

ВВЕДЕНИЕ

Работа в сфере изучения и использования природных ресурсов, управления природопользованием, экологического сопровождения хозяйственной деятельности предъявляет довольно высокие требования к знаниям, умениям и навыкам по созданию, а в ещё большей степени по использованию карт соответствующей тематики, имеющих прикладную направленность. При этом в рамках экологического и природоохранного образования (направления подготовки «Экология и природопользование», «Техносферная безопасность», «Природообустройство и водопользование») пока не сложилась устойчивая практика преподавания дисциплин картографо-геодезического цикла в составе и объемах, достаточных для формирования соответствующих компетенций. В связи с этим обучение по дисциплине «Экологическое картографирование» включает элементы топографии, картографии и собственно экологического картографирования в целях формирования следующих компетенций, необходимых для решения профессиональных задач в области научно-исследовательской, производственно-технологической и проектной деятельности, предусмотренных Федеральным государственным образовательным стандартом ФГОС-3+ по направлению подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование»:

ПК-2: владение методами отбора проб и проведения химико-аналитического анализа вредных выбросов в окружающую среду, геохимических исследований, обработки, анализа и синтеза производственной, полевой и лабораторной экологической информации; *методами составления экологических и техногенных карт, сбора, обработки, систематизации, анализа информации, формирования баз данных загрязнения окружающей среды, методами оценки воздействия на окружающую среду, выявления источников, видов и масштабов техногенного воздействия;*

ПК-14: владение знаниями об основах землеведения, климатологии, гидрологии, ландшафтоведения, социально-экономической географии и *картографии;*

ПК-16: владение знаниями в области общего ресурсоведения, регионального природопользования, *картографии;*

ПК-20: владение методами геохимических и геофизических исследований, *общего и геоэкологического картографирования,* обработки, анализа и синтеза полевой и лабораторной геоэкологической информации.

Первая часть пособия ориентирована на приобретение общекартографических знаний, умений и навыков, включая уверенное чтение карты, выполнение по ней измерений, оценок и описаний. Также в первой части раскрываются основные свойства карт: математическая основа, язык карт, генерализация, а также основные классификации карт. В минимальном объеме приводятся необходимые сведения из геодезии и топографии. При характеристике способов картографических изображений и изобразительных средств карт особое внимание обращено на их современные трансформации, связанные с использованием геоинформационных технологий.

Во второй части охарактеризовано содержание, свойства, методы составления и использования карт в сфере управления природопользованием и экологического сопровождения хозяйственной деятельности. Подробно охарактеризовано содержание карт: топографических, геологических, почвенных, лесных, гидрологических, климатических, ландшафтных, кадастровых, а также карт территориального планирования и градостроительного зонирования. Основное внимание уделено крупно- и среднemasштабным картам, используемым при решении прикладных задач. Указаны адреса интернет-ресурсов, содержащих тематические карты.

Третья часть пособия посвящена ознакомлению с содержанием и методами создания экологических карт. Даны краткие сведения о факторах, влияющих на состояние компонентов окружающей среды и экологическую обстановку в целом. Основное внимание уделено методам отображения экологической обстановки при картографировании.

Во всех трех частях пособия, адресованного обучающимся на уровне бакалавриата, теоретические данные сведены к необходимому минимуму, а проблемы и дискуссионные вопросы по возможности опущены. Одновременно преимущественное внимание уделено иллюстративному материалу и выполнению практических работ. При этом типовые практические работы, подробно изложенные в достаточно распространенных методических изданиях, представлены предельно кратко. Более полно изложены оригинальные работы. Содержащиеся в пособии практические работы являются ориентировочными и могут быть дополнены аналогичными вариантами, с использованием местных (региональных) материалов, в т. ч. публикуемых в государственных докладах и доступных на сайтах государственных органов управления природопользованием в регионах.

Углубленное изучение теоретических основ, источниковедения, методологии, современных проблем экологического картографирования и подходов к их решению предполагается на уровне магистратуры и аспирантуры.

1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

1.1. Основные понятия о картах, их разновидностях и составных частях

1.1.1. Понятие о картах и картографических произведениях

Природные ресурсы всех видов, так же как и связанные с их использованием экологические проблемы, обладают свойством пространственной изменчивости. Все природные и общественные явления, обладающие этим свойством, могут быть изображены на картах и правильно поняты только при помощи карт. Карты заключают в себе огромные объемы информации, позволяют охватывать единым взглядом обширные территории, производить необходимые измерения и оценки. Поэтому необходимым инструментом для всех видов деятельности по изучению, использованию и охране объектов природно-ресурсного потенциала являются карты и картографические изображения. Существует *наука о картах, как особом способе изображения действительности, их создании и использовании – картография*. При этом под словом «картография» может подразумеваться не только наука, но также область техники и технологии (проектирование и составление карт) и отрасль производства (картографические предприятия).

Слово «карта» по происхождению греческое, в своем первоначальном смысле оно означало лист из папируса; близким по смыслу является и вошедший во многие европейские языки латинский аналог – тарра (дословно – кусок полотна). Однако в понятии карты главным, сущностным является не материальный носитель (в разные эпохи в этой роли выступали камень, глиняные таблички, папирус, пергамент, бумага, дисплей), а заключенный в этом понятии смысл – пространственная информация.

Картой называется математически определенное, уменьшенное, генерализованное изображение поверхности Земли, другого небесного тела или космического пространства, показывающее расположенные или спроецированные на них объекты в принятой системе условных знаков [3]. Значение этого определения связано с тем, что в нем зафиксированы *основные свойства карт*, отличающие их от иных изображений пространства – рисунков и картин, фотоизображений, схем и др.:

– *математически определенное построение*, т. е. наличие математически строгой (функциональной) зависимости между размещением объектов в пространстве, в т. ч. на местности, и положением соответствующих изображений на карте;

– *использование знаковых систем*, т. е. свойственного науке особого языка условных изображений, в отличие от фотографических изображений или характерного для изобразительного искусства языка пространственных образов;

– *генерализованность изображения*, т. е. осознанный и целенаправленный отбор и обобщение изображаемых объектов и их свойств.

Содержание основных свойств карт более подробно рассматривается ниже. Здесь же отметим, что наряду с картами, обладающими всей совокупностью указанных основных свойств, существуют также другие **картографические произведения**, обладающие ими не полностью:

– схемы, абрисы, кроки, создаваемые приблизительно (в т. ч. глазомерно), без математической основы;

– глобусы, рельефные карты, блок-диаграммы, т. е. трехмерные модели, создаваемые без использования одного из элементов математической основы – картографической проекции;

– аэро- и космифотоснимки, технология создания которых не предусматривает использования знаковых систем.

Между картами и другими картографическими произведениями отсутствует резкая грань. Так, существуют фотокарты, на которых фотоизображение дополняется картографическими условными обозначениями.

1.1.2. Элементы карты

Способность карты отвечать своему назначению обеспечивается взаимодействием образующих её элементов. Число и состав элементов карты изменчивы. Среди них выделяются обязательные, без которых не обходится ни одна карта, и дополнительные, свойственные наиболее тщательно проработанным, издаваемым массовым тиражом учебным и справочным картам.

Картографическое изображение – важнейший элемент карты; по отношению к нему остальные элементы играют вспомогательные роли. По содержанию картографического изображения карты подразделяются на *общегеографические* и *тематические*. На общегеографических картах показывают объекты и явления, непосредственно представленные на местности: рельеф, гидрография, населенные пункты, пути сообщения, границы, важнейшие элементы растительности и грунтов. На тематических картах основное внимание уделяется показу тех или иных свойств определенных объектов показа: характеристик рельефа, климата, горных пород, почв, растительности, населения, экономики и т. д. Число таких объектов показа и их свойств весьма велико, поэтому содержание тематических карт ограничивается тем или иным предметом, находящим отражение в названии карты: климатическая, почвенная, экономическая и т. д. Однако для территориальной привязки свойств и характеристик отображаемых явлений необходима *географическая основа*, т. е. наиболее важная часть содержания общегеографической карты. Таким образом, *картографическое изображение тематических карт подразделяется на географическую основу и специальное содержание*.

Математическая основа карт включает в себя геодезическую основу, масштаб и проекцию (см. ниже). Внешним выражением геодезической основы и проекции является координатная сетка (параллели и меридианы на мелко-масштабных картах либо вертикальные и горизонтальные линии на картах крупного масштаба). Масштаб выражает соотношение расстояний на карте и на местности, т. е. степень уменьшения картографической модели по отношению к оригиналу. Масштаб на картах принято указывать.

Математическая основа также является обязательным элементом карт. Картографические изображения без математической основы именуется схемами, абрисами, кроками. Существуют также картосхемы, в процессе создания которых математическая основа используется, но не находит отражения в итоговом произведении.

Условные обозначения (легенда карты) включают все использованные знаки: графические, штриховые, буквенно-цифровые, цветовые. Для общегеографических карт условные обозначения являются общепринятыми, унифицированными, в значительной степени интуитивно понятными и нередко переносятся с самой карты на отдельные страницы (в атласе) или отдельно издаваемые брошюры (для топографических карт). Условные обозначения тематических карт разнообразны, унификации не поддаются и раскрываются в легендах (таблицах условных обозначений), размещаемых по краям или на свободных местах карты.

Компоновка карты – последний из числа обязательных элементов. Включает использование внутреннего пространства карты для размещения картографического изображения, легенды, вспомогательного оснащения. Компоновка включает также определение внешних границ изображаемой территории, выбор центрального меридиана и (при необходимости) отклонение от обычного ориентирования карт на север, разрывы внешней рамки для показа выступающих частей территории.

Вспомогательное оснащение карты может включать дополнительные (врезные) карты, графики, диаграммы, профили, фотографии и рисунки, табличные и текстовые данные. Вспомогательное оснащение дополняет основную карту сведениями, по каким-либо причинам не нашедшими на ней достаточного отражения. Элементы вспомогательного оснащения размещают на свободных местах внутри рамки карты либо на ее полях.

1.1.3. Оформление карт

Оформлением карт называется разработка и применение картографических изобразительных средств – графических, цветовых и полутоновых обозначений. Оформление карт может быть многокрасочным и однотонным (штриховым). Последнее значительно беднее по возможностям, т. к. сводится только к графическим обозначениям, и применяется для несложных по содержанию карт, обычно дополняющих и иллюстрирующих тексты. Карты, создаваемые как самостоятельные произведения, обычно оформляются как многокрасочные.

Цель оформления карты – оптимальное распределение изобразительных средств, наиболее соответствующее её назначению и содержанию. Ниже излагаются основные требования к оформлению географических карт.

Различимость обозначений, что означает удобство зрительной дифференциации элементов содержания. Штриховые элементы, надписи и цветовые обозначения должны чётко отделяться друг от друга, не сливаясь и не накладываясь. Надписи должны размещаться так, чтобы связи их с именуемыми объектами были однозначны.

Наглядность обозначений, т. е. доступность их для опознания по зрительной ассоциации с соответствующими им объектами. Так, морские и речные порты обозначают якорями, аэропорты – силуэтом самолета. На климатических картах высоким температурам и малым суммам осадков соответствуют «теплые» тона: оттенки красного, оранжевого, желтого цветов, а низким температурам и большим суммам осадков – «холодные»: оттенки фиолетового и синего цветов. На экологических картах используется «принцип светофора», когда наиболее загрязненные (нарушенные) территории обозначают красным цветом и его оттенками, а наиболее чистые (благополучные, ненарушенные) – зеленым или голубым. *Хорошо оформленная карта – это карта, которая может быть понята без использования таблицы условных обозначений (легенды).*

Логические связи в системе обозначений проявляются в том, что похожие объекты обозначаются похожим образом, а непохожие – непохожим. При этом из сопоставления похожих обозначений должна быть очевидным образом видна иерархия соответствующих им объектов: более крупный город обозначается более крупным значком, более важная дорога – более толстой линией, и т. п.

Выразительность, т. е. выдвигание на передний план наиболее важных элементов содержания. Так, из факторов окружающей среды наиболее важным для здоровья человека является атмосферный воздух. Соответственно, для показа его состояния следует использовать наиболее заметные изобразительные средства (фоновая окраска), а для менее значимых факторов – менее заметные обозначения.

Соблюдение общей графической нагрузки. Общей графической нагрузкой карты называется часть её площади, занятая штриховыми обозначениями и надписями. Оптимальной считается общая графическая нагрузка 12%. При меньшей величине карта имеет вид недогруженной и может быть без ущерба для содержания пересоставлена в более мелком масштабе. Максимально допустимая общая графическая нагрузка составляет 18%; при превышении этой величины становится невозможным обеспечить различимость обозначений и карта становится нечитаемой.

1.2. Основные свойства географических карт

Как отмечалось выше, к основным свойствам карт, отделяющим их от других видов изображений, относятся математически определенное построение, использование знаковых систем, а также генерализованность изображения.

1.2.1. Математическая основа карт

Математически определенное построение карт, т. е. наличие математически строгой (функциональной) зависимости между размещением объектов в пространстве и положением соответствующих им изображений на карте достигается использованием трёх элементов математической основы: геодезической основы, масштаба, картографической проекции. Этим трём элементам матема-

тической основы соответствуют три этапа перехода от фиксации положения объектов на местности к их изображению на карте.

Геодезическая основа карт – это совокупность геодезических данных, необходимых для создания карты и определяющих положение объектов на карте по широте, долготе и абсолютной высоте. Практически *геодезическая основа карт включает максимально приближенную к форме Земли математически правильную фигуру (эллипсоид), определенным образом ориентированную, с построенной на ней системой координат.*

Создание геодезической основы – первый этап перехода от фиксации положения объектов на местности к их изображению на карте. На этом этапе крайне сложная и изменчива фактическая фигура Земли мысленно заменяется на более подходящую для математического описания геометрически правильную теоретическую фигуру.

Понятие о референц-эллипсоиде и геоиде. Говоря о фигуре Земли, следует различать её физическую (топографическую) и теоретическую поверхности. Первая представляет собой сочетание твердой поверхности материков со сложным рельефом, и океанов, подверженных приливо-отливным явлениям и волнениям. Понятно, что столь сложная и изменчивая поверхность не описывается математически и не может служить основой для построения координатных систем. За теоретическую поверхность Земли принимается средний уровень океана, мысленно продолженный под материками. Эта поверхность является уровенной, т. е. представляет собой поверхность свободного растекания жидкости и характеризуется повсеместным равенством потенциала силы тяжести.

Теоретическая фигура Земли, ограниченная уровенной поверхностью, может быть определена как шарообразная только в самом первом приближении. Такую форму Земля могла бы иметь, если бы находилась в неподвижном состоянии, подвергалась воздействию только внутренних сил и была бы внутренне однородна. В реальности вращение Земли вызывает действие центробежных сил, что превращает шар в эллипсоид. Внутренняя неоднородность Земли означает, что равенство потенциала силы тяжести достигается на разных расстояниях от геометрического центра Земли. На участках с повышенными значениями силы тяжести (над породами повышенной плотности) образуются выпуклости (жидкость как бы «подтягивается» с участков с меньшими значениями силы тяжести), на участках с пониженными значениями силы тяжести – вогнутости (рис. 1). Величина такого рода выпуклостей и вогнутостей достигает значений порядка сотен метров. По этой причине, ограниченная уровенной поверхностью теоретическая фигура Земли также является неправильной, и эта фигура получила название «геоид» (в переводе с греческого «землеподобный»).

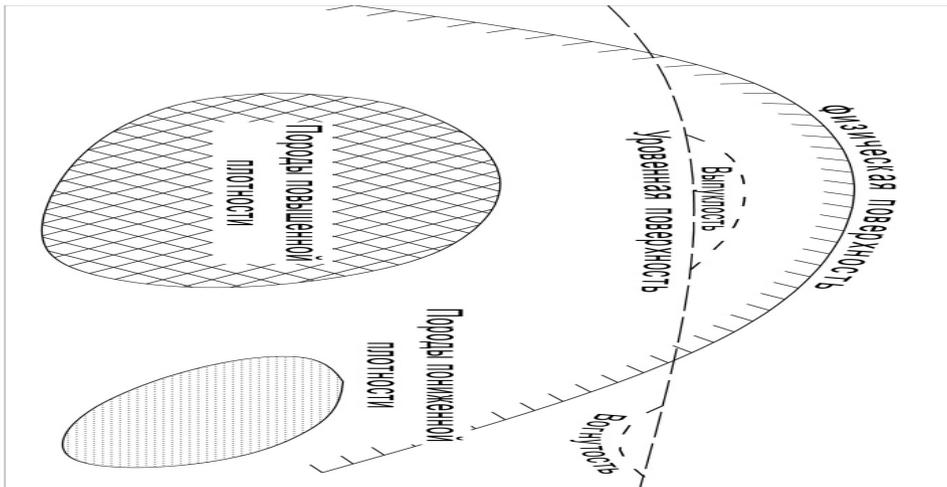


Рис. 1. Физическая и теоретическая (уровневая) поверхности Земли

Форма геоида значительно проще, в сравнении с реальной фигурой Земли, ограниченной поверхностью материков и океанов, но всё же слишком сложна для математического описания и построения координатных систем. Поэтому при создании геодезической основы используется всё же эллипсоид, являющийся наиболее приближенной к геоиду геометрически правильной фигурой. Геодезические службы разных стран и групп стран используют эллипсоиды, рассчитанные на основе доступных им результатов измерений; такие эллипсоиды называют *референц-эллипсоидами* («вспомогательными», «рабочими» эллипсоидами). Переход от одного референц-эллипсоида к другому влечет за собой необходимость перерасчета координат всех геодезических пунктов и пересоставления всех карт, что очень дорого и трудоёмко. Поэтому референц-эллипсоидов в мире используется немного (около 20), и меняют их редко. В России в основе всех геодезических измерений, расчетов и построений, а также карт лежит рассчитанный в 1940 г. референц-эллипсоид Ф. Н. Крассовского; его параметры:

большая полуось (a) 6 378 245 м;
 малая полуось (b) 6 356 863 м;
 сжатие $\alpha = (a - b)/a$ 1:298,3.

Для решения задач спутниковой навигации и глобального позиционирования (в т. ч. для обеспечения работы глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС) в России используется эллипсоид ПЗ-90 (Параметры Земли 1990 г.) с размерами:

большая полуось (a) 6 378 136 м;
 малая полуось (b) 6 356 751 м;
 сжатие $\alpha = (a - b)/a$ 1:298,258.

Система координат устанавливает начальные точки, поверхности и линии, единицы измерения и порядок отсчета. Координатами называются величини-

ны, определяющие положение точки на поверхности или в пространстве относительно принятой системы координат. В картографических целях применяются географические и плоские прямоугольные координаты. Те и другие строятся на референц-эллипсоиде и посредством пары чисел (широты и долготы либо абсциссы и ординаты) определяют плановое положение точек.

Географические координаты – широта и долгота – представляют собой угловые величины. Широта – угол между нормалью (перпендикуляром к поверхности Земли) данной точки и плоскостью экватора. Долгота – двугранный угол, образованный плоскостями начального меридиана и меридиана данной точки (рис. 2). Географические координаты называют *геодезическими* (широта обозначается B , долгота – L), если они определены по данным измерений на поверхности Земли, либо *астрономическими* (широта обозначается φ , долгота – λ), если они определены посредством наблюдений за небесными светилами.



Рис. 2. Географические координаты:

B – геодезическая широта, L – геодезическая долгота.

Плоские прямоугольные координаты устанавливаются в пределах 6-градусных или 3-градусных координатных зон, на которые делится эллипсоид (рис. 3). Плоские прямоугольные координаты представляют собой линейные величины – абсциссы (x) и ординаты (y), измеряемые в километрах и метрах.

Абсцисса данной точки (x) представляет собой кратчайшее расстояние от экватора до неё. Например, значение абсциссы точки 6 571 346 м означает, что точка располагается в 6571 км 346 м от экватора.

Ордината данной точки – кратчайшее расстояние до данной точки от осевого меридиана, увеличенное на 500 км. Увеличение ординат на 500 км практикуется для того, чтобы значения ординат как к востоку, так и к западу от осевого меридиана оставались положительными. Ординаты определяются отдельно для каждой из координатных зон. Полная запись ординаты точки включает также номер зоны. Отсчет координатных зон ведется от 180-го меридиана, с запада на восток. Например, значение ординаты 45 350 115 м означает, что точка

располагается в 45-й координатной зоне, в 149 км 885 м к западу от осевого меридиана (осевой меридиан 45-й зоны – 87-й). На топографических картах значения абсцисс и ординат указываются для линий координатной (километровой) сетки, в целых километрах.

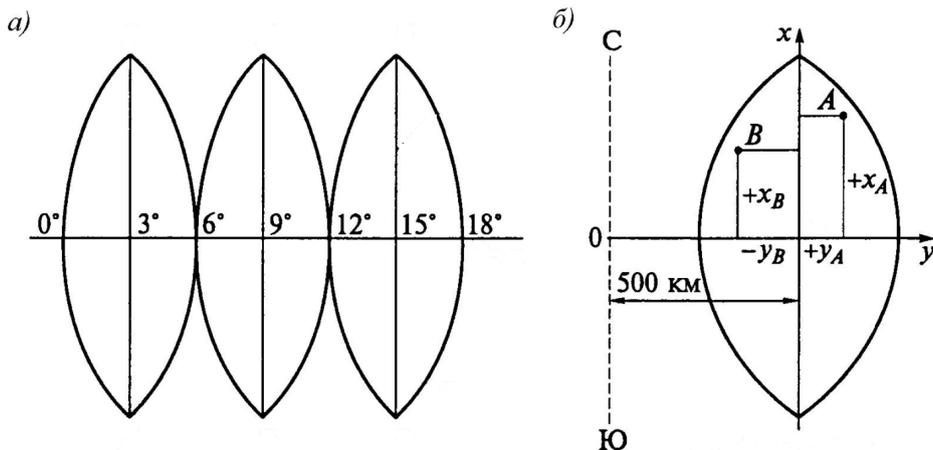


Рис. 3. Деление эллипсоида на 6-градусные зоны (а) и порядок отсчета плоских прямоугольных координат (б)

Преимущества географических координат связаны с возможностью их определения посредством астрономических наблюдений, при отсутствии видимых на поверхности Земли ориентиров, в т. ч. в море, над облаками, на обширных ледниках. Соответственно, основная область их применения – решение навигационных задач. При наземных работах на небольших участках местности угловые измерения значительно менее удобны, чем линейные. Поэтому при крупномасштабных работах на ограниченных по размерам участках (в частности, при изысканиях для строительных целей, разведке месторождений полезных ископаемых) обычно пользуются плоскими прямоугольными координатами.

Абсолютная высота – третья координата, представляющая собой расстояние по вертикали (нормали) от поверхности эллипсоида до данной точки.

Масштаб – это степень уменьшения объектов на карте относительно их размеров на местности (фактически – относительно размеров проекций на поверхность эллипсоида). Масштаб бывает представлен на картах в 3 формах:

- *численный*, показывающий соотношение линейных размеров на карте и на местности, например 1:50 000;
- *именованный*, например: «в 1 см 50 км», или «один сантиметр на карте соответствует 50 километрам на местности»;
- *линейный*, изображаемый на полях карты в виде линейки с подписанными значениями соответствующих расстояний на местности (рис. 4).

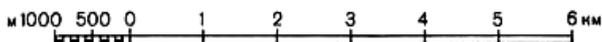


Рис. 4. Линейный масштаб

В России для топографических и обзорно-топографических карт установлен стандартный *масштабный ряд*, основанный на метрической системе:

1:10 000	десятитысячный масштаб
1:25 000	двадцатипятитысячный масштаб
1:50 000	пятидесятитысячный масштаб
1:100 000	стотысячный масштаб
1:200 000	двухсоттысячный масштаб
1:500 000	пятисоттысячный масштаб
1:1 000 000	миллионный масштаб

Кроме того, существуют стандартные масштабы топографических планов: 1:500, 1:1000, 1:1000, 1:5000. Карты для широкого круга пользователей могут создаваться в нестандартных масштабах, например 1:110 000, 1:40 000 и т. п.

Масштаб соответствует второму этапу перехода от фиксации положения объектов на местности к их изображению на карте. На этом этапе происходит мысленное уменьшение эллипсоида до обозримых размеров. Знаменатель численного масштаба выражает степень этого уменьшения. Однако степень уменьшения претерпевает дополнительные изменения (искажения) при переходе от сферического изображения к плоскому, т. е. к карте. Поэтому существует понятие *главного масштаба*, который подписывается на карте, но фактически относится не к карте, а условному глобусу, развертыванием которого данная карта получена, и бесчисленных *частных масштабов*, изменяющихся от точки к точке и даже в одной точке, в зависимости от направления; подробнее см. ниже.

Картографическая проекция – третий этап перехода от фиксации положения объектов на местности к их изображению на карте. На этом этапе происходит развертывание изображения на эллипсоиде (или сфере) в плоское.

Понятие о картографической проекции. Картографической проекцией называют математически определенный способ отображения поверхности эллипсоида (или шара) на плоскости карты. Наглядно это можно представить как трансформацию эллипсоида или шара в плоскость, например в форме проецирования пучком прямых (рис. 5). Существуют и другие способы проецирования, например пучком параллельных прямых. Способы проецирования сказываются на свойствах получаемых изображений.

Математическая определенность проекции как способа трансформации эллипсоида или шара в плоскость связана с тем, что проекция должна устанавливать строгую (функциональную) зависимость между пространственным положением точек. Разработка проекции означает получение уравнений, связывающих координаты на эллипсоиде (сфере) и на плоской карте. Разным проекциям соответствуют разные уравнения, и количество их в принципе не ограничено. В символическом виде уравнения выглядят так:

$$\begin{aligned}x &= f_1(B, L); \\y &= f_2(B, L),\end{aligned}$$

где x, y – плоские координаты изображений точек на карте; B, L – широты и долготы соответствующих точек на эллипсоиде (сфере); f_1 и f_2 – функции.

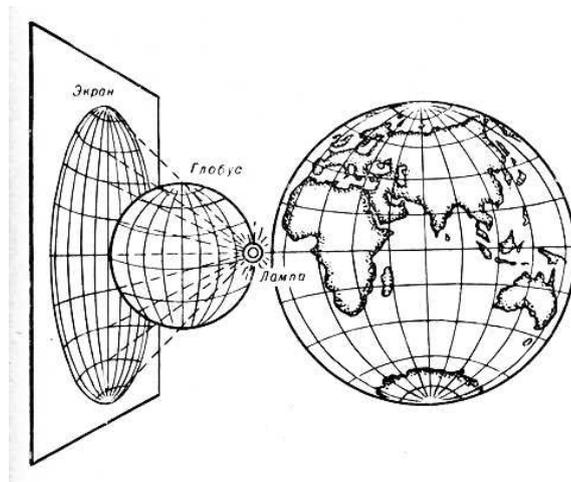


Рис. 5. Проецирование сетки параллелей и меридианов пучком прямых

В реальных уравнениях картографических проекций функции f_1 и f_2 представляют собой системы сложных, последовательно решаемых тригонометрических уравнений.

Искажения в проекциях. Общеизвестно (в математической картографии это доказывается), что шарообразную (и эллипсоидальную) фигуру невозможно превратить в плоскость без смятий и разрывов. Отсутствие разрывов и смятий на картах достигается за счет неравномерного сжатия и растяжения разных участков эллипсоида, что влечет за собой неизбежность искажений. Поэтому на каждой карте, наряду с главным, существует бесконечное множество частных масштабов. На крупномасштабных (топографических) картах искажения пренебрежимо малы, но на мелкомасштабных картах, изображающих большие территории, достигают значительных величин. Существуют следующие виды искажений:

- *искажения длин*, вследствие чего на картах присутствует бесчисленное множество частных масштабов, изменяющихся от точки к точке и даже в одной точке, в зависимости от направления;

- *искажения площадей*, вследствие чего соотношения площадей на карте и на местности могут значительно отличаться (так, в известной проекции Меркатора Гренландия выглядит сопоставимой по площади с Африкой, хотя первая почти в 15 раз меньше второй);

- *искажения углов*, вследствие чего углы между направлениями на карте и на местности могут отличаться;

- *искажения форм*, вследствие чего фигуры на карте и на местности могут быть не подобными друг другу, а прямые линии на местности могут трансформироваться на карте в кривые, и наоборот.

Во многих проекциях имеются точки или линии нулевых искажений. По мере удаления от них искажения обычно увеличиваются. В большинстве проекций искажения бывают минимальными в центральной части карты и нарастают к краям и особенно к углам.

Количественная характеристика искажений

Искажения длин характеризуются частными масштабами, выражаемыми в долях главного. Количество частных масштабов неограниченно велико в каждой отдельно взятой точке. За характеристику искажений длин обычно принимают наибольший для данной точки масштаб (a), наименьший для данной точки масштаб (b), масштаб по меридиану (m), масштаб по параллели (n). Значения частных масштабов больше единицы означают растяжение по данному направлению, меньше единицы – сжатие.

Искажения площадей характеризует *отношение площади эллипса*, которым в общем случае выражается в проекции построенная в данной точке эллипсоида окружность бесконечно малого радиуса (эллипс искажений) *к площади исходной окружности на эллипсоиде*. Показатель искажения площадей обозначается p и также является безразмерной величиной. Значения p больше единицы означают преобладание в данной точке растяжений, меньше единицы – преобладание сжатий.

Искажение углов характеризует наибольшая для данной точки разность между значениями угла на эллипсоиде и его изображением в проекции. Показатель искажения углов обозначается ω и измеряется в градусах.

Показатель искажения площадей обозначается k и равняется отношению наибольшего для данной точки масштаба a к наименьшему b . Чем выше значение k , тем сильнее вытянут эллипс искажений и тем больше степень трансформации форм. Значения показателей искажений могут быть определены различными способами, в т. ч. по специальным картам линий равных значений искажений (изоколов).

Частные масштабы по меридиану m и по параллели n определяют путем измерения отрезков параллели и меридиана на карте и деления их на соответствующие значения отрезков параллели и меридиана, определенные по картографическим таблицам [33, 36]. Угол θ между параллелью и меридианом измеряется на карте. Остальные показатели искажений определяются по формулам:

$$\begin{aligned} p &= m \cdot n \cdot \sin \theta; \\ \begin{cases} a + b = \sqrt{m^2 + n^2 + 2p} \\ a - b = \sqrt{m^2 + n^2 - 2p} \end{cases} \\ \sin \omega / 2 &= (a - b) / (a + b) \end{aligned}$$

Практическая работа 1. В учебных целях рекомендуется выполнить измерения по картам с последующими расчетами с использованием картографических таблиц. Методические указания по данной работе и её подробное описание имеются в широко распространенных методических изданиях ([33, 36] и др.).

Классификация проекций по характеру искажений. Из указанных выше видов искажений неизбежными являются только искажения длин. Отсутствие искажений длин возможно только на глобусе. Однако существуют проек-

ции, в которых отсутствует один из видов искажений, что достигается ценой увеличения других искажений. По характеру искажений проекции делятся на три группы:

– *равноугольные проекции*, в которых отсутствуют искажения углов, вследствие чего окружность и прямая на эллипсоиде остаются соответственно окружностью и прямой на карте, но искажения площадей при этом бывают весьма велики (например, на карте мира, построенной в упомянутой выше известной проекции Меркатора, показатель искажения площади p для севера Гренландии достигает 80, и фьорды выглядят на карте как целые моря);

– *равновеликие проекции*, в которых за счет сильных искажений углов и форм отсутствуют искажения площадей и площадь эллипса искажений, как бы сильно он ни вытягивался, остается равной площади исходной окружности на эллипсоиде;

– *произвольные проекции*, в которых искажаются и углы, и площади, но в меньшей степени. Важной и широко распространенной разновидностью произвольных проекций являются *равнопромежуточные проекции*, в которых отсутствуют искажения длин по всем меридианам либо по всем параллелям.

Классификация проекций по виду нормальной картографической сетки. В процессе перехода от эллипсоида к плоскости для проецирования могут использоваться фигуры, развертывающиеся в плоскость (цилиндр, конус), либо непосредственно плоскость. В зависимости от принимаемой фигуры такие проекции называются цилиндрическими, коническими и азимутальными. При этом в случае, когда ось фигуры или центр касательной плоскости совпадают с осью вращения Земли, проекции называются *нормальными* (или *прямыми*). Слово «нормальные» в данном случае является производным от слова «нормаль», т. е. перпендикуляр (имеется в виду перпендикуляр к плоскости экватора), а не какая-либо норма. Если ось фигуры или центр плоскости лежат в плоскости экватора, проекции называются *экваториальными* (или *поперечными*). В остальных случаях расположения оси фигуры (или центра плоскости) проекции называются *косыми*. Нормальная картографическая сетка – это сетка нормальной проекции.

Цилиндрические проекции получаются при проектировании эллипсоида на поверхность описанного вокруг него или секущего его цилиндра. Общие для эллипсоида и цилиндра линии (параллели) касания или сечения являются линиями нулевых искажений; по мере удаления от них искажения увеличиваются.

Цилиндрические проекции могут быть нормальными, экваториальными или косыми. Общее свойство нормальных цилиндрических проекций – характерный вид картографической сетки, состоящей из взаимно перпендикулярных прямолинейных параллелей и меридианов (рис. 6). Особенности отдельных нормальных цилиндрических проекций связаны со способом построения параллелей. В частности, среди нормальных цилиндрических проекций обычно особо выделяют:

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru