COST Action G2. Ljubljana, 2001.
- van Leusen M. Viewshed and Cost Surface Analysis Using GIS (Cartographic Modelling in a Cell-Based GIS II) // New Techniques for Old Times. CAA 98. BAR International Series. 757. Oxford, 1999.
- Virtual Reality in Archaeology. BAR International Series. 843. Oxford, 2000.
- Wheatley D., Gillings M. Spatial Technology and Archaeology. L.; N.Y., 2002. Chap. 5, 9, 10.

К главе 10

- Глазунов В.В. Геофизические методы исследования археологических памятников: Автореф. дис. ... канд. ист. наук. М., 1985.
- Журбин И.В. Археология и геофизика: принципы комплексных исследований // РА. 2004. № 3.
- Журбин И.В. Геофизика в археологии: методы, технология и результаты применения. Ижевск, 2004.
- Колчин Б.А. Физико-математические методы в археологии // Новое в применении физико-математических методов в археологии. М., 1979.
- Колчин Б.А., Шер Я.А. Некоторые итоги применения естественнонаучных методов в археологии // КСИА. Вып. 118. 1969.
- Молодин В.И., Парцингер Г., Гаркуша Ю.Н. и др. Археолого-геофизические исследования городища переходного от бронзы к железу времени Чича-1 в Барабинской лесостепи. Первые результаты Российской-Германской экспедиции // Археология, этнография и антропология Евразии. 2001. № 3 (7).
- Слукин В.М. Неразрушающие методы исследования памятников архитектуры. Свердловск, 1988.
- Станюкович А.К. Геофизические методы в архитектурно-археологических исследованиях // Вопросы исследования памятников архитектуры. М., 1990.
- Станюкович А.К. Основные методы полевой археологической геофизики // Естественно-научные методы в полевой археологии. Вып. 1. М., 1997.
- Франтов Г.С., Линкевич А.А. Геофизика в археологии. Л., 1966.
- Шилик К.К. Опыт электроразведки методом симметричного электропрофилирования // СА. 1967. № 3.
- Шилик К.К. О магниторазведке гончарных печей у Чабан-Куле // КСИА. 1974. Вып. 140.

- Шрайбман В.И., Серкерев С.А., Сидельникова Т.А., Флеров В.С. Новое в применении магниторазведки и электроразведки при исследовании грунтовых погребений на Северном Кавказе // СА. 1988. № 1.
- Шапова Ю.Л. Естественнонаучные методы в археологии. М., 1988.
- Щеголов А.Н. 25 лет работы Тарханкутской экспедиции: итоги и перспективы // КСИА. Вып. 182. 1985.
- Эйткин М.Дж. Физика и археология. М., 1963.
- Bettess F. Surveying for archaeologists. 2nd ed. Durham, 1992.
- Clark A. Seeing Beneath the Soil. Prospecting methods in archaeology. 2nd edition. L., 1996.
- Conyers L.B., Goodman D. Ground penetrating radar: an introduction for archaeologists. Walnut Creek, 1997.
- Geophysical survey in archaeological field evaluation // English Heritage Research and Professional Services Guideline. N. 1. L., 1995.
- Gaffney C., Gater J., Ovenden S. The Use of Geophysical Techniques in Archaeological Evaluations // IFA Technical Paper. N. 9. 1991.
- Hesse A. Count Robert du Mesnil du Buisson (1895–1986), a french precursor in geophysical survey for archaeology // Archaeological Prospection. 2000. Vol. 7. Issue 1.
- Scollar I., Tabbagh A., Hesse A., Herzog I. Archaeological Prospecting and Remote Sensing. Cambridge, 1990.
- Smekalova T.N., Maslennikov A.A. Cadaster of Geophysical Maps of Bospor Sites in the Coast of Asov Sea. Geophysical Exploration of Archaeological Sites. Series: Theory and Practice of Applied Geophysics, edited by A. Vogel and G.N. Tsokas. Vol. 7. Braunschweig/Wiesbaden, 1993.

Полезные Интернет-ссылки:

- International Association for Archaeological Prospection, ISAP. Интернет: <http://www.bradford.ac.uk/archsci/archprospection/menu.php?0>
- <http://www.gpr-survey.com>
- <http://www.geo-radar.ru/index.php>
- <http://www.brad.ac.uk/acad/archsci/subject/archpros.html>
- <http://www.univie.ac.at/Idea/geophysik.html>

К главе 11:

- Алешинская А.С., Кочанова М.Д., Макаров Н.А., Спиридонова Е.А. Становление аграрного ландшафта Суздальского Ополя в средневековые (по данным археологических и палеоботанических исследований) // РА. 2008. № 1.
- Афанасьев Г.Е., Зотько М.Р., Коробов Д.С. Первые шаги “космической археологии” в России (к дешифровке Маяцкого селища) // РА. 1999. № 2.
- Деревянко А.П., Молодин В.И., Шуньков М.В. Мультидисциплинарные исследования Института археологии и этнографии Сибирского отделения РАН за последнее десятилетие // РА. 2005. № 2.
- Каргалы. Т. I, II. М., 2002.
- Коробов Д.С. Пятый Международный Конгресс «Archaeological Prospection» (Краков, 2003) // РА. 2004. № 2.
- Коробов Д.С. Шестой Международный Конгресс «Archaeological Prospection» (Рим, 2005) // РА. 2006. № 3.
- Райнхольд С. Аэрофотосъемка и археология культурного ландшафта. Системы поселений позднего бронзового — раннего железного века в верхней части Кисловодской котловины // Археология и геоинформатика. Вып. 2. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2005.

- Райнхольд С. Аэрофотография и ГИС-анализ пространственных структур Кисловодской котловины в разных масштабах // Археология и геоинформатика. Вып. 4. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2007.
- Чича — городище переходного времени от бронзы к железу в Барабинской лесостепи // Материалы по археологии Сибири. Вып. 1. Новосибирск, 2001.
- Doneus M., Eder-Hinterleitner A., Neubauer W. (eds.). Archaeological Prospection. Forth International Conference on Archaeological Prospection. Vienna, 19. —23. September 2001. Wien, 2001
- Fassbinder J.W.E., Irlinger W.E. (eds.) Archaeological Prospection. Third International Conference on Archaeological Prospection. München, 1999.
- Herbich T. (ed.) Archaeological Prospection // Archaeologia Polona. Vol. 41. Warsaw, 2003.
- Kuzma I. (ed.) Archaeological Prospection // Študijné zvesti Archeologického ústavu SAV. 41. Nitra, 2007.
- Piro S. (ed.). Proceedings — Extended Abstracts of the 6th International Conference on Archaeological Prospection. Rome, 2005.
- Reinhold S., Belinskij A.B., Korobov D.S. Landschaftsarchäologie im Nordkaukasus // Eurasia Antiqua. Zeitschrift für Archäologie Eurasiens. Band 13. Mainz am Rhein, 2007.

Главе 1

- Рис. 1.1. *Коробов Д.С.* Социальная организация алан Северного Кавказа IV—IX вв. н.э. СПб., 2003. Рис. 5 (ч/б).
- Рис. 1.2. *Довгалева А.А.* ArcPad — полевая ГИС археолога // Археология и геоинформатика. Вып. 3. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2006. Рис. 1, 10.
- Рис. 1.3. *Корсей С.Г., Дьякова Н.Б.* ГИС-технологии в трубопроводном транспорте // ArcReview. № 3(18). 2001. Рис. 1. Интернет: http://www.dataplus.ru/Arcrev/Number_21/17_pipe.html
- Рис. 1.4, слева. *Андреевская В.* Муниципальная ГИС г. Тольятти: рецепты выживания // ArcReview. № 2(25). 2003. Расчет оптимального пути вывоза мусора. Интернет: http://www.dataplus.ru/Arcrev/Number_25/10_Tolyat.htm
- Рис. 1.4, справа. *Трифонов К.* Применение ГИС для учета и управления имуществом // ArcReview. № 3(18). 2001. Рис. 3. Интернет: http://www.dataplus.ru/Arcrev/Number_21/10_GIS.html
- Рис. 1.5. *Чехлов О., Шиятов С., Фомин В.* ArcInfo помогает изучать климатогенную динамику лесотундровых экосистем // ArcReview. № 3(18). 2001. Рис. 1. Интернет: http://www.dataplus.ru/Arcrev/Number_21/7_help.html
- Рис. 1.11. *Андреевская В.* Муниципальная ГИС г. Тольятти: рецепты выживания // ArcReview. № 2(25). 2003. Адресный план Комсомольского района. Интернет: http://www.dataplus.ru/Arcrev/Number_25/10_Tolyat.htm
- Рис. 1.12. *Гончарова В.* Мечта картографа // ArcReview. № 3(22). 2002. Рис. 3. Интернет: http://www.dataplus.ru/Arcrev/Number_23/20_mapper.htm
- Рис. 1.13. *Алтаев Ж.* ГИС и земельный кадастр Казахстана // ArcReview. № 2(25). 2003. Фрагмент кадастровой карты. Интернет: http://www.dataplus.ru/Arcrev/Number_25/2_Kazah.htm
- Рис. 1.14. Пилотный проект по экологическому мониторингу Ямало-Ненецкого АО. Сайт компании «Дата+». Интернет: <http://www.dataplus.ru/Projects/yamal.htm>
- Рис. 1.15. *Туманишвили Л., Угулава И., Гоциридзе Г.* ГИС в старом Тбилиси // ArcReview. № 3(18). 2001. Рис. 6, 7. Интернет: http://www.dataplus.ru/Arcrev/Number_18/19_Tbilisi.html
- Рис. 1.16. *Очир-Горыева М.А., Дюмкеева В.Ц.* Опыт создания цифровой карты археологических памятников, раскопанных на территории Республики Калмыкия // Археология и геоинформатика. Вып. 5. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2008. Рис. 5.
- Рис. 1.18. *Васильев Ст.А.* Проект «АИС Археограф» // Археология и геоинформатика. Вып. 3. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2006. Рис. 5.

¹ Все иллюстрации, не упомянутые в настоящем списке, подготовлены автором в процессе работы над данным пособием.

- Рис. 1.19. *Дараган М.Н.* Использование ГИС-технологий для изучения пространственно-временной концентрации курганов скифского времени Нижнего Поднепровья // Археология и геоинформатика. Вып. 5. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2008. Рис. 2.
- Рис. 1.20. *Требелева Г.В.* Применение анализа видимости при исследовании системы обороны Таманского полуострова // Археология и геоинформатика. Вып. 3. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2006. Рис. 2.
- Рис. 1.21. *Кошеленко Г.А., Гаилов В.А., Требелева Г.В.* Археологическая геоинформационная система Маргианы // Археология и геоинформатика. Вып. 4. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2007. Рис. 3, 5, 6.
- Рис. 1.22. *Афанасьев Г.Е., Коробов Д.С.* Использование ГИС в изучении системы расселения аш-тигоров и выделении зон биопродуктивности в VII—XII вв. на Северном Кавказе // Археология и геоинформатика. Вып. 4. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2007. Рис. 9.
- Рис. 1.23. *Райнхольд С.* Аэрофотография и ГИС-анализ пространственных структур Кисловодской котловины в разных масштабах // Археология и геоинформатика. Вып. 4. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2007. CD-ROM. Рис. 4.
- Рис. 1.24. *Гарбузов Г.П.* Интенсивная археологическая съемка как способ количественного описания античного культурного ландшафта // Археология и геоинформатика. Вып. 5. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2008. Рис. 17.
- Рис. 1.25. *Томашевский А.П., Вовкодав С.М.* Археолого-геоинформационная система «Овручский проект» // Археология и геоинформатика. Вып. 4. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2007. Рис. 3.
- Рис. 1.26. *Коробов Д.С.* Применение методов пространственного анализа при изучении системы расселения алан Кисловодской котловины // Археология и геоинформатика. Вып. 5. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2008. Рис. 16.

Главе 2

- Рис. 2.1, 2.3, 2.4, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10—2.13. *Kennedy M., Kopp S.* Understanding Map Projection. GIS by ESRI. Redlands, 1994—2000. P. 2, 4, 6, 11, 14, 16—18.
- Рис. 2.2, 2.14. *Kohlstock P.* Kartographie. Eine Einfuehrung. Paderborn, München, Wien, Zürich, 2004. Abb. 2.1.4; 2.5.4.
- Рис. 2.5. Фото С. Райнхольд¹
- Рис. 2.15—2.23. *Багров Л.* История русской картографии, Рис. 13, 2, 3, 5, 4—5, 30, 49, 64, 68.
- Рис. 2.28. По материалам Интернет-сайта ESRI (<http://edndoc.esri.com/arcsde/9.2/concepts/rasters/basicprinciples/pyramids.htm>)
- Рис. 2.33. По материалам Интернет-сайта ESRI (http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=How_GIS_represents_and_organizes_geographic_information)

Главе 3

- Рис. 3.1, 3.4, 3.5, 3.7, 3.8. *Пелевин А.Т., Кац М.Я., Соколов С.Б.* Опыт совместного использования ГИС и спутниковой навигации при геофизических работах на археологических объектах. Презентация доклада // Круглый стол «Геоинформационные технологии в археологических исследованиях» (Москва, 2 апреля 2003 г.): Сб. докл. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2004.
- Рис. 3.2. *Серапинос Б.Б.* Спутниковое позиционирование // Информационный бюллетень. Журнал ГИС-Ассоциации, 1997—1998, №№ 3 (10) — 1 (13). Рис. 1.

¹ Выражаем глубокую благодарность С. Райнхольд за предоставленные материалы для публикации.

- Рис. 3.3. По материалам Интернет-сайта «Геостройизыскания» (<http://www.gsi.ru>)
 Рис. 3.9–3.12. Довгалева А.А. ArcPad — полевая ГИС археолога // Археология и геоинформатика. Вып. 3 [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2006. Рис. 10, 3, 8, 9.
 Рис. 3.16. Руководство пользователя Garmin GPSmap 60CSx на русском языке. С. 12. Интернет: http://www.garmin.ru/download/manuals/GPSMAP_60CSx_60CSx.pdf
 Рис. 3.31. Генке А.А., Побединский Г.Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. 2-е изд. М., 2004. Табл. 3.6.

К главе 4

- Рис. 4.1. Bewley R. Aerial Survey: learning from a hundred years of experience ? // Robert H. Bewley and Włodzimierz Rączkowski (eds). Aerial Archaeology. Developing Future Practice. Amsterdam: IOS press, 2002. Fig. 1.
 Рис. 4.2–4.3. Ceraudo G., Castrianni L. Giacomo Boni: a pioneer of the archaeological air photograph // Studijné zvesti Archeologického ústavu SAV. 41. Archaeological Prospection. Nitra, 2007. Fig. 1, материалы постерного доклада.
 Рис. 4.4–4.6. Фотографии с выставки «История одной экспедиции» Государственного музея искусств народов Востока
 Рис. 4.7–4.9, 4.37. Паромов Я.М. Основы применения аэрофотосъемки в археологии. Презентация доклада // Археология и геоинформатика. Вып. 3 [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2006.
 Рис. 4.10, 4.12–4.14, 4.22–4.25. По материалам Интернет-сайта Воздушного архива Венского университета (Luftbildarchiv, University of Vienna): <http://www.univie.ac.at/Luftbildarchiv/index.htm#HOME>
 Рис. 4.11, 4.21, 4.26. R.H. Bewley and W. Rączkowski (eds). Aerial Archaeology. Developing Future Practice. Amsterdam: IOS press, 2002. Colour plates 101–102, 6–7, 14.
 Рис. 4.18. Roukavishnikov D.V. Using image processing computer applications, following the example of ER Mapper 5.5, for creating a microtopographic map of the site // Archaeological Prospection. Forth International Conference on Archaeological Prospection. Vienna, 19. –23. September 2001. Wien, 2001. Fig. 1.
 Рис. 4.19–4.20. Рукавишников Д.В. Применение низковысотной аэрофотосъемки в археологии // Археология и геоинформатика. Вып. 2. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2005. Рис. 3, 9.
 Рис. 4.27. Doneus M., Eder-Hinterleitner A., Neubauer W. The excursion sites // Archaeological Prospection. Forth International Conference on Archaeological Prospection. Vienna, 19. –23. September 2001. Wien, 2001. Fig. 22.
 Рис. 4.28. По материалам Интернет-сайта Archeological Remote Sensing (http://we-ather.msfc.nasa.gov/archeology/remote_sensing_spectrum.html)
 Рис. 4.29. фрагмент космического снимка предоставлен Г.Е. Афанасьевым¹.
 Рис. 4.38. Doneus M., Eder-Hinterleitner A., Neubauer W. Archaeological Prospection in Austria // Archaeological Prospection. Forth International Conference on Archaeological Prospection. Vienna, 19. –23. September 2001. Wien, 2001. Fig. 9.
 Рис. 4.30. По материалам Интернет-сайта Satellite Remote Sensing and Archaeology (закрывает с 06.07.2009) (<http://ourworld.compuserve.com/homepages/mjff/homepage.htm>)
 Рис. 4.31. По архивным материалам официального сайта LANDSAT (<http://landsat.gsfc.nasa.gov/images/>)
 Рис. 4.32. По архивным материалам официального сайта SPOT (<http://www.spot-image.fr>)

¹ Выражаем глубокую благодарность Г.Е. Афанасьеву за возможность использования материалов личного архива.

- Рис. 4.33, Рис. 4.35, 4.36. По архивным материалам сайта Eurimage (<http://www.eurimage.com/index.html>)
 Рис. 4.34. По материалам геосервиса Google.Maps (<http://maps.google.ru>)
 Рис. 4.39. Strachan D. The Stour Valley Project, England: a cropmark landscape in three dimensions. Fig. 3, 4, 6. Интернет http://aarg.univie.ac.at/aerarch/stour_valley/stour_valley.html.

К главе 5

- Рис. 5.2. MapInfo Professional 9.0. Руководство пользователя. М., 2006. Рисунок: Пример слоев Карты. С. 171. (<http://74.54.97.210/~estimap/download/docs/mi90ug.pdf>)
 Рис. 5.30–5.37. Васильев Ст.А. Проект «АИС Археограф» // Археология и геоинформатика. Вып. 3. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2006. Рис. 1, 2, 3, 31, 20, 25, 29, 37.

К главе 7

- Рис. 7.8. Коробов Д.С. Трехмерная визуализация Кисловодской котловины с помощью модуля 3D Analyst // Археология и геоинформатика. Вып. 2. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2005. Видеоролик 2.
 Рис. 7.10. Михайлов С.А., Бессуднов А.Н., Ивашов М.В., Карандеев А.Ю. Разработка ГИС археологического памятника на платформе ESRI ArcGIS (на примере Никольского грунтового могильника) // Археология и геоинформатика. Вып. 5. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2008. Рис. 14.

К главе 8

- Рис. 8.2. Wheatley D., Gillings M. Spatial Technology and Archaeology. L.; N.Y., 2002. Fig. 6.1.
 8.3, 8.5. Паромов Я.М. Основы применения аэрофотосъемки в археологии. Презентация доклада // Археология и геоинформатика. Вып. 3 [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2006.
 Рис. 8.4. Пиотух Н.В. Пространственный анализ: проблема выбора метода классификации и хозяйственная типология // Археология и геоинформатика. Вып. 2. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2005. Рис. 2, 3.
 Рис. 8.6. Grant E. Hill-forts, Central Places and Territories // Central Places, Archaeology and History. Sheffield, 1986. Fig. 2.1.
 Рис. 8.7. Афанасьев Г.Е. Археологическая разведка на новостройках и пространственный анализ // КСИА. Вып. 196. 1987. Рис. 3.
 Рис. 8.9 (слева). Афанасьев Г.Е. Археологическая разведка на новостройках и пространственный анализ // КСИА. Вып. 196. 1987. Рис. 2.
 Рис. 8.9 (справа). Афанасьев Г.Е. Население лесостепной зоны бассейна Среднего Дона в VIII–X вв. // Археологические открытия на новостройках. Вып. 2. М., 1987. Рис. 14.
 Рис. 8.11–8.13. Ruggles A., Church R. Spatial Allocation in Archaeology: An Opportunity for Reevaluation // New Methods, Old Problems. Geographic Information Systems in Modern Archaeological Research. Illinois, 1996. Fig. 7–1, 7–4, 7–7.
 Рис. 8.14–8.16. Коробов Д.С. Применение методов пространственного анализа при изучении системы расселения алан Кисловодской котловины // Археология и геоинформатика. Вып. 5. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2008. Рис. 16, 6, 7.

К главе 9

- Рис. 9.1. По материалам Интернет-сайта Digitale Arhologie (http://www.digital-archaeology.com/index.php?nav_id=8)

- Рис. 9.2. *Алексейчук С.Н., Коробов Д.С.* Визуализация комплекса памятников в окрестностях Мосейкиного мыса в Кисловодской котловине // Археология и геоинформатика. Вып. 3. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2006. Анимационный ролик.
- Рис. 9.3. По материалам Интернет-сайта Photogrammetric Reconstruction of the Glyphs of Nasca and Palpa (<http://www.photogrammetry.ethz.ch/research/peru/index.html>)
- Рис. 9.4, 9.5. По материалам рекламного проспекта компании ArcTron
- Рис. 9.6. *Зитлер Б., Купальниц Л., Басоаж Ф.* LIDAR как новый инструмент в изучении объектов культурного наследия. Потенциал и ограничения в распознавании микрорельефных структур при археологическом и ландшафтном обследовании // Археология и геоинформатика. Вып. 5. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2008. Рис. 3.
- Рис. 9.7. *Пелевин А.Т., Кац М.Я., Соколов С.Б.* Опыт совместного использования ГИС и спутниковой навигации при геофизических работах на археологических объектах // Круглый стол «Геоинформационные технологии в археологических исследованиях» (Москва, 2 апреля 2003 г.): Сб. докл. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2004. Рис. 3, 4.
- Рис. 9.8. *Требелева Г.В.* Применение анализа видимости при исследовании системы обороны Таманского полуострова // Археология и геоинформатика. Вып. 3. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2006. Рис. 1.
- Рис. 9.9. *Beex W.* Use and abuse of digital terrain / elevation models // Ausserer K.F., Börner W., Goriány M., Karlhuber-Vöckl L. (ed.). Enter the past, The e-way into the four dimensions of cultural heritage, CAA 2003 (BAR International Series 1227). Oxford, 2004.
- Рис. 9.13, 9.24. *Коробов Д.С.* Трехмерная визуализация Кисловодской котловины с помощью модуля 3D Analyst // Археология и геоинформатика. Вып. 2. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2005. Рис. 4, 10.
- Рис. 9.17, *слева*. По материалам Интернет-сайта «ArcGIS Desktop Help»: [http://web-help.esri.com/arcgisdesktop/9.1/index.cfm?TopicName=How%20Cut/Fill%20\(3D%20Analyst\)%20works](http://web-help.esri.com/arcgisdesktop/9.1/index.cfm?TopicName=How%20Cut/Fill%20(3D%20Analyst)%20works)
- Рис. 9.21, 9.22. *Коробов Д.С.* Применение модуля 3D-Analyst для изучения системы оповещения у алан Кисловодской котловины // Археология и геоинформатика. Вып. 3. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2006. Анимационные ролики 6, 4.
- К главе 10**
- Рис. 10.1, 10.2, 10.12, 10.34. *Франтов Г.С.* Применение геофизических методов разведки в археологии // Археология и естественные науки. М., 1965. Рис. 13, 5, 7, 3, 10, 11.
- Рис. 10.4, 10.14. *Neubauer W.* Übung Geophysikalische Prospektionsmethoden // Интернет: <http://www.univie.ac.at/vias/Prosp/Publications/vorl96/vorl96.html> Fig. 5–6, 5–10.
- Рис. 10.7. *Herbich T.* Archaeological geophysics in Egypt: the Polish contribution // Archaeological Prospection. Archaeologia Polona Vol. 41. Warsaw, 2003. Fig. 10, 11.
- Рис. 10.8. *Benech Ch.* The study of ancient city planning by geophysical methods: the case of Dura-Europos, Syria // Archaeological Prospection. Archaeologia Polona Vol. 41. Warsaw, 2003. Fig. 2, 3.
- Рис. 10.9, *справа*. *Korobov D.S.* Early Medieval settlements in the Kislovodsk basin (South of Russia): GIS, aerial photography and geophysics // Studijné zvesti Archeologického ústavu SAV. 41. Nitra, 2007. Fig. 3.
- Рис. 10.10. *Бездудный В.Г.* Геофизические исследования (магнитометрия, георадар) археологических памятников: поселений Пены-1, Журавка, Почтовое-1 // Археология и геоинформатика. Вып. 5. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2008. Рис. 14, 15.
- Рис. 10.11. *Neubauer W., Eder-Hinterleitner A., Melichar P.* Magnetic prospection of the Early Iron Age settlement at Roseldorf-Sandberg, Austria // Archaeological Prospection. Forth International Conference on Archaeological Prospection. Vienna, 19–23. September 2001. Wien, 2001. Fig. 1, 2.
- Рис. 10.15, *слева*. *Siidekum W.* Geoelectric mapping by Mobile Electrode Group (MEG) — new developments // Archaeological Prospection. Forth International Conference on Archaeological Prospection. Vienna, 19–23. September 2001. Wien, 2001. Fig. 1.
- Рис. 10.15, *справа*. *Erkul E., Rabbel W., Stümpel H.* Development of a mobile multi-sensor system: first results // Archaeological Prospection. Archaeologia Polona. Vol. 41. Warsaw, 2003. Fig. 1.
- Рис. 10.16, *слева*. *Miśiewicz K.* Geophysical reconnaissance at the site of Tanais (Russia) in 1993–2003 // Archaeological Prospection. Archaeologia Polona Vol. 41. Warsaw, 2003. Fig. 4.
- Рис. 10.16, *справа сверху*. *Doneus M., Eder-Hinterleitner A., Neubauer W.* Archaeological Prospection in Austria // Archaeological Prospection. Forth International Conference on Archaeological Prospection. Vienna, 19–23. September 2001. Wien, 2001. Fig. 18.
- Рис. 10.16, *справа снизу*. *Irlinger W.E., Fassbinder J.W.E.* History, prospection, visualization — a new way to handle archaeological sites // Archaeological Prospection. Forth International Conference on Archaeological Prospection. Vienna, 19–23. September 2001. Wien, 2001. Fig. 2.
- Рис. 10.17. *Журбин И.В.* Оценка мощности и структуры культурного слоя поселений по результатам геофизических исследований (городище Иднакар, IX–XIII вв.) // Археология и геоинформатика. Вып. 4. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2007. Рис. 1.
- Рис. 10.18, 10.19. *Журбин И.В., Смусьгин А.В.* Трехмерное моделирование формы археологических объектов по материалам раскопок и геофизических исследований // Археология и геоинформатика. Вып. 5. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2008. Рис. 10, 12.
- Рис. 10.20, 10.25. *Меркулов С.В., Райнхольд С.* Первые результаты георадарного обследования поселений с каменной архитектурой эпохи позднего бронзового — раннего железного века на Северном Кавказе // Археология и геоинформатика. Вып. 3. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2006. Рис. 3, 6, 16.
- Рис. 10.21. *Бездудный В.Г.* Использование георадара при диагностике археологических памятников. Опыт применения // Археология и геоинформатика. Вып. 3. [Электронный ресурс]. М. (CD-ROM). 2006. Рис. 7.
- Рис. 10.22. *Leckebusch J.* The use of antenna arrays for GPR surveying in archaeology // Archaeological Prospection. Archaeologia Polona Vol. 41. Warsaw, 2003. Fig. 1.
- Рис. 10.6, 10.23, *слева*. По архивным материалам Интернет-сайта “Archaeological Prospection 2001”: <http://www.univie.ac.at/archo2001/fieldtrip2.html>. Fig. n03.jpg, a03.jpg.
- Рис. 10.23, *справа*. *Seren S., Neubauer W., Groh S., Eder-Hinterleitner A.* GPR surveys at Ephesos (Turkey) // Archaeological Prospection. Forth International Conference on Archaeological Prospection. Vienna, 19–23. September 2001. Wien, 2001. Fig. 1.
- Рис. 10.26. *Watters M.* A look at North American ground penetrating radar (GPR) applications for effective site survey // Archaeological Prospection. Forth International Conference on Archaeological Prospection. Vienna, 19–23. September 2001. Wien, 2001. Fig. 1.
- Рис. 10.27–10.29, 10.31, 10.32. По материалам Интернет-сайта “GPR-slice software”: <http://www.gpr-survey.com>

- Рис. 10.30. *Leckebusch J., Peikert R., Hauser M.* Advances in 3D visualization of georadar data // Archaeological Prospection. Forth International Conference on Archaeological Prospection. Vienna, 19–23. September 2001. Wien, 2001. Fig. 2, 3.
- Рис. 10.33. По материалам Интернет-сайта «Фонд подводных геофизических исследований»: <http://www.geo-radar.ru>. Вверху: курган с центральным каменным погребением (Северный Кавказ, Кабардино-Балкария); внизу: склеп на каменном мысу (Северный Кавказ, Кисловодск).

Глава 11

- Рис. 11.1. По материалам Интернет-сайта Воздушного архива Венского университета (Luftbildarchiv, University of Vienna): <http://www.univie.ac.at/Luftbildarchiv/index.htm#HOME>
- Рис. 11.2–11.5, 11.7, 11.8, *слева. Doneus M., Eder-Hinterleitner A., Neubauer W.* The excursion sites // Archaeological Prospection. Forth International Conference on Archaeological Prospection. Vienna, 19–23. September 2001. Wien, 2001. Fig. 2, 3, 5, 12, 17, 18, 24, 25.
- Рис. 11.6. Материалы постера *Eder-Hinterleitner A., Melichar P., Neubauer W., Doneus M., Seren S.* The city map of ancient Carnuntum — combining archaeological prospection, photogrammetry and GIS // Archaeological Prospection. Archaeologia Polona Vol. 41. Warsaw, 2003.
- Рис. 11.8, *справа. Kandler M., Neubauer W., Seren S., Eder-Hinterleitner A.* The forum of the civil town of Carnuntum and its surroundings // Archaeological Prospection. Forth International Conference on Archaeological Prospection. Vienna, 19–23. September 2001. Wien, 2001. Fig. 3.
- Рис. 11.9. *Афанасьев Г.Е., Зотко М.Р., Коробов Д.С.* Первые шаги «космической археологии» в России (к дешифровке Маяцкого селища) // РА. 1999. № 2. Рис. 1.
- Рис. 11.10, 11.12, 11.14. Материалы из личного архива Г.Е. Афанасьева¹
- Рис. 11.16 а, б. Каргалы. Т. 1. М., 2002. Рис. 2.8
- Рис. 11.16, в. Каргалы. Т. 1. М., 2002. Рис. 2.7 (ч/б²)
- Рис. 11.17. Каргалы. Т. 2. М., 2002. Рис. 1.6 (ч/б), 2.32 (ч/б)
- Рис. 11.18. Материалы из личного архива Е.Н. Черныха³
- Рис. 11.19–11.23. *Молодин В.И. и др.* Археолого-геофизические исследования городища переходного от бронзы к железу времени Чича-1 в Барабинской лесостепи. Первые результаты Российско-Германской экспедиции // Археология, этнография и антропология Евразии. № 3 (7). 2001. Рис. 1–7.
- Рис. 11.24–11.26. Крепость Пор-Бажын. Научный альманах. М., 2008.
- Рис. 11.28, 11.29, 11.32–11.35. *Reinhold S., Belinskij A.B., Korobov D.S.* Landschaftsarchäologie im Nordkaukasus // Eurasia Antiqua. Zeitschrift für Archäologie Eurasiens. Band 13. Mainz am Rhein, 2007. Abb. 5, 6, 37, 49, 11, 12, 15, 16.

¹ Выражаем глубокую признательность Г.Е. Афанасьеву за предоставленные материалы из личного архива.

² В монографии опубликованы черно-белые фотографии и рисунки; их цветные варианты предоставлены для публикации Е.Н. Черныхом, за что мы выражаем ему глубокую благодарность.

³ Выражаем глубокую благодарность Е.Н. Черныху за предоставленные материалы из личного архива.

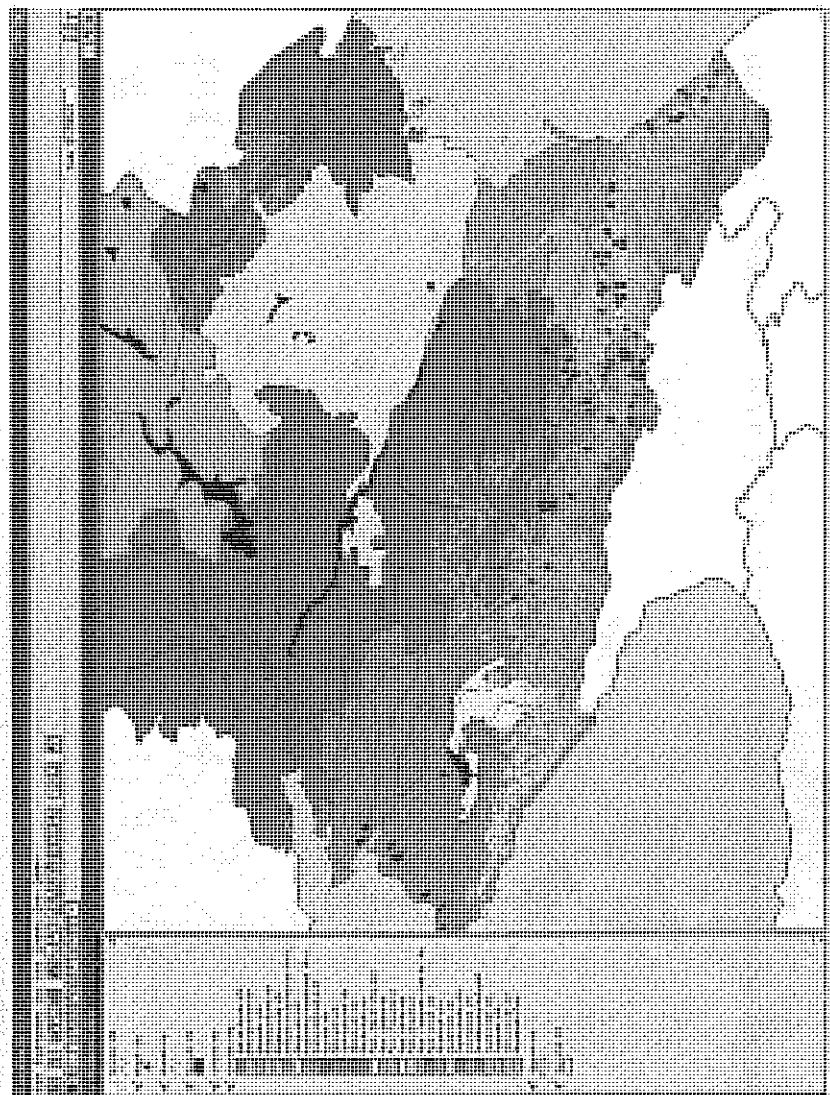


Рис. 1.9. Пример региональной ГИС (катакомбы и могилы Северного Кавказа IV–IX вв.)

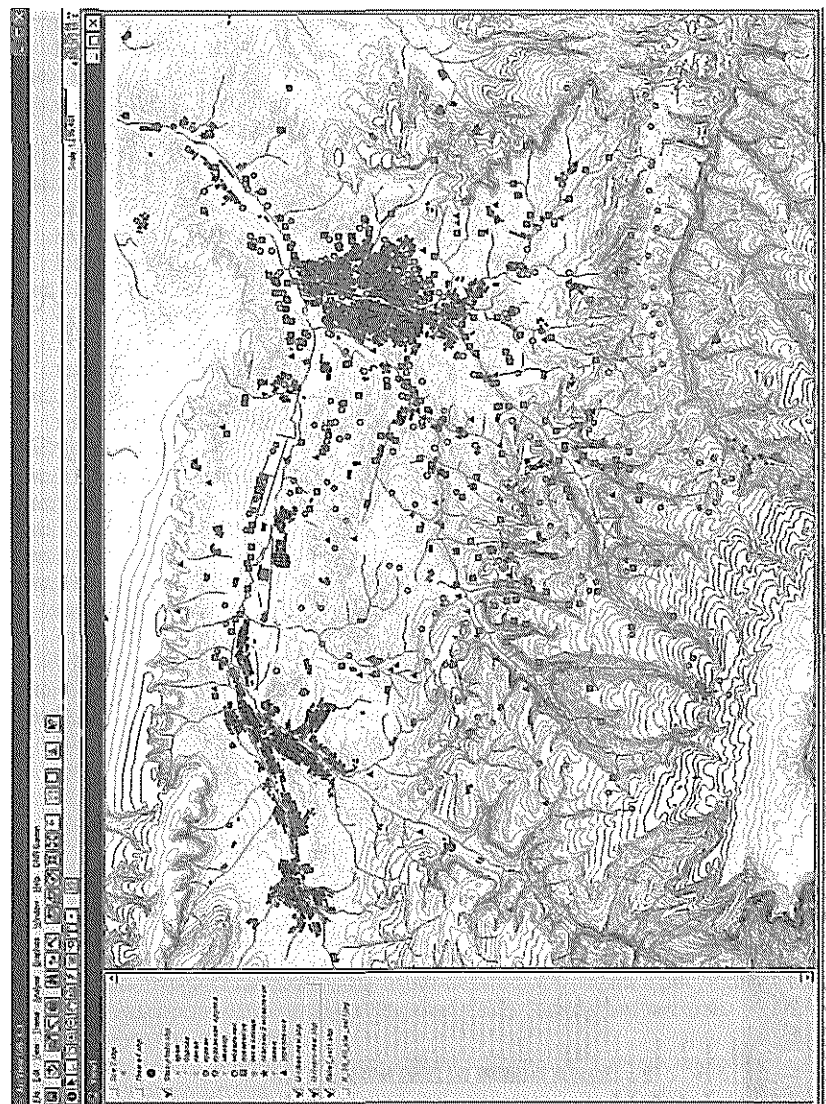


Рис. 1.10. Пример субрегиональной (локальной) ГИС (археологические памятники Кисловодской котловины)

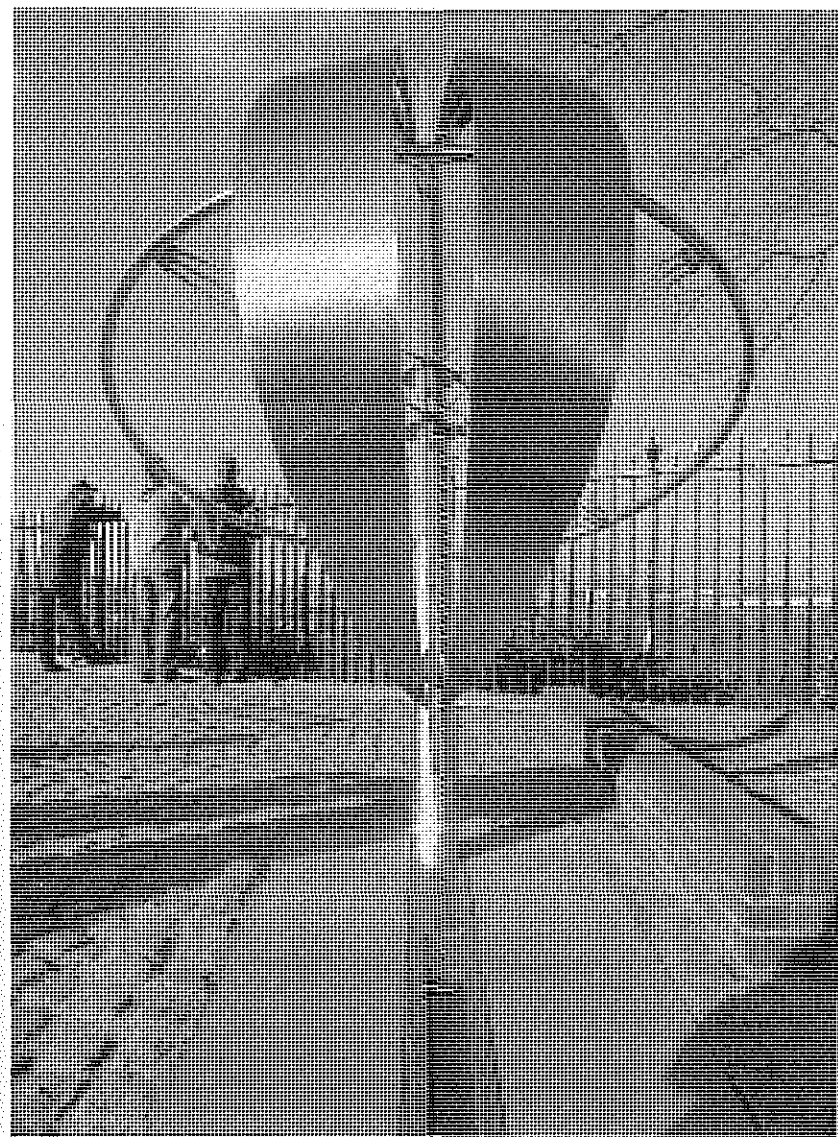


Рис. 2.5. Гринвичский меридиан

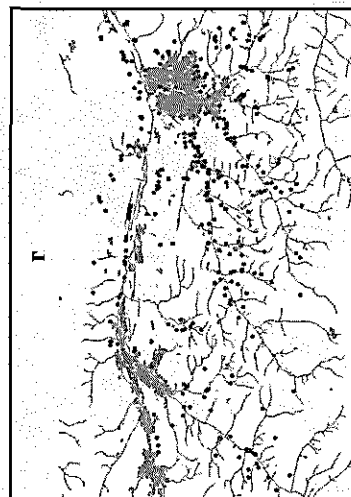
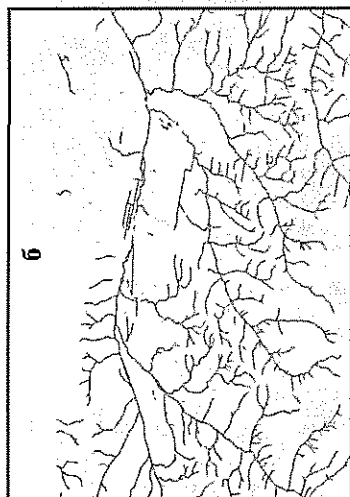
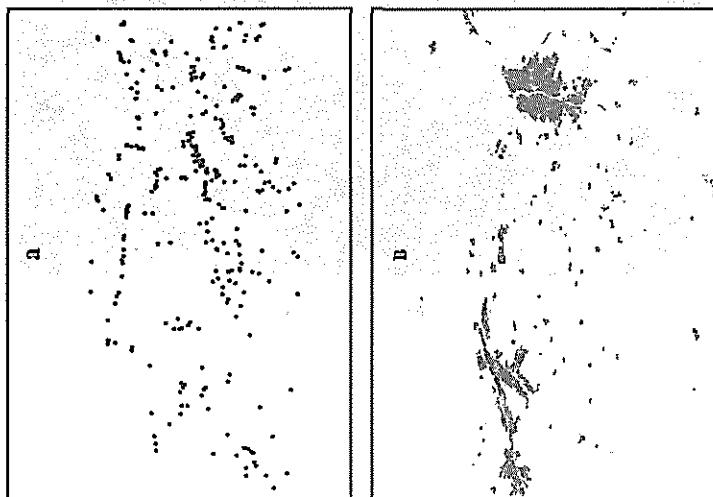


Рис. 2.30. Пример представления векторных данных: а — точки; б — линии; в — полигоны; г — совмещение слоев

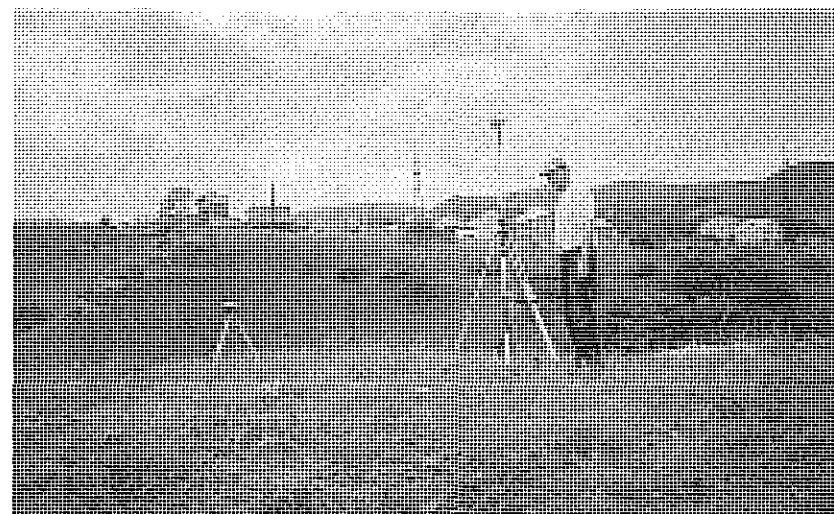


Рис. 3.6. Работа с геодезическим приемником с базовой станцией

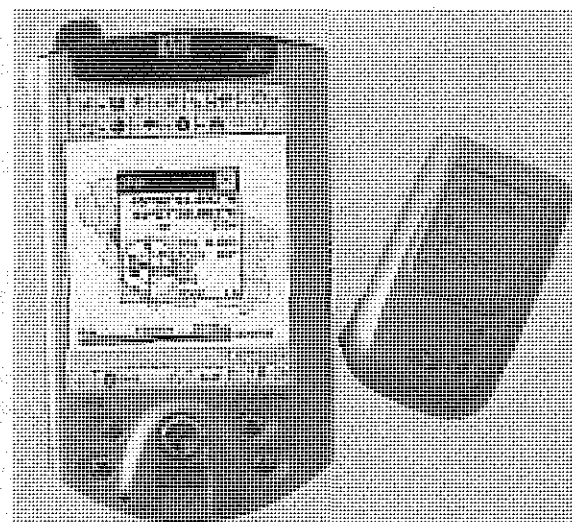


Рис. 3.9. Работа в поле с КПК и мобильной ГИС ArcPAD

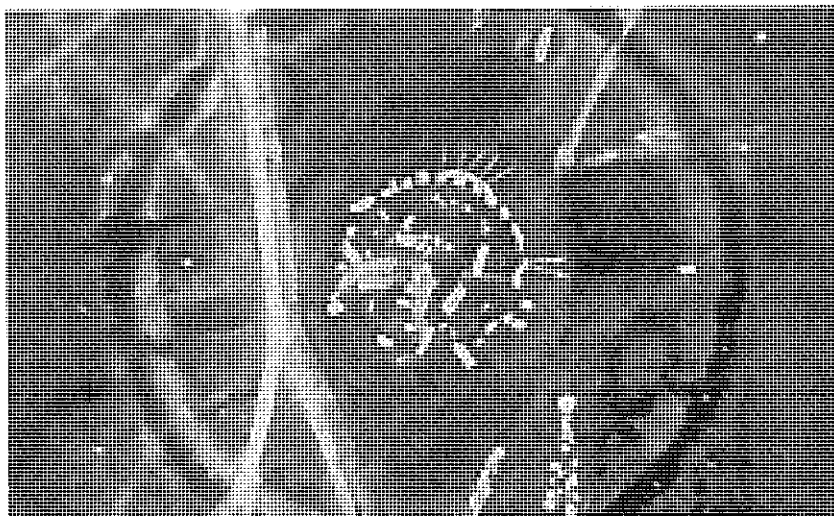


Рис. 4.1. Фотография Стоунхенджа, сделанная с воздушного шара в 1906 г.

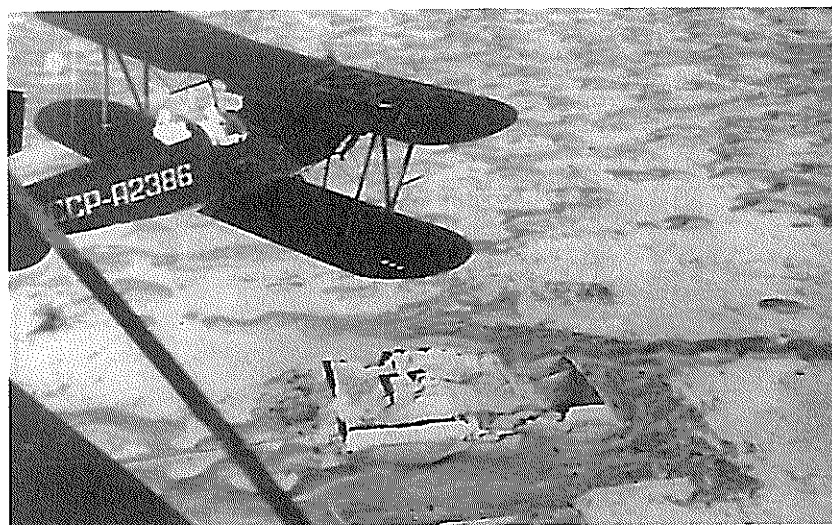


Рис. 4.4. Работы аэроотряда Хорезмской экспедиции АН СССР

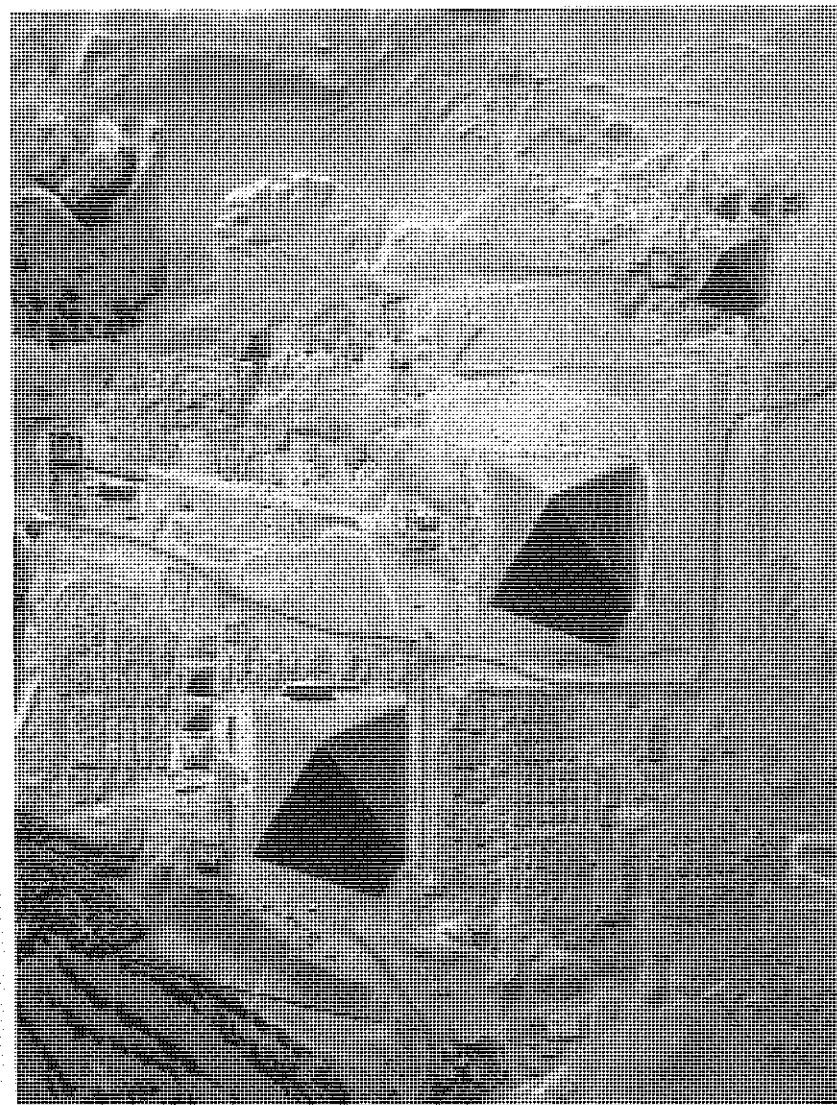


Рис. 4.11. Примеры космической системы сканирования (фотографии с Лены, Енисея)

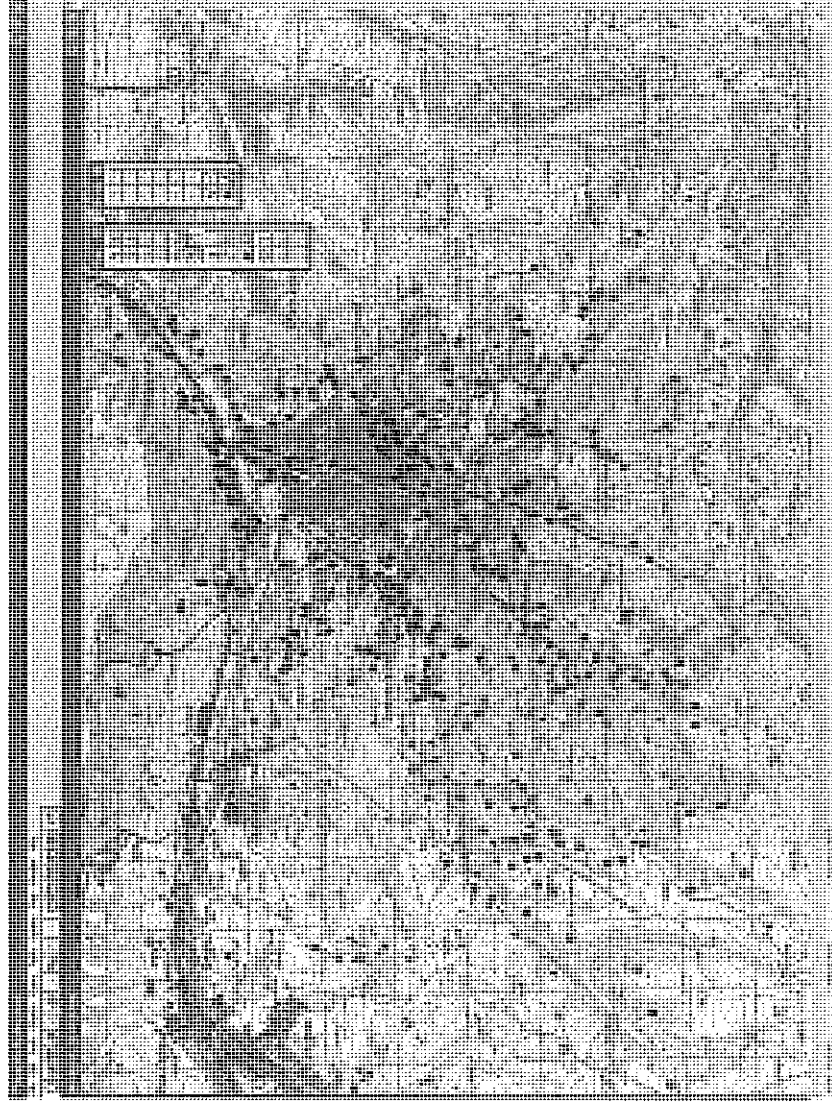


Рис. 5.17. Пример созданной тематической карты в MapInfo 8.0

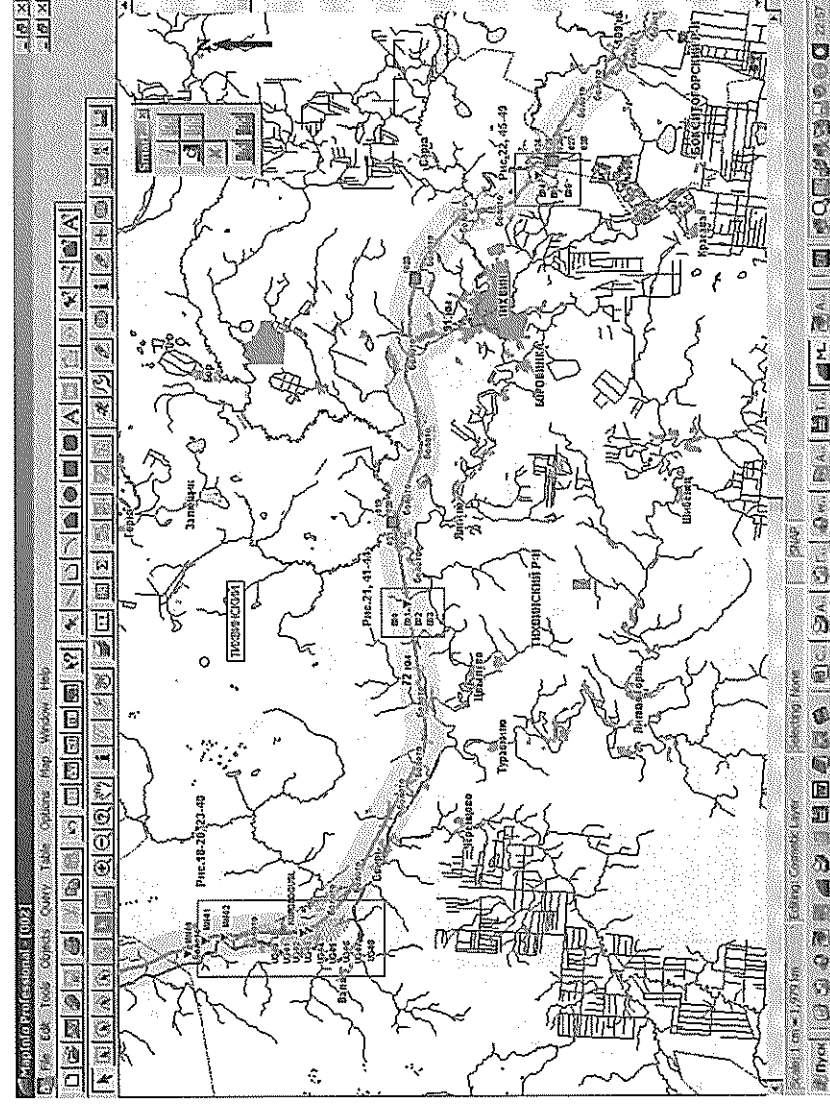


Рис. 5.37. Пример использования АИС «Археограф» при планировании охранных исследований

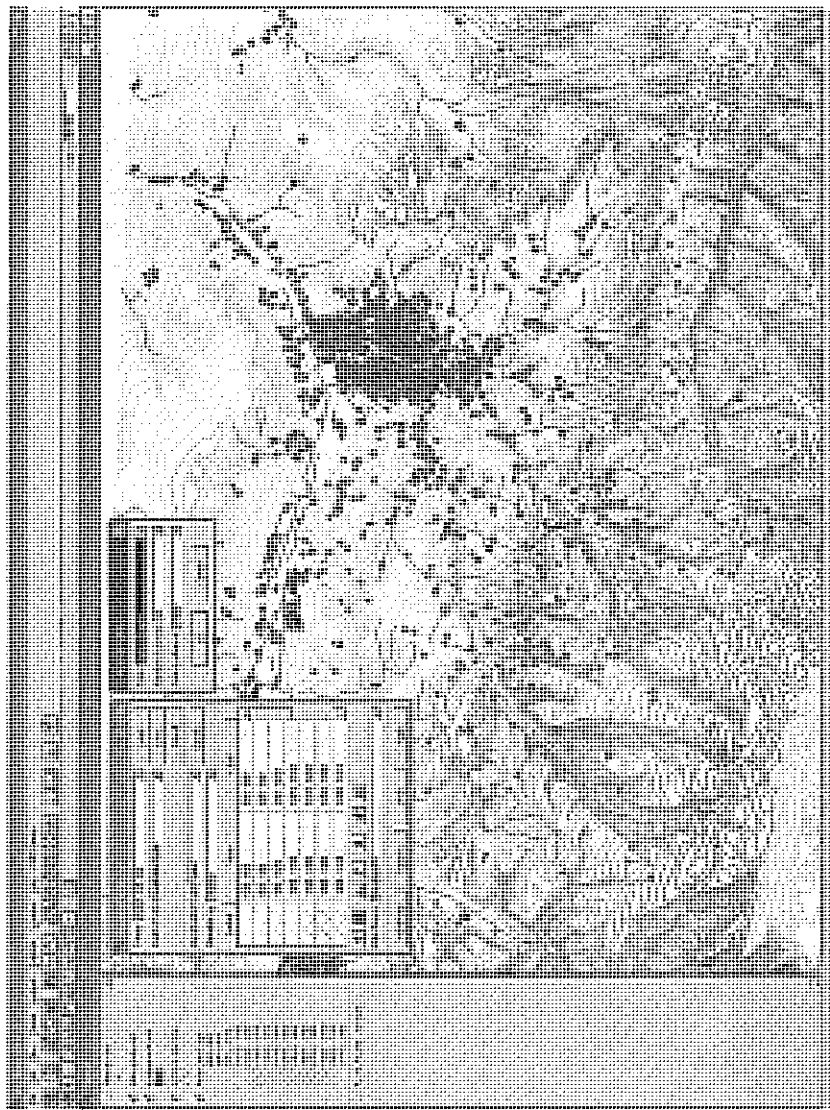


Рис. 6.18. Тематическое картографирование линейных объектов в ArcView 3.3

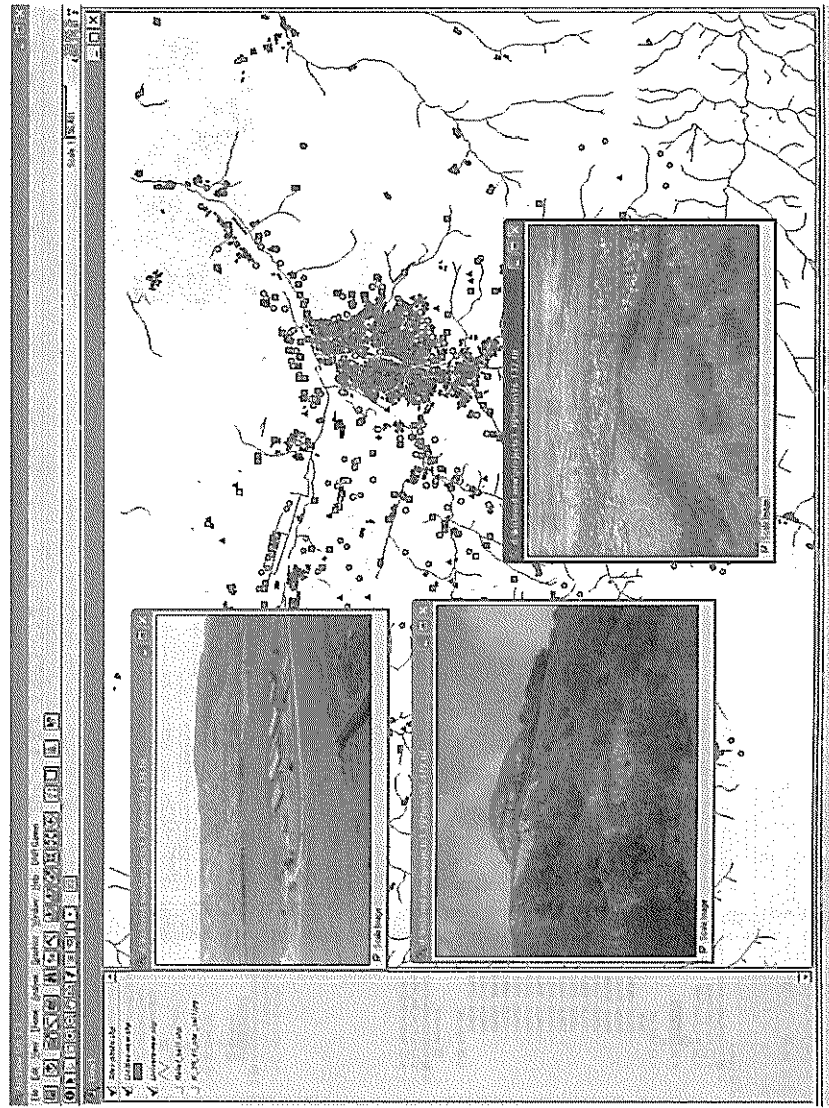


Рис. 6.24. Вывод фотографий объектов с помощью «горячей связи» в ArcView 3.3

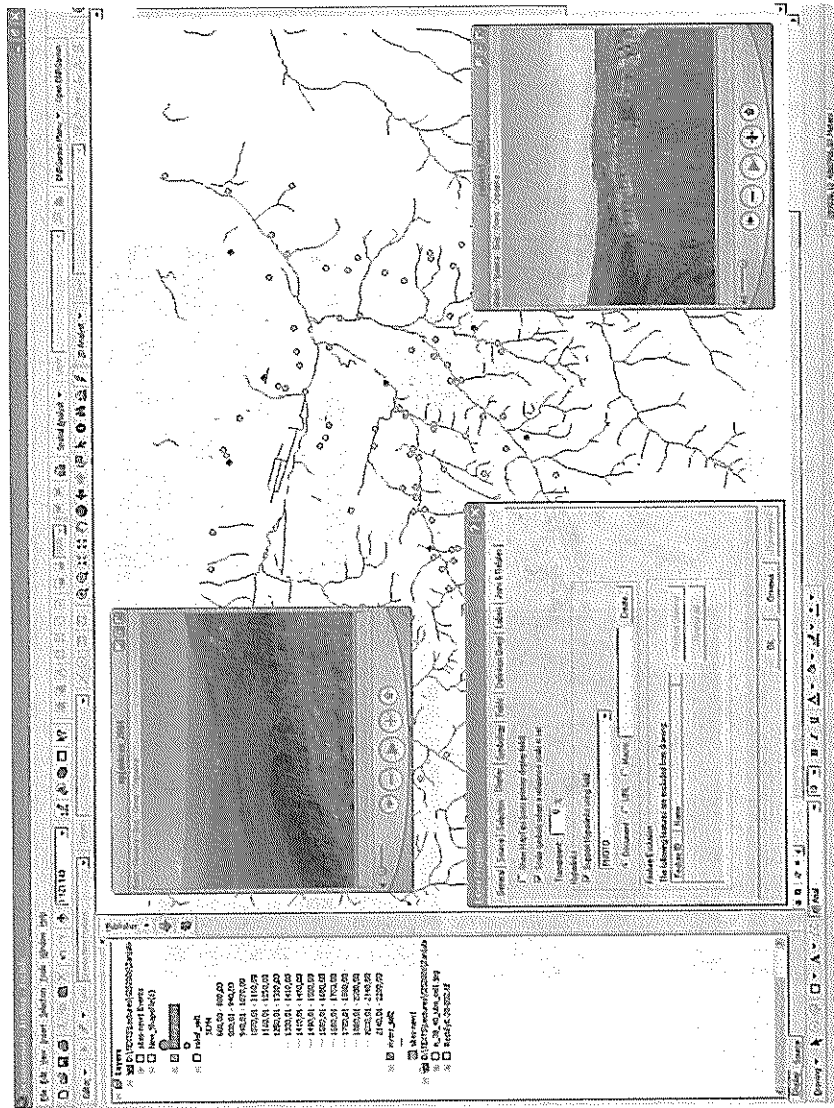


Рис. 7.32. Создание «горизонтальных связей» с объектами карты в ArcMap

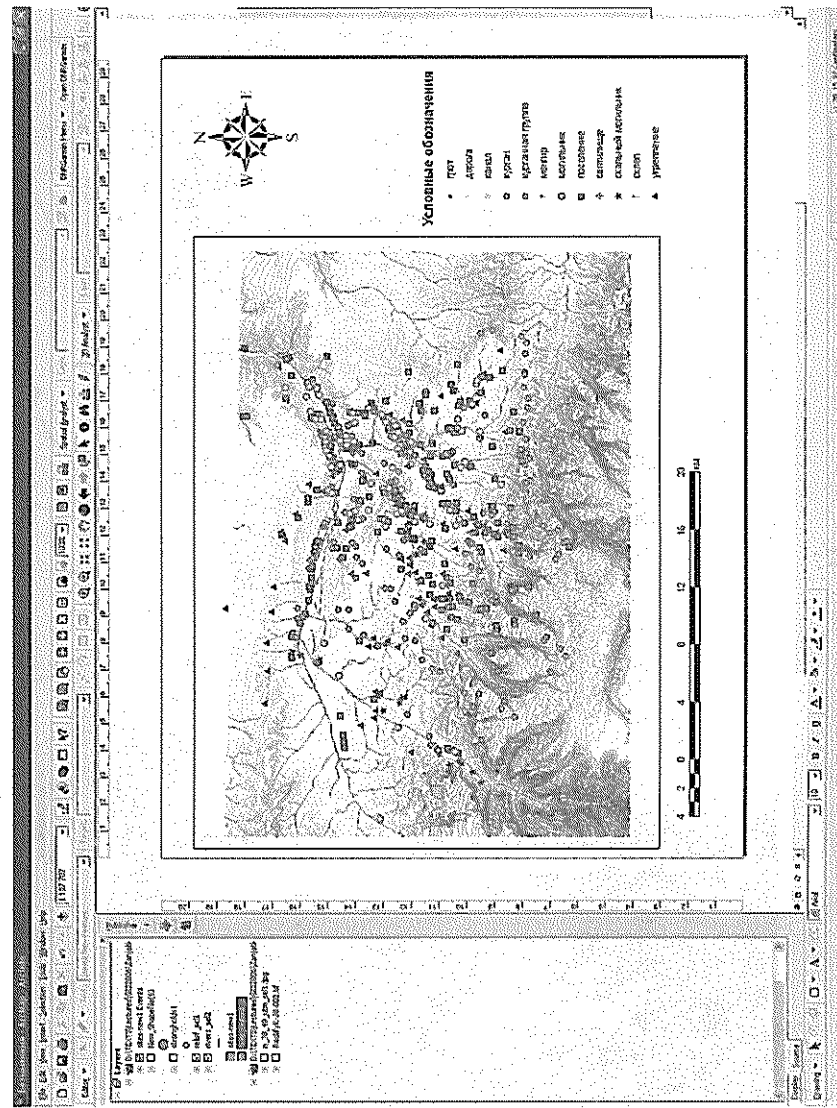


Рис. 7.40. Составление итоговой карты в окне Компьютерной карты ArcMap

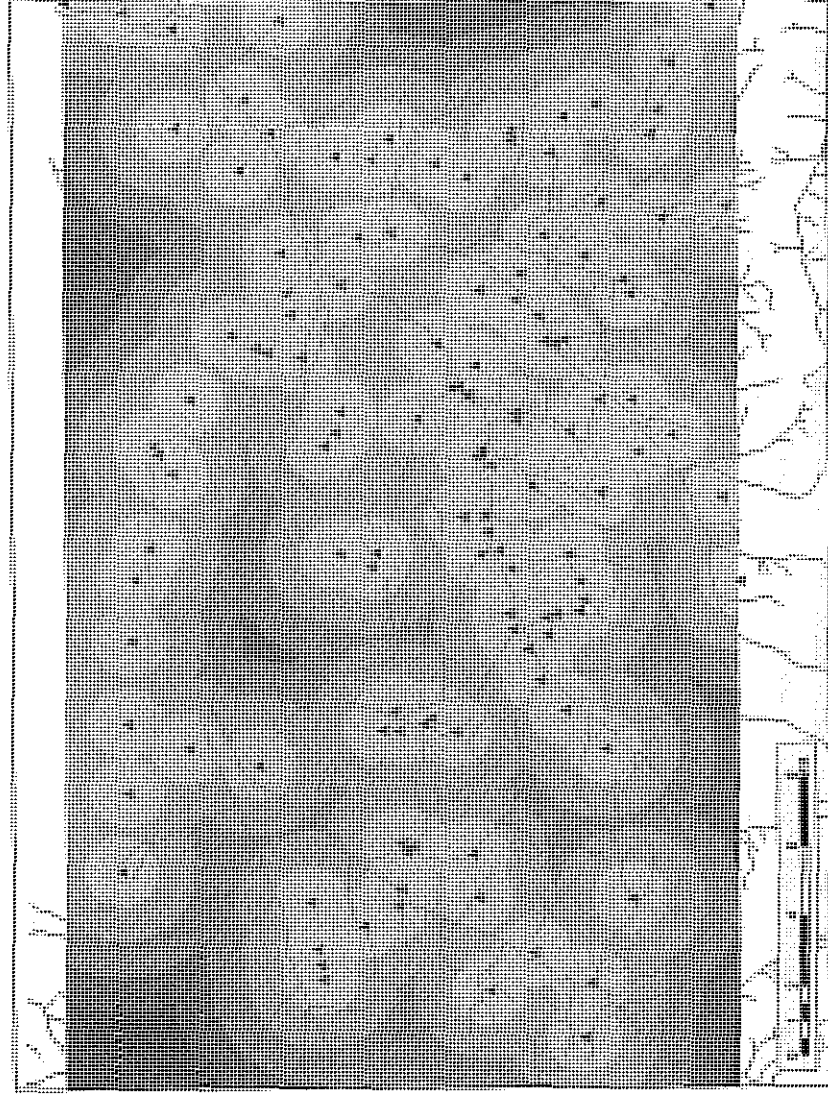


Рис. 8.8. Вычисление ближайшего соседа с помощью модуля Spatial Analyst в ArcGIS



Рис. 8.27. Результат построения полигонов Тиссена в ArcGIS

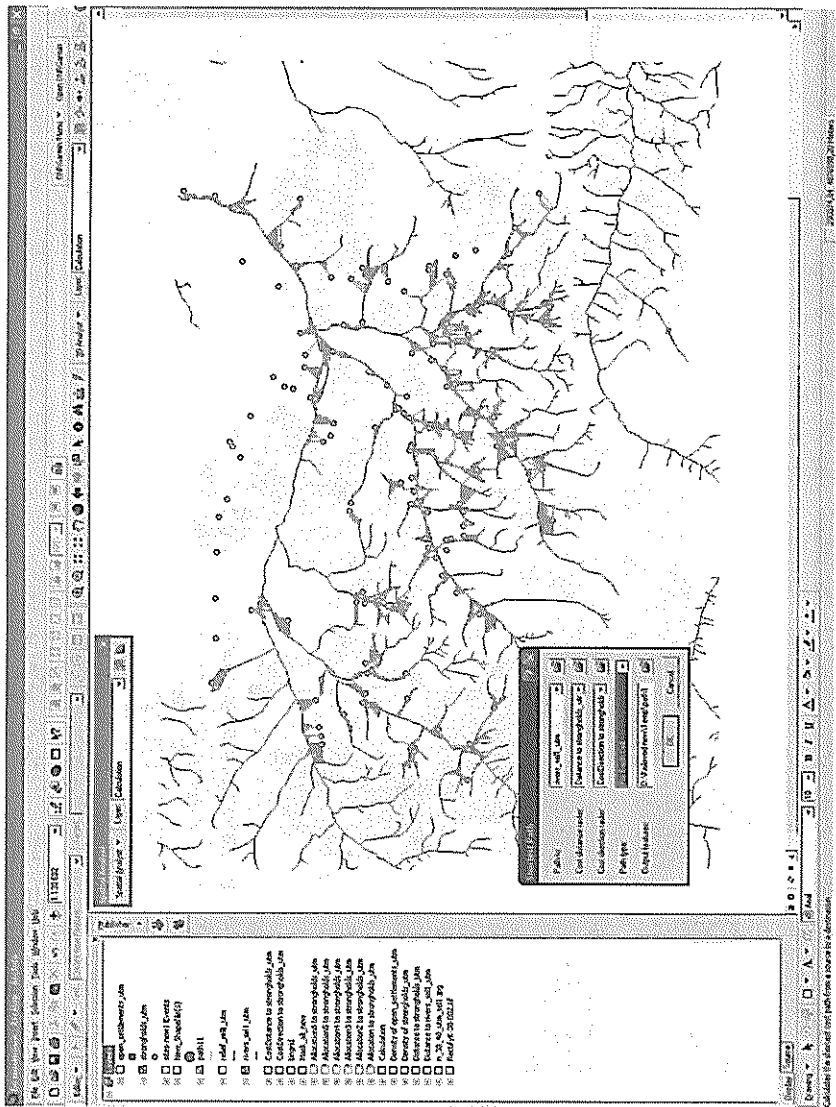


Рис. 8.30. Моделирование кратчайшего пути к реке в радиусе 1 км с помощью Spatial Analyst

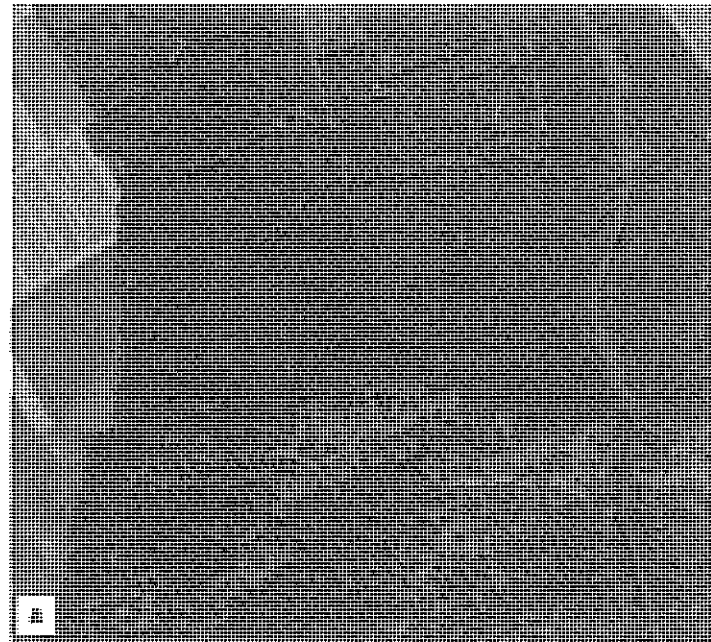
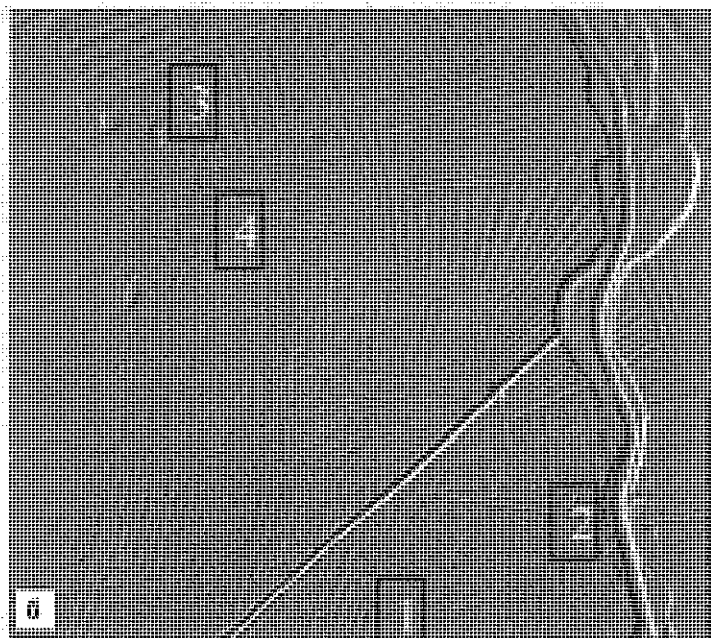
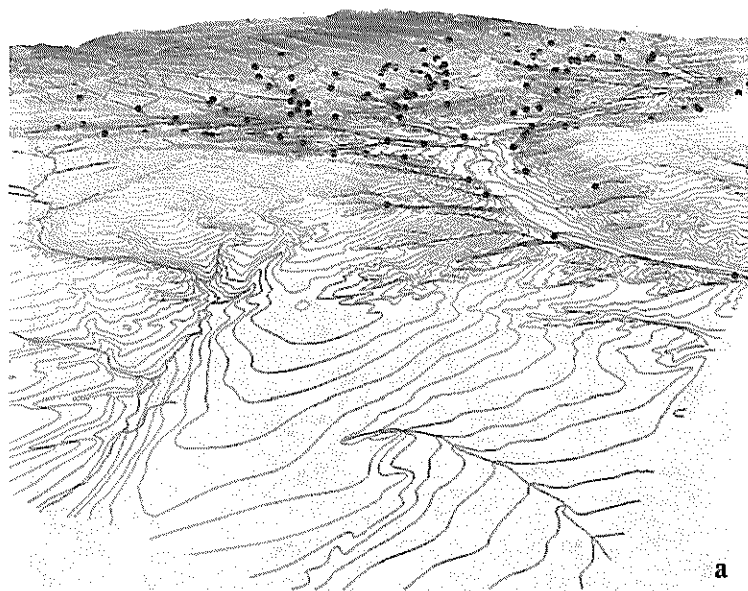
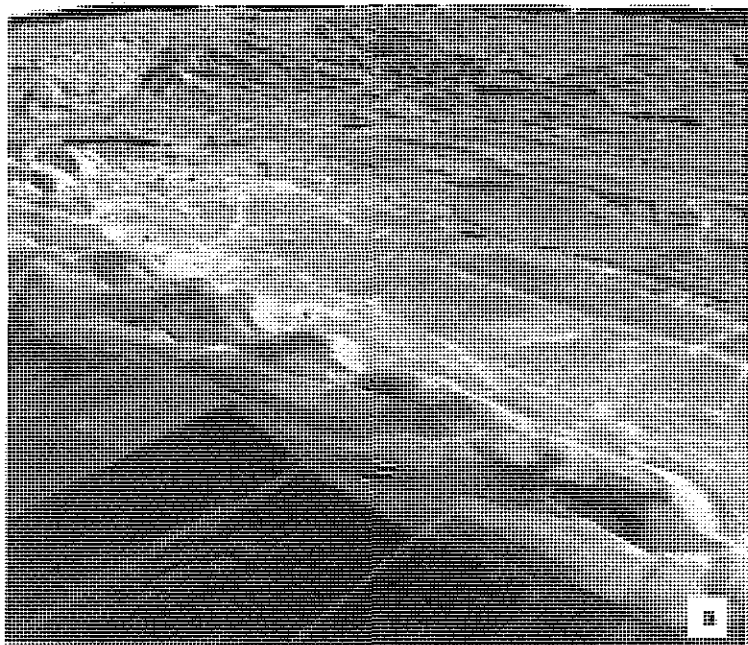


Рис. 9.6. Аэрофотоснимок местности (а) и изображение того же участка, полученное с помощью LIDAR (б), со следами средневековых наделов

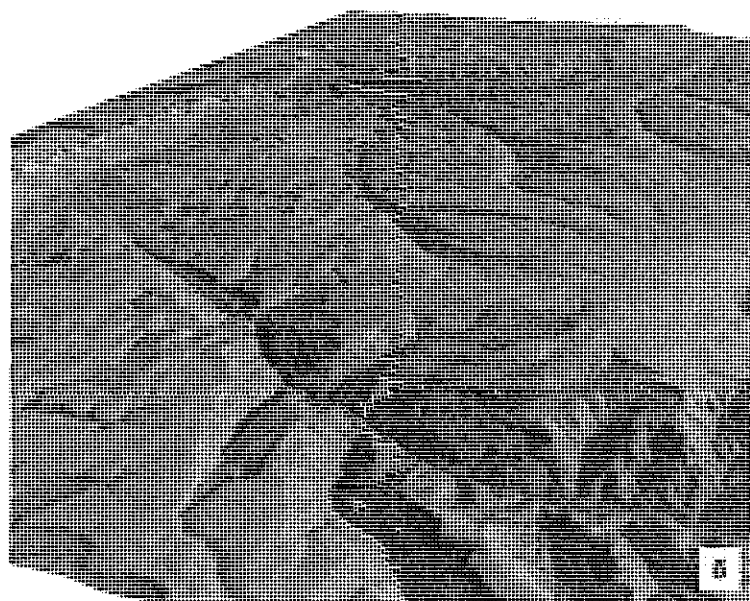


а

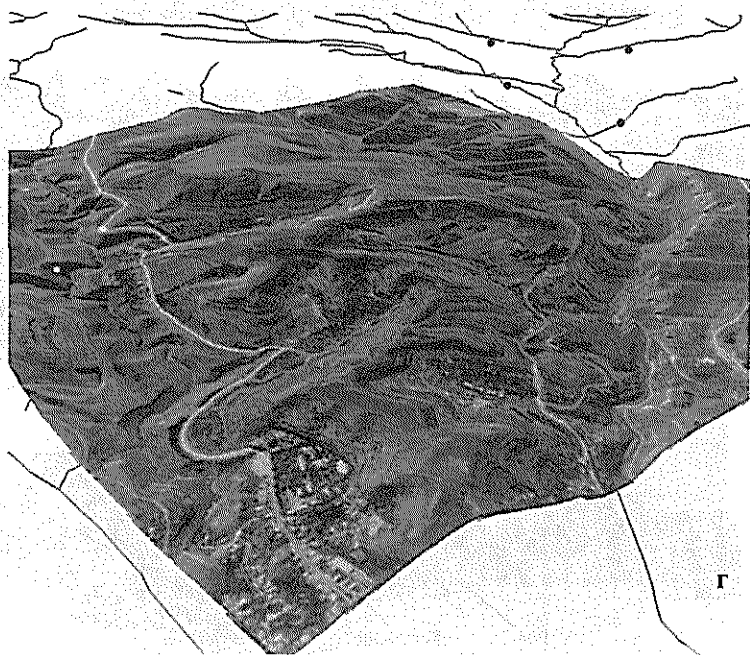


а

Рис. 9.24. Представление в трехмерном виде разных видов данных: а — векторный слой рельефа местности; а — космоснимок КФА-1000



а



г

Рис. 9.24. Представление в трехмерном виде разных видов данных: б — космоснимок LANDSAT; г — аэрофотоснимок

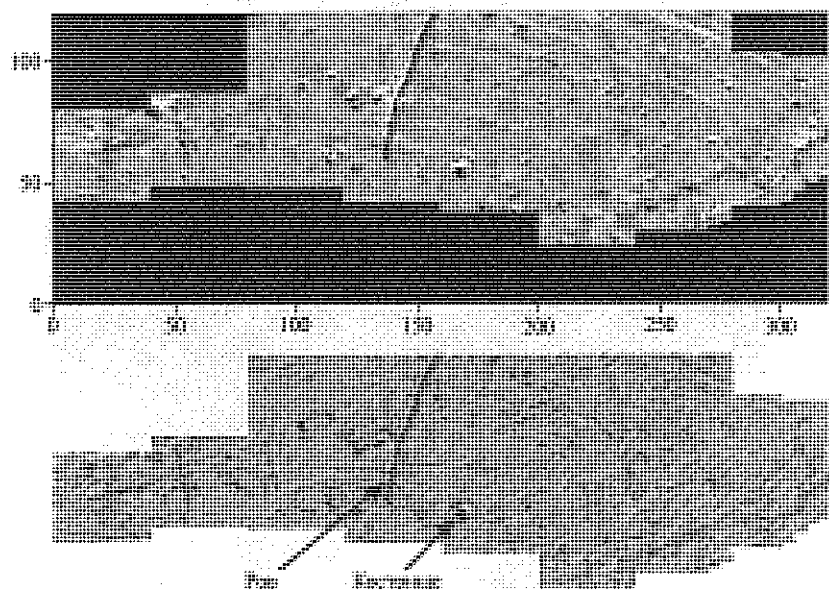


Рис. 10.9. Магнитометрия на поселении Боргустанское 4 близ Кисловодска (внизу), выполненная И. Фассбиндером (вверху)



Рис. 10.11. Плановый вид поселения Боргустанское 4, выполненная И. Ф. Фассбиндером

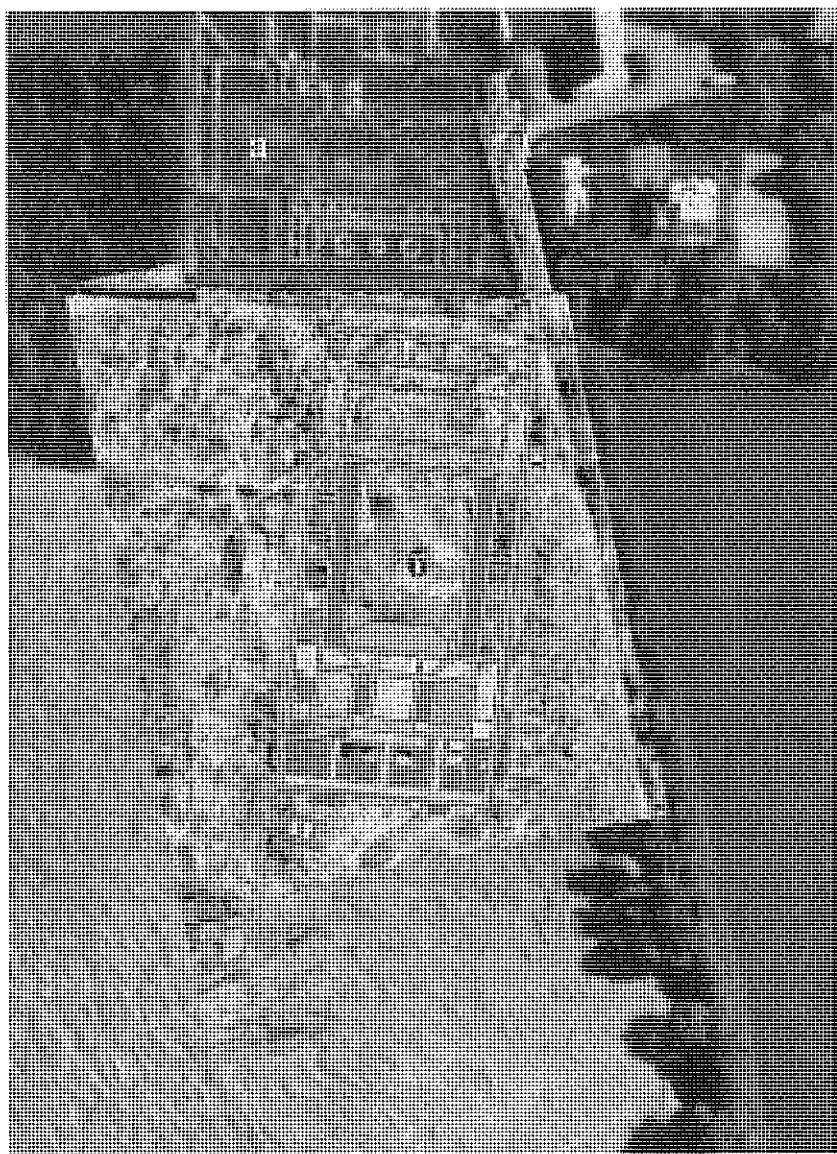


Рис. 11.8. Плановые разновременные (а) и перекрывающиеся (б) жилища раннеголоценов, реконструированные по данным археологии (Корсунский, Афанасьев)

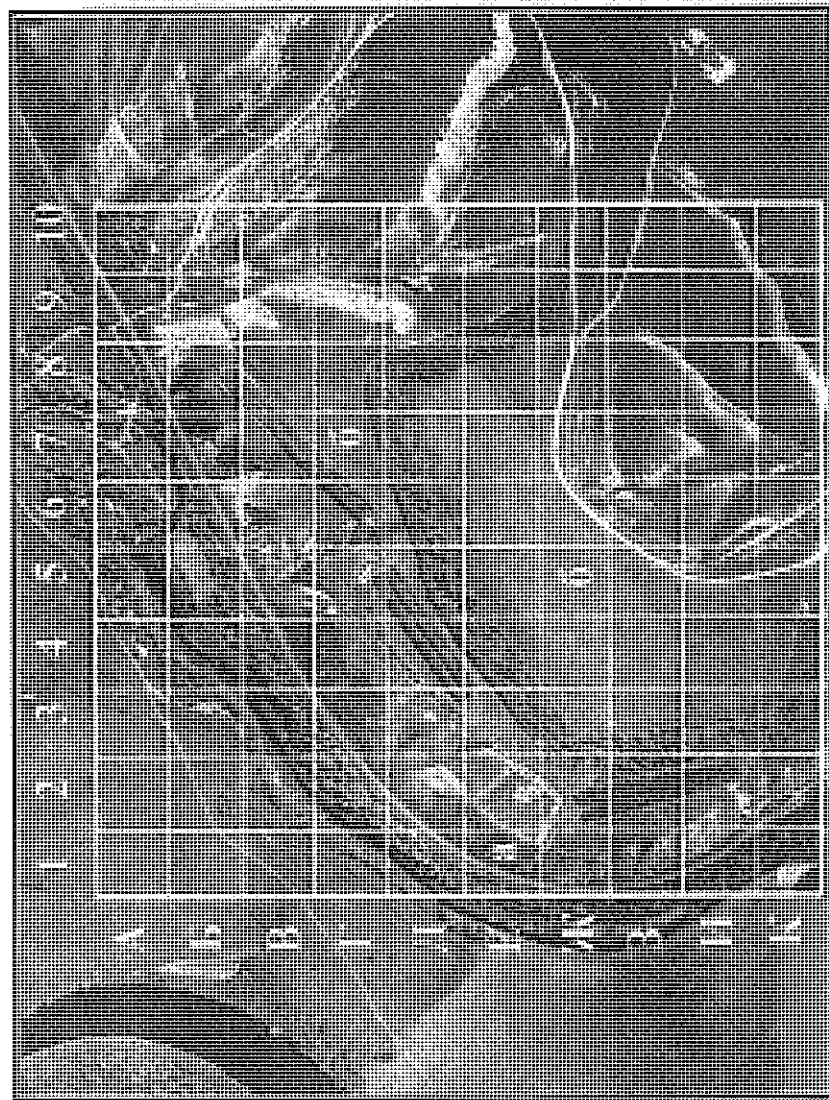
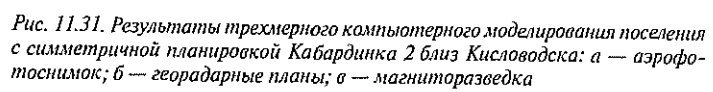
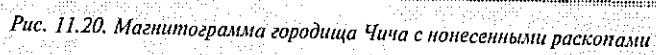


Рис. 11.9. Аэрофотоснимок Мачковского археологического комплекса (а — крепость, б — селище)



Предисловие 5

Глава 1. Введение в географо-информационные системы 7

1.1. Что такое географо-информационная система? 7

1.2. Отличие ГИС от компьютерной картографии 8

1.3. История использования ГИС 9

1.4. Составные части, подсистемы и процедуры ГИС 11

1.5. Типы ГИС 14

1.6. Применение ГИС в археологии 16

Глава 2. Основы картографии 20

2.1. Развитие представлений о фигуре Земли 20

2.2. Географическая система координат 20

2.3. Референц-эллипсоиды 22

2.4. Представление о проекции 24

2.5. Этапы развития мировой картографии 27

2.6. История картографии в России 30

2.7. Главные масштабы и номенклатура карт 32

2.8. Представления картографических данных, используемые в ГИС 34

Пример 1 36

Глава 3. Использование данных глобального спутникового позиционирования 38

3.1. Что такое GPS? 38

3.2. История создания систем спутникового позиционирования 39

3.3. Основные характеристики GPS-измерений 41

3.4. Факторы, влияющие на погрешность в определении координат 44

3.5. Использование карманных персональных компьютеров (КПК) с GPS 45

3.6. Загрузка данных GPS в компьютер 46

3.7. Основы работы с GARMIN GPSmap 60CSx 48

Глава 4. Данные дистанционного зондирования в археологии 55

4.1. Что такое дистанционное зондирование? 55

4.2. История применения аэрофотосъемки в археологии 56

4.3. Развитие аэрофотометодов в СССР 56

4.4. Демаскирующие признаки археологических объектов 58

4.5. Виды аэрофотосъемки 59

4.6. Применение космических данных дистанционного зондирования 62

4.7. Картографирование результатов дешифрирования ДДЗ 67

Глава 5. Основы работы с настольной ГИС MapInfo 8.0 70

5.1. Основные элементы программы MapInfo Professional 8.0 70

5.2. Первые шаги работы с программой MapInfo 72

5.3. Работа в MapInfo с программой «Археограф» 78

Глава 6. Основы работы с настольной ГИС ArcView 3.3 82

6.1. Основные элементы программы ArcView 3.3 83

6.2. Первые шаги в освоении программы ArcView GIS 3.3 86

Глава 7. Основы работы с настольной ГИС ArcGIS 9. 94

7.1. Структура программы ArcGIS 9 94

7.2. Первые шаги в освоении ArcMap 101

Пример 2 109

Глава 8. Введение в пространственный анализ 111

8.1. Применение пространственного анализа в археологических исследованиях 111

8.2. Анализ пространственных структур в археологии 112

8.3. Практическое применение пространственного анализа в ГИС 119

Пример 3 124

Глава 9. Использование трехмерных моделей в ГИС 125

9.1. Способы создания трехмерной виртуальной реальности 126

9.2. Способы построения ЦМР 129

9.3. Построение ЦМР в программе ArcGIS 9 130

9.4. Трехмерный анализ в ГИС 131

9.5. Визуализация и анимация трехмерных моделей в программе ArcScene 136

Пример 4 140

Глава 10. Геофизические методы в археологии 142

10.1. Общие сведения о геофизике 142

10.2. Причины применения геофизических методов в археологии 144

10.3. Краткая история применения геофизических методов в зарубежной археологии 145

10.4. История применения геофизических методов в отечественной археологии 146

10.5. Использование магнитометрии в археологии 148

10.6. Электроразведка в археологии 153

10.7. Георадарные исследования 155

10.8. Использование сейсморазведки в археологии 157

Глава 11. Недеструктивные методы и комплексный подход в современной археологии 159

11.1. Международные принципы управления археологическим наследием 159

11.2. Комплексные проекты в археологии 161

11.3. Примеры комплексных проектов в Австрии 163

11.4. Примеры комплексных проектов в России 164

Заключение 174

Список литературы и Интернет-ресурсов 177

Список источников иллюстраций 188

Иллюстрации 195

Учебное пособие

Дмитрий Сергеевич КОРОБОВ
ОСНОВЫ ГЕОИНФОРМАТИКИ
В АРХЕОЛОГИИ

Редактор *Е.А. Пермякова*
Художественный редактор *Ю.М. Добрянская*
Переплет *В.А. Чернецов*
Технический редактор *З.С. Кондрашова*
Корректор *В.А. Ветров*
Компьютерная верстка *К.В. Москалев*

Подписано в печать 05.08.2011.
Формат 60×90 1/16. Бумага офсетная № 1.
Гарнитура НьютонС. Офсетная печать.
Усл. печ. л. 14,0. Уч.-изд. л. 12,0.
Тираж 750 экз. Изд. № 9371. Заказ № 3607.

Ордена «Знак Почета»
Издательство Московского университета.
125009, Москва, ул. Большая Никитская, 5/7.

Тел.: 629-50-91. Факс: 697-66-71.
939-33-23 (отдел реализации).
E-mail: secretary-msu-press@yandex.ru

Сайт Издательства МГУ: www.msu.ru/depts/MSUPubl2005
Интернет-магазин: <http://msupublishing.ru>