

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тульский государственный педагогический университет
им. Л. Н. Толстого»

С. Л. СМЕКАЛОВ

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЕ МЕТОДЫ
В АРХЕОЛОГИИ**

Учебное пособие

Тула
Издательство ТГПУ им. Л. Н. Толстого
2014

ББК 63.4я73
С50

Рецензенты:

кандидат технических наук, профессор *В. В. Волков*
(ООО «ИНГЕОСЕРВИС»);
кандидат технических наук, доцент *А. И. Дорохов*
(Балтийский государственный технический университет
«Военмех» им. Д. Ф. Устинова)

Смекалов, С. Л.

С50 Информационные технологии и естественнонаучные методы в археологии: Учеб. пособие / С. Л. Смекалов. – Тула: Изд-во Тул. гос. пед. ун-та им. Л. Н. Толстого, 2014. – 134 с.

ISBN 978-5-87954-883-9

Учебное пособие включает в себя 7 разделов, соответствующих семи лекциям («Основы картографии», «Основы спутниковой навигации», «Базы данных», «Геоинформационные системы», «Использование данных дистанционного зондирования в археологии», «Геофизические методы в археологии», «Некоторые естественнонаучные методы датировки археологических объектов и выявления археологических памятников»), и четыре практических занятия («Определение координат точек и расстояний по топографической карте», «Работа с GPS-приемником», «Подготовка базы данных по археологическому памятнику с использованием СУБД Access», «Создание ГИС по археологическому памятнику с использованием программы MapInfo»). Пособие снабжено электронным CD-носителем с многочисленными иллюстрациями, материалом для создания учебной базы данных, а также списком литературы и интернет-ссылок.

Издание предназначено студентам высших учебных заведений, специализирующимся в области археологии, истории, и широкому кругу читателей, интересующихся применением информационных технологий и естественнонаучных методов в археологии.

ББК 63.4я73

*Издание осуществлено в рамках задания Минобрнауки РФ
№ 2014/389 (НИР № 1799)*

ISBN 978-5-87954-883-9

© С. Л. Смекалов, 2014
© ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| Предисловие | 5 |
| Глава 1 | |
| Основы картографии | 7 |
| Геодезическая основа географических карт | 7 |
| Масштаб географических карт | 13 |
| Картографические проекции | 16 |
| Оформление топографической карты | 25 |
| Основные этапы развития картографии в России | 28 |
| Возможности использования топографических карт в исторических исследованиях | 30 |
| <i>Вопросы для самоконтроля к главе 1</i> | 32 |
| <i>Практическое занятие 1. Определение координат точек и расстояний по топографической карте</i> | 32 |
| Глава 2 | |
| Основы спутниковой навигации | 35 |
| История развития методов определения координат | 35 |
| Принцип работы спутниковых навигационных систем | 38 |
| Общая характеристика систем ГЛОНАСС и GPS | 39 |
| Космический сегмент спутниковых навигационных систем | 40 |
| Сегмент управления спутниковых навигационных систем | 42 |
| Сегмент пользователя спутниковых навигационных систем | 42 |
| Сигналы GPS-спутников | 45 |
| Методы определения координат | 47 |
| Базовый (простой) GPS-метод | 47 |
| Дифференциальный GPS-метод | 49 |
| Режимы включения GPS-приемника | 50 |
| Основные функции одночастотных кодовых GPS-навигаторов | 51 |
| <i>Вопросы для самоконтроля к главе 2</i> | 52 |
| <i>Практическое занятие 2. Работа с GPS-приемником</i> | 53 |
| Глава 3 | |
| Базы данных (БД) | 55 |
| Базы и банки данных, системы управления базами данных | 55 |
| Виды БД, используемых в археологии | 56 |
| Построение БД | 57 |
| Анализ предметной области и содержания проектируемой БД | 57 |
| Построение инфологической модели БД | 59 |
| Даталогическое проектирование БД | 61 |
| Физическое проектирование БД | 69 |
| <i>Вопросы для самоконтроля к главе 3</i> | 70 |
| <i>Практическое занятие 3. Подготовка БД по археологическому памятнику с использованием СУБД Access</i> | 70 |

| | |
|--|-----|
| Глава 4 | |
| Геоинформационные системы (ГИС) | 73 |
| Общие сведения о ГИС | 73 |
| Структура ГИС в компьютере | 75 |
| Представление данных в ГИС | 76 |
| Инструменты анализа ГИС | 83 |
| <i>Вопросы для самоконтроля к главе 4</i> | 86 |
| <i>Практическое занятие 4. Создание ГИС по археологическому памятнику с использованием программы MapInfo</i> | 87 |
| Глава 5 | |
| Использование данных дистанционного зондирования в археологии | 92 |
| Понятие дистанционного зондирования | 92 |
| Способы дистанционного зондирования | 93 |
| Признаки археологических объектов на аэро- и космических снимках | 100 |
| <i>Вопросы для самоконтроля к главе 5</i> | 101 |
| Глава 6 | |
| Геофизические методы в археологии | 102 |
| Общая характеристика геофизических методов | 102 |
| Магниторазведка | 103 |
| Электроразведка | 110 |
| Радиолокационные методы | 114 |
| Сейсморазведка | 118 |
| <i>Вопросы для самоконтроля к главе 6</i> | 119 |
| Глава 7 | |
| Некоторые естественнонаучные методы датировки археологических объектов и выявления археологических памятников | 121 |
| Методы датировки археологических объектов | 121 |
| Радиоуглеродный анализ | 122 |
| Дендрохронологический анализ | 124 |
| Спорово-пыльцевой анализ | 124 |
| Термолюминесцентное (ТЛ) датирование | 125 |
| Оптическое датирование | 125 |
| Датировка методом электронного парамагнитного резонанса | 126 |
| Датировка археомагнитным методом | 126 |
| Выявление территории археологического памятника при помощи фосфатного анализа | 127 |
| <i>Вопросы для самоконтроля к главе 7</i> | 128 |
| Заключение | 129 |
| Литература | 132 |
| Список источников иллюстраций | 135 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

Археология – наука, изучающая первобытные, античные и средневековые вещественные источники и восстанавливающая по ним историческое прошлое человеческого общества. Современные информационные технологии и естественнонаучные методы открывают новые возможности как для планирования и рациональной организации полевых работ, так и для интерпретации получаемых в процессе археологических исследований результатов. Этим технологиям и методам посвящены десятки, если не сотни монографий и публикаций в журналах, изучение которых требует значительного времени.

Для «чистого» археолога наиболее значимым является не доскональное изучение этих методов и технологий, но представление о том, что может дать тот или иной метод, понимание, в каких случаях целесообразно использовать услуги узких специалистов по этим методам. Например, археологу неважно, с помощью каких приборов выполнена магниторазведка и какие программы использовались для построения магнитных карт, но понимать сами карты ему следует уметь.

Данное пособие кратко и, насколько удалось автору, популярно знакомит студентов с основами картографии, системами спутниковой навигации, теорией баз данных, геоинформационными системами (ГИС), геофизическими и дистанционными методами, используемыми в археологии, а также с некоторыми естественнонаучными методами, применяемыми для датировки археологических объектов. Основное внимание автор хотел уделить описанию самих методов, лишь в некоторых случаях останавливаясь более подробно на истории их развития и использования. Представления об основах картографии, спутниковой навигации и базах данных необходимы как сами по себе для практической работы в поле и лаборатории, так и для освоения геоинформационных систем, что и определяет последовательность изложения этих вопросов. Остальные разделы непосредственно не связаны друг с другом и темой геоинформатики. Их включение в пособие связано с его основной целью – дать более полное представление о применении естественнонаучных методов в археологии, чем это обычно делается в общих курсах археологии.

В основе данного учебного пособия лежит курс лекций, который читался автором в течение последних лет студентам факультета истории и права Тульского государственного педагогического университета им. Л. Н. Толстого. Автор считает своим долгом поблагодарить преподавателей исторического факультета ТГПУ за организационную помощь в проведении специального курса, особенно профессора кафедры всеобщей истории и археологии доктора исторических наук В. Г. Зубарева.

Отдельно хочется выразить благодарность кандидату исторических наук руководителю группы «Археолого-геоинформационных систем» Института археологии РАН Д. С. Коробову, который читает подобный курс в Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова. Представленные им автору для ознакомления презентации лекций¹ оказали существенное влияние на подготовку данного учебного пособия.

¹ В 2011 г. вышла в свет книга Д. С. Коробова «Основы геоинформатики в археологии».

ГЛАВА 1. ОСНОВЫ КАРТОГРАФИИ

Карта – это уменьшенное, обобщенное, условное изображение земной поверхности, построенное по определенным математическим законам и оформленное в соответствии с принятыми правилами. Математические законы определяют, как отображать Землю, являющуюся объемным телом сложной формы, близкой к шару на плоскости.

Математическую основу географических карт составляют три элемента: 1) выбранный эллипсоид или геодезическая основа²; 2) масштаб; 3) картографическая проекция.

Геодезическая основа географических карт

Представления о том, что Земля имеет сферическую форму, по видимому, возникли в Древней Греции в VI–V вв. до н. э. Дошедшие произведения более поздних античных источников приписывают эту идею разным авторам: Анаксимандру, Пифагору, Пармениду. К VI–III вв. до н. э. относятся и первые данные о размерах Земли. Аристотель в своей книге «О небе» приводит значение длины окружности Земли в 400 000 стадий, что примерно в два раза превышает современное³. Более точно значение в 250 000 стадий определил Эратосфен⁴.

Далее вплоть до конца XVII в. размеры Земли уточнялись в трудах ученых Востока и Запада, однако представление о ней как о шаре оставалось неизменным. Здесь можно отметить труды китайского астронома И-Синь (683–727 гг.) времен правления династии Тан, работы, выполненные по повелению багдадского халифа Абуль-Аббаса Абдуллаха аль-Мамуна (786–833 гг.) из династии Аббасидов, работы выдающегося узбекского ученого-энциклопедиста Бируни (Беруни) Абу Райхан (973–1048 гг.). В результате этих исследований наряду с другими показателями была определена длина дуги градуса земного меридиана.

Уточнение этой длины было проведено несколькими европейскими учеными. В 1528 г. Жан Фернель (не путать с выдающимся физиком Опюстенном Жаном Френелем) подсчитал число оборотов колеса экипажа от Парижа до Амьена, которому соответствовало изменение широты на 1 гра-

² Геоде́зия (др.-греч. γεωδασία – «деление земли», от γῆ – Земля и δασίω – «делю»). На местности геодезической основой топографических карт различных масштабов служит государственная опорная геодезическая сеть – совокупность опорных геодезических пунктов, размещенных по всей стране, координаты которых определяются в соответствии с принятым земным эллипсоидом.

³ Современные значения параметров Земли: экваториальный радиус – 6378 км, полярный радиус – 6357 км, средний радиус Земли – 6371 км, длина экватора – 40076 км, длина меридиана – 40 008 км.

⁴ Здесь, конечно, надо учитывать, что величина самого стадия – вопрос дискуссионный.

дус, и получил значение длины дуги 110,6 км. В 1615 г. голландский ученый Виллеброрд Снеллиус с помощью изобретенного им метода триангуляции определил длину меридиана между Алькмаром и Бергеном и получил значение 107 335 м. Другими исследователями был выполнен еще ряд аналогичных измерений.

В работах подобного рода особое место заняли труды члена Парижской академии Жана Пикара, написанные в 1669–1670 гг. Он впервые использовал в угломерных инструментах вместо диоптров⁵ зрительные трубы и получил значение длины дуги градуса меридиана (тоже между Парижем и Амьеном) 111 210 м, что лишь на 30 м больше значения, определяемого в наше время. Он же первым высказал предположение, что Земля не является шаром.

Следующий этап развития представлений о форме Земли связан с именем И. Ньютона, поставившего задачу о равновесной форме гравитирующей жидкости, вращающейся вокруг оси, и показавшего, что эта форма – эллипсоид вращения. Это, в свою очередь, дало толчок к работе многих математиков XVIII–XIX вв. по изучению возможных форм вращающихся тел, находящихся в равновесии (К. Маклорен, Т. Симпсон, А. Клеро, А. Лежандр, П. Лаплас, С. Пуассон, Л. Эйлера, Ж. Лагранж, К. Якоби, А. Ляпунов, А. Пуанкаре). Их работы показали, что таковыми могут быть не только эллипсоиды вращения (исследованные Маклореном), но и более сложные тела – трёхосные эллипсоиды общего вида (эллипсоиды Якоби).

В XVIII в. были проведены и важнейшие практические исследования, подтвердившие, что Земля не является шаром. В 30-е годы XVIII в. французской Академией наук были снаряжены две экспедиции, задачей которых являлось определение длины градуса на полярном круге и на экваторе.

Одна из этих экспедиций под руководством Пьер-Мари Мопертюи работала в Лапландии. Вторая экспедиция, изначально руководимая академиком Годеном, а в ходе работ также Буге и Лакондамино, провела измерение длины дуги градуса в Южной Америке в Перу. Результаты показали, что длина дуги градуса у полярного круга примерно на 1300 м больше, чем близ экватора, что свидетельствовало о сплюснутости Земли на полюсах.

Итак, в конце XVII – начале XVIII в. было теоретически обосновано и экспериментально проверено, что хотя Земля и близка по форме к шару, но более точно ее форму описывает эллипсоид вращения.

Перейдем теперь к современным представлениям. В настоящее время для описания формы Земли используется понятие «геоид». Этот термин

⁵ Диоптр – прибор, служащий для направления (визирования) известной части угломерного инструмента на данный предмет. Направляемая часть снабжается обыкновенно двумя Д. – *глазным*, с узким прорезом, и *предметным*, с широким прорезом и волоском, натянутым посередине (<http://www.wikiznanie.ru/ru-wz/index.php/Диоптр>).

был предложен в 1873 г. немецким математиком Иоганном Бенедиктом Листингом для обозначения геометрической фигуры, более точно отражающей форму Земли, чем эллипсоид вращения.

Геоид – фигура сложной формы (рис. 1.1⁶). Его поверхность совпадает с поверхностью морей и океанов в их спокойном состоянии и их мысленным продолжением под материками. Эта поверхность во всех точках перпендикулярна силе тяжести.

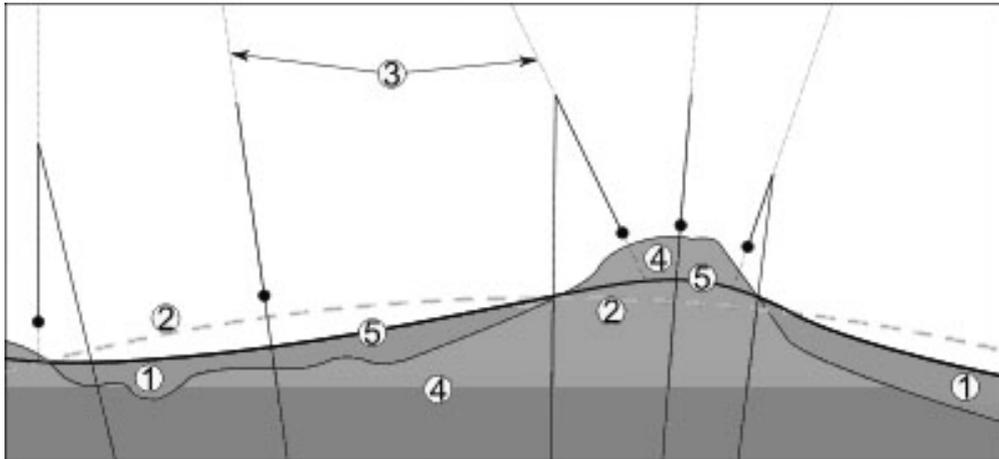


Рис. 1.1. Расположение геоида и земного эллипсоида относительно тела Земли (1 – Мировой океан, 2 – земной эллипсоид, 3 – отвесные линии, 4 – тело Земли, 5 – геоид)

Поверхность геоида не является геометрически правильной фигурой. Работать с такой фигурой очень сложно, поэтому в картографии вместо геоида используют эллипсоид вращения – фигуру, получаемую вращением эллипса вокруг одной из его осей (рис. 1.2).

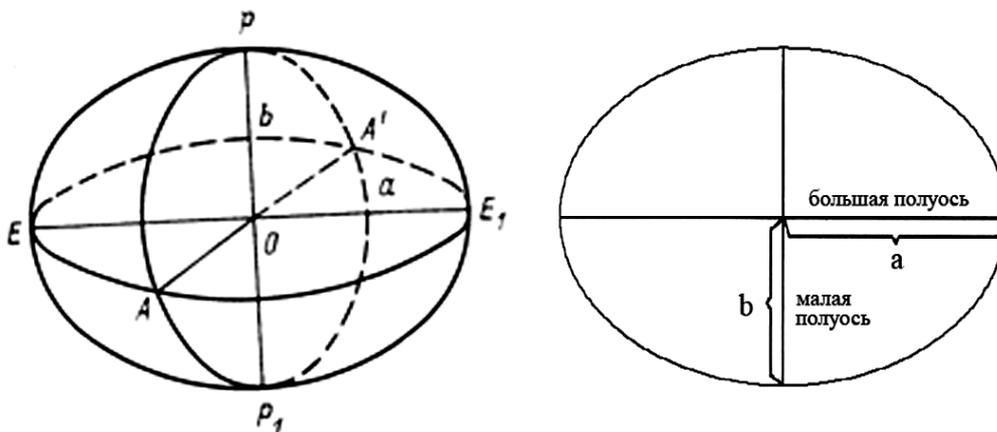


Рис 1.2. Эллипсоид и его параметры

⁶ Данный рисунок, как и многие приводимые далее, многократно воспроизводится в различных изданиях, и найти первоисточник представляется затруднительным. В списке источников иллюстраций в конце книги приводятся ссылки на интернет-ресурс или публикацию, откуда было заимствовано изображение при подготовке данного пособия.

Форма и размеры земного эллипсоида характеризуются большой a и малой b полуосями, а чаще большой полуосью a и полярным сжатием $\alpha=(a-b)/a$.

Параметры эллипсоида выбирают так, чтобы среднее квадратичное отклонение реальной поверхности от поверхности геоида было минимальным для всей Земли либо для заданной территории. В последнем случае эллипсоид называют референц-эллипсоидом (рис. 1.3).

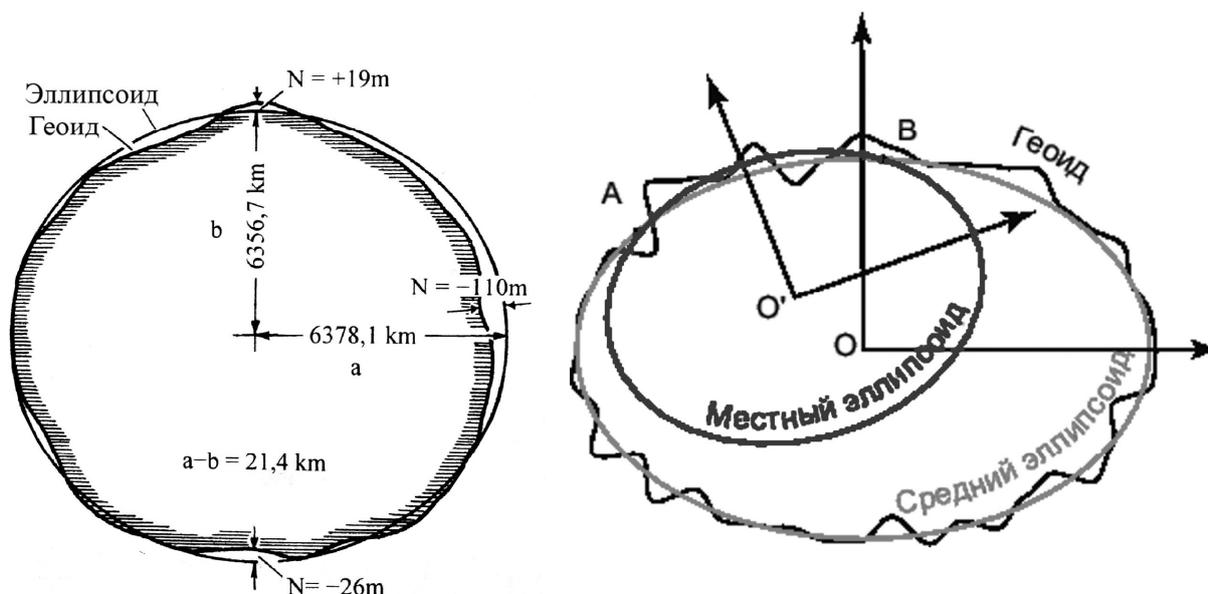


Рис 1.3. Определение среднего земного эллипсоида и референц-эллипсоида для заданной территории

Определением параметров земного эллипсоида ученые многих стран занимаются в течение уже более двух веков. В таблице 1.1 приведены параметры некоторых наиболее известных эллипсоидов.

Таблица 1.1

Параметры некоторых эллипсоидов, используемых в картографии

| Эллипсоиды | Полуоси, м | | Сжатие $\alpha=(a-b)/a$ | Страны |
|-------------------|---------------|-----------|-------------------------|---|
| | a | b | | |
| Бесселя, 1841 г. | 637 739,155 | 6 356 079 | 1/299,1528128 | Европа и Азия |
| Кларка, 1866 г. | 6 378 206,4 | 6 356 584 | 1/294,9786982 | Сев. и Центр. Америка |
| Кларка, 1880 г. | 6 378 249,145 | 6 356 515 | 1/293,465 | Африка, Барбадос, Израиль, Иордания, Иран, Ямайка |
| Хейфорда, 1909 г. | 6 378 388 | 6 356 912 | 1/297,0 | Европа, Азия, Юж. Америка, Антарктида |