

Е. Л. Касьянова

ВЫБОР КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ

**Новосибирск
СГУГиТ
2015**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»
(СГУГиТ)

Е. Л. Касьянова

ВЫБОР КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ

Утверждено редакционно-издательским советом университета в качестве
учебного пособия для студентов 3-го курса, обучающихся по направлению
подготовки бакалавров 05.03.03 «Картография и геоинформатика»

Новосибирск
СГУГиТ
2015

УДК 528.926:004
К28

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент, СГУПС *В. Д. Астраханцев*
кандидат технических наук, доцент, СГУГиТ *Л. А. Ромашова*

Касьянова, Е. Л.

К28 Выбор картографических проекций [Текст] : учеб. пособие / Е. Л. Касьянова. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – 83 с.

ISBN 978-5-87693-868-8

Учебное пособие подготовлено кандидатом технических наук, доцентом кафедры картографии и геоинформатики СГУГиТ Е. Л. Касьяновой. Предназначено для студентов 3-го курса, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 05.03.03. «Картография и геоинформатика».

Пособие составлено в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта и учебных планов по направлению подготовки «Картография и геоинформатика». В нем рассмотрены факторы, влияющие на выбор картографических проекций в процессе создания карт, освещены вопросы автоматизированного выбора картографических проекций, описаны возможности ГИС-программ по реализации элементов математической основы.

Ответственный редактор: кандидат технических наук, доцент, СГУГиТ
С. С. Дышлюк

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 528.926:004

ISBN 978-5-87693-868-8

© СГУГиТ, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Факторы, влияющие на выбор проекций.....	5
1.1. Общие положения о выборе проекций для общегеографических и тематических карт	5
1.2. Влияние характера и величин искажений на выбор проекции.....	14
1.3. Влияние размеров изображаемой территории.....	21
1.4. Влияние формы и расположения изображаемой территории	23
1.5. Влияние назначения карты, способа ее использования, формата издания	24
1.6. Влияние содержания карты	28
1.7. Влияние дополнительных требований, обусловленных местом данной карты в составе системы карт.....	31
1.7.1. Влияние компоновки карты на выбор картографической проекции	32
1.7.2. Выбор проекций для карт России.....	33
1.8. Экспертная система для выбора картографических проекций.....	41
2. Автоматизированный выбор картографических проекций	44
2.1. Количественные критерии оценки искажений при автоматизированном выборе картографических проекций.....	64
2.2. Факторы, влияющие на автоматизированный выбор математической основы.....	65
3. Возможности современных ГИС-программ по реализации элементов математической основы	69
3.1. ГИС-программы ArcGIS и MapInfo	69
3.2. Специализированный программный комплекс по выбору и построению элементов математической основы	72
Заключение.....	79
Библиографический список.....	81

ВВЕДЕНИЕ

Выбор картографической проекции является составным звеном в процессе создания новой карты.

За последнее время значительно возросли возможности средств отображения картографической информации. Если раньше это были аналоговые средства – карты, отпечатанные на бумаге, микрофиши и микрофильмы, то сейчас добавились компьютерные средства отображения – экраны коллективного и индивидуального пользования, которые требуют цифрового представления картографической информации. Программное и аппаратное обеспечение компьютерных систем совершенствуется постоянно и позволяет отображать любую картографическую информацию, в том числе и в динамическом режиме. Не противопоставляя одни средства отображения другим, стоит указать, что эти средства гармонично дополняют одно другое, и еще долгое время будут существовать параллельно.

Цель дисциплины «Выбор картографических проекций» состоит в том, чтобы на основе знаний, полученных по дисциплине «Математическая картография», научить студентов правильному выбору проекций для конкретных общегеографических и тематических карт.

Задача дисциплины – выбор оптимального варианта картографической проекции при проектировании конкретной карты.

Дисциплина «Выбор картографических проекций» является продолжением курса «Математическая картография» и необходима при выполнении курсовой работы по дисциплине «Редактирование тематических карт».

1. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЫБОР ПРОЕКЦИЙ

1.1. Общие положения о выборе проекций для общегеографических и тематических карт

Все географические карты составляют в определенных картографических проекциях. Картографическая проекция – это математически определенный способ отображения поверхности эллипсоида на плоскости. Суть проекций заключается в том, что фигуру небесного тела, не развертываемую в плоскость, заменяют на другую геометрически определенную фигуру, развертываемую 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.

Картографические проекции можно классифицировать по различным признакам. Однако с точки зрения построения и практического использования карт основными признаками их классификации служат: характер искажений проекций и вид меридианов и параллелей нормальной сетки.

Аналоговое картографическое отображение обладает одним неоспоримым недостатком – оно статично во времени и пространстве. На одной и той же территории различными пользователями решаются всевозможные задачи, и для них по-разному может быть представлена картографическая информация. Долгие годы создавались топографические и специальные карты, универсальные по своему назначению. Универсальность касалась всех элементов карты – проекции, масштаба, разграфки, номенклатуры, содержания, оформления и т. д. Создание универсальных карт выгодно производителю – созданная однажды математическая основа используется до момента появления новых карт, разработанные содержание и оформление используются десятилетиями, наконец, картографическое производство имеет стандартные технологии, что позволяет вести плановое картографическое хозяйство во всем его многообразии.

Число же потребителей картографической информации велико, решаемые ими задачи весьма многообразны. Это приводит к тому, что требования самих потребителей к картографической информации постоянно меняются. Это означает, что сегодня потребителям требуются карты своевременные, достоверные, созданные под решение конкретной задачи.

В настоящее время создание карт под конкретную задачу возможно на основе использования компьютерных картографических технологий и банков цифровых картографических данных.

Таким образом, используя современные программные средства, можно создать карты на одну и ту же территорию, используя при этом разные картографические проекции. Естественно, следует стремиться к тому, чтобы выбранная проекция обеспечивала оптимальное решение задач по вновь созданной карте.

В распоряжении пользователя всегда имеется некоторый набор проекций. В современных условиях применения геоинформационных технологий используются специализированные коммерческие программные пакеты. Они содержат около сотни картографических проекций, ориентированных, главным образом, на зарубежного пользователя. Поэтому задача выбора проекции уже облегчена тем, что составитель должен выбрать одну из ограниченного списка и применить ее для построения новой карты.

Выбор картографических проекций может осуществляться в автоматизированном режиме или традиционными методами.

Традиционные методы выбора основаны на сравнительном анализе проекций и учете влияния отдельных факторов [6], который может быть очень скрупулезным и тщательным. В искомым проекциях составляются макеты картографических сеток, на которые наносятся изоколы наиболее важных для создаваемой карты показателей искажений [12]. Предпочтение отдается тому варианту, который оптимально удовлетворяет требованиям, предъявляемым к виду картографической сетки, характеру и величинам искажений и их распределению по полю карты. Однако этот трудоемкий процесс часто упрощается, и выбор делается по субъективным оценкам визуального сравнения вариантов проекций.

На выбор проекций влияет много факторов, которые можно сгруппировать следующим образом:

1) географические особенности картографируемой территории, ее положение на земном шаре, размеры и конфигурация;

2) назначение, масштаб и тематика карты, предполагаемый круг потребителей;

3) условия и способы использования карты, задачи, которые будут решаться по карте, требования к точности результатов измерений;

4) особенности самой проекции – величины искажений длин, площадей, углов и их распределение по территории, форма меридианов и параллелей, их симметричность, изображение полюсов, кривизна линий кратчайшего расстояния.

Первые три группы факторов задаются изначально, четвертая зависит от них.

Выбор картографических проекций зависит от многих факторов, которые можно разделить на три группы.

1. Факторы, характеризующие объект картографирования:

1) категория объекта (планета, спутник планеты, комета, астероид);

2) объект (материк Евразия на планете Земля);

3) особенности объекта (географическое положение изображаемой территории, ее размеры, форма границ (конфигурация), важность отображения сопредельных территорий и прилегающих акваторий, общая конфигурация и направление преимущественной ориентации территории).

2. Факторы, характеризующие создаваемую карту, способы и условия ее использования:

1) содержание карты (общегеографическая, тематическая, специальная);

2) тематика и специализация карты (геофизическая, гравитационного поля);

3) масштаб карты;

4) задачи, которые будут решаться по ней (картометрические, навигационные и пр.) и требования к точности их решения.

К этой группе относятся: способы использования карты (настольная, настенная) и способы анализа картографической информации (с помощью

компьютерных технологий или без); условия работы с картой (отдельно или в комплексе с другими картами, в склейке) и условия передачи на ней относительных характеристик картографируемых объектов (географического положения одних относительно других, их площадей и форм) и т. п.

3. Факторы, характеризующие картографическую проекцию создаваемой карты:

1) искажения в проекции (характер и величина искажений, распределение локальных и региональных искажений, условия обеспечения минимума искажений и допустимые максимальные искажения длин, углов и площадей, кривизна изображения геодезической линии, стереографичность проекций (степень передачи форм территорий));

2) специфика изображения характерных географических объектов (полюсов, экватора, среднего меридиана, условий симметричности картографической сетки относительно среднего меридиана и экватора, условий их изображения (размеры изображения экватора относительно среднего меридиана и полюсов, если они изображаются линиями) и др.);

3) особенности (кривизна изображения линий картографической сетки, требования ее ортогональности, обеспечения заданных величин отклонений от прямого угла между изображениями меридианов и параллелей, их равноразделенности, характер изображения полюсов) и условия зрительного восприятия изображения, наличия эффекта сферичности, перекрытий (повторяемости) участков картографического изображения и т. п.

Выбор проекции делается на основе учета всех факторов. В случае их противоречивости принимается взвешенное компромиссное решение. Разные факторы имеют разную значимость.

Выбор картографических проекций осуществляется в два этапа: на первом устанавливается совокупность проекций (или их свойства), из которой целесообразно производить их выбор; на втором определяют искомую проекцию.

Так, факторы первой группы являются безусловными. Они твердо заданы, не подлежат изменению и определяют группы классов возможных проекций. Их учет предполагает, прежде всего, выбор таких проекций, в которых их центральные точки и центральные линии, вблизи которых масштабы мало изменяются, находятся в центре картографируемой терри-

тории. При этом центральные линии размещены по возможности направления наибольшего протяжения этих территорий.

Поэтому для многих карт выбирают:

- 1) цилиндрические проекции – для территорий, расположенных вблизи и симметрично относительно экватора и вытянутых по долготе;
- 2) конические проекции – для таких же территорий, но не симметричных относительно экватора или расположенных в средних широтах;
- 3) азимутальные проекции – для изображения полярных областей;
- 4) поперечные и косые цилиндрические проекции – для изображения территорий, вытянутых вдоль меридианов или вертикалов;
- 5) поперечные и косые азимутальные проекции – для показа территорий, очертания которых близки к окружностям, и т. д. [3].

Таким образом, учет факторов этой группы дает возможность предварительно установить совокупность проекций по виду картографической сетки, из которой целесообразно определять искомую проекцию.

Категория объекта прежде всего определяет, какие должны использоваться проекции: поверхностей регулярных тел (шара, эллипсоида вращения, трехосного эллипсоида) или тел сложных реальных поверхностей. Определяются также параметры геодезической основы.

Указание объекта в определенной мере уже предопределяет выбор проекций, ибо при этом прежде всего будет учитываться предшествующий опыт его картографирования.

Очень важным является географическое положение объекта: у экватора, в средних широтах, полярных областях. Существенное влияние оказывают размеры объекта, общая форма его контура (округлая, вытянутая полоска), и ее преимущественная ориентация (вдоль меридианов, вдоль параллелей или под некоторым другим азимутом). При определении конфигурации и ориентации намечается схематический контур, включающий также сопредельные территории и прилегающие акватории. Если картографируемая область близка по форме к округлой или овальной, то за ее схематический контур принимают соответственно контур сферического или овального сегмента. Удлиненные области схематически часто принимают за длинные полосы, ограниченные двумя параллелями или альму-кantarатами. При выборе проекций будет отдано предпочтение тем из

них, форма изокол которых ближе всего совпадает со схематизированным контуром территории.

Вторая группа факторов является основной и тесно связана с решением поставленной задачи. Они, как правило, также не подлежат изменению.

По содержанию карты разделяют на три большие группы: общегеографические, специальные и тематические.

К *общегеографическим* картам относятся топографические – масштаб 1 : 100 000 и крупнее, обзорно-топографические – масштаб 1 : 200 000–1 : 1 000 000 и обзорные – мельче 1 : 1 000 000. Проекция этих карт обычно уже определены и даже регламентированы.

Специальные карты предназначены для решения конкретного круга задач и рассчитаны на определенных пользователей. Обычно для этих карт проекция также уже установлены предшествующим опытом их применения.

Тематические карты образуют наиболее разнообразную и обширную категорию карт природных и общественных явлений, их сочетаний и комплексов. Содержание, следовательно, и проекция определяются конкретной тематикой и специализацией карты, кругом пользователей, способом использования и др.

В качестве наглядного примера можно рассмотреть учебные карты. Для школьных карт, предназначенных учащимся младших классов, с учетом их кругозора и запаса знаний, при выборе проекций предпочитают избегать относительно сложных решений, которые могут затруднить использование карты или даже привести к неправильному пониманию ее содержания и к ошибочным представлениям о мире. В этих случаях предпочтение отдается картографическим сеткам с равноразделенными параллелями и меридианами, симметричным относительно среднего меридиана и экватора. Привычным должно быть взаимное расположение материков и океанов. Изображение должно быть цельным, сплошным, без разрывов и без повторяющихся участков на карте. Эти карты не предназначены для измерений, поэтому к ним не предъявляется строгих требований к характеру и величинам искажений. На картах, предназначенных для учащихся старших классов, часть упомянутых ограничений отпадает. Однако и в этом случае целесообразно сохранить единство проекций на изображении-

ях одного и того же объекта на различных используемых при обучении картах. На картах, предназначенных для высшей школы, еще в большей степени отпадают указанные выше ограничения и могут использоваться сложные проекции.

Именно исходя из условий этой группы определяют относительную значимость факторов третьей группы: какие из них являются в конкретном случае наиболее существенными, а какие факторы можно не учитывать, т. е. их в какой-то мере можно корректировать, ранжировать и придавать им разные веса. В итоге они должны помочь из заданной совокупности выделить искомую проекцию. При этом некоторые из требований, например, о желаемом характере искажений проекции, симметричности или асимметричности картографической сетки, разделенности меридианов и параллелей и т. п. в определенных случаях подлежат безусловному учету. Это значит, что выбор проекции должен выполняться в данном случае только из совокупности проекций, в которой заданные требования полностью удовлетворяются, например, только из равновеликих проекций или только из проекций с ортогональной сеткой. Факторы, приобретающие в данном конкретном случае безусловную значимость, в дополнение к факторам первой группы, позволяют в основном установить совокупность проекций (по характеру искажений), из состава которой целесообразно определять искомую проекцию.

После выделения всех этих факторов выполняется ранжирование прочих факторов, определяется относительная значимость каждого из них при выборе конкретной проекции. Существуют некоторые системы карт, две основные из них: для решения научно-технических задач и для широкого круга пользователей [2]. Первые предполагают максимально возможную точность и детальность изображения и анализа, достаточно точную локализацию интегральных характеристик на синтетических картах. При создании карт для широкого круга потребителей следует иметь в виду многообразие предъявляемых к ним требований, в соответствии с которыми карты могут существенно различаться по детальности, полноте и точности изображения, виду картографической сетки, условиям их зрительного восприятия, наглядности и т. п.

Следует иметь в виду, что в ряде случаев выбор проекций для новых карт часто бывает уже predetermined традицией, нормативными документами и предшествующими работами. Так, в России все топографические планы, топографические карты и обзорно-топографические карты в обязательном порядке составляются в проекции Гаусса – Крюгера. Идентичное положение и в других странах, где топографические карты также составляются в определенных проекциях. Все тематические карты, использующие в качестве основы топографические и обзорно-топографические карты, принимают и их проекции. То же справедливо для тематических карт масштаба 1 : 1 000 000, в основе которых лежат листы миллионной международной карты в видоизмененной поликонической проекции. Подобным образом тематические карты масштаба 1 : 2 500 000 составляют на основе общегеографической карты этого масштаба и, следовательно, используют конические и азимутальные равнопромежуточные проекции. Карты России, как правило, составляли в равноугольных или равнопромежуточных конических проекциях. В последние годы все чаще находят применение и равновеликие конические проекции.

При разработке карт на сравнительно ограниченные территории вопрос о выборе проекций теряет остроту. Наиболее ответственен выбор проекций для карт на крупные регионы.

Выбор картографических проекций может осуществляться в автоматическом режиме или традиционными методами, основанными на сравнительном анализе различных картографических проекций, которые могут быть использованы для создания конкретной карты.

Выбор проекций традиционным методом пока имеет наибольшее распространение, сравнительный анализ картографических проекций осуществляется на основе учета, в значительной мере субъективного, влияния отдельных указанных выше факторов на выбор проекций.

Учет факторов первой группы, к которым относятся характеристики объекта картографирования, позволяет установить совокупность проекций, из состава которой целесообразно определять искомую проекцию. Влияние на решение данной задачи этих факторов возрастает вместе с увеличением размеров изображаемых областей.

Для уменьшения величин искажений и обеспечения лучшего их распределения, особенно при картографировании крупных территорий, стремятся, кроме учета положения центральных точек и линий проекций и их соответствия географическому положению территорий, добиться, чтобы изоколы совпадали со схематизированными очертаниями изображаемых областей.

Точно так же анализируется влияние назначения, содержания (специализация) карты, способа ее использования, анализа картографической информации (с использованием компьютерной техники или без нее), формата издания и т. п.

Такой анализ выполняется в каждом конкретном случае создания карты.

Например, при создании школьных карт для учеников начальных классов стремятся, чтобы на рассматриваемых картах картографические сетки были симметричными относительно среднего меридиана и имели равномерные или близкие к ним меридианы и параллели при минимальной кривизне последних. Поскольку школьные карты не предназначены для выполнения по ним измерений, то не предъявляют строгих требований к характеру, величинам и распределению искажений. Желательно, чтобы при зрительном восприятии карты создавался эффект сферичности, а взаимное размещение изображения материков и океанов было традиционным и привычным; районы оконечности Азии располагались вблизи восточной рамки, а материки Америки — вблизи западной рамки листа.

Рассматривая вопрос о выборе проекций для карт, в которых основная картографическая информация отображена способом изолиний, следует иметь в виду назначение, специализацию карт, т. е. учитывать, какие задачи по ним предполагается решать. В частности, если предполагается выполнение измерений площадей, заключенных между изобарами, изотермами, изогонами и т. п., следует применять равновеликие или близкие к ним проекции. Если же необходимо определять градиенты различных явлений (магнитного склонения, солености воды и т. п.), выполнять интерполирование значений между изолиниями, необходимо применять равноугольные проекции, в которых частные масштабы длин не зависят от направлений.

В тех случаях, когда изображению на карте подлежат крупные по площади области и, следовательно, искажения длин и площадей будут достигать значительных величин, пренебречь которыми невозможно, следует выбирать не те проекции в которых искажения длин минимальны, а те, в которых проще учитывать влияние этих искажений. При создании мелкомасштабных карт, предназначенных для зрительного восприятия, существенными факторами являются наиболее правильная передача относительности географического расположения территорий, вид картографической сетки, наличие эффекта сферичности и т. п.

1.2. Влияние характера и величин искажений на выбор проекции

Выбирая картографическую проекцию для определенной карты, необходимо установить характер искажений, их величины и распределение на участках карты.

Характер и величины искажений в проекции должны быть согласованы со способом использования карты, графическими средствами изображения и масштабом карты.

Важно, чтобы характер искажений в проекции соответствовал не только тематике, но и специализации карты. Карты одного вида могут быть в разных проекциях. Например, крупномасштабные почвенные карты должны быть построены в равноугольных проекциях, почвенные карты даже очень крупных частей материков могут составляться в равнопромежуточных проекциях, но для почвенных карт Евразии или полушарий уже обязательны равновеликие или близкие к ним проекции. Другой пример: для изучения длин и очертаний отдельных участков береговой линии вполне подходят равноугольные проекции, но они не пригодны для карты полушарий, где в целом размеры и очертания материков будут сильно искажены.

Характер искажений проекции должен соответствовать способам использования карты, а величины искажений – точности их анализа. В качестве примера можно рассмотреть целесообразные проекции для климатических и метеорологических карт.

Для тех климатических карт, на которых ряд закономерностей изучают с помощью изолиний, важно сохранять небольшими искажения площадей; однако, иногда нежелательно в такой сильной мере поступаться качеством изображения очертаний и форм, как это бывает в равновеликих проекциях. Если с помощью изолиний приходится в большом количестве интерполировать промежуточные значения функций и определять градиенты, то преимущество переходит на сторону равноугольных проекций. Также проекции нужны и в случае, когда способом линий движения показывают направления, скорость и силу ветра и т. д. На некоторых метеорологических картах, например синоптических, кроме того, обращается внимание и на формы изобар и других изолиний. В подобных случаях по совокупности требований более других подходят равнопромежуточные или близкие к ним проекции. Если же требуется спрямлять ортодромии (дуги больших кругов), приходится прибегать к гномоническим проекциям.

Очень малые искажения возможны только на картах крупного масштаба. Поэтому измерения длин, площадей, углов, анализ форм с погрешностями менее 1 % должны производиться по топографическим картам, которые строятся в равноугольных проекциях.

При величинах искажений длин, площадей или форм около 3 % и размеров территорий радиусом от 2 до 3 тыс. км характер искажений в проекции еще решающего значения не имеет, однако все же следует отдавать предпочтение равноугольным и равнопромежуточным, преимущественно азимутальным, коническим или цилиндрическим проекциям.

При работе полезно иметь сводку типичных величин искажений на картах наиболее часто встречающихся объектов: районов, областей, государств, частей материков, материков и т. д., а также располагать данными о соотношении между искажениями отдельных видов. Практически часто бывает достаточно сопоставить, насколько увеличиваются искажения углов при переходе от равнопромежуточной проекции к соответствующей ей по классу равновеликой или насколько возрастают искажения площадей при замене равнопромежуточной проекции равноугольной. Необходимо также считаться с характерным для наиболее важных классов проекций распределением искажений, обращаясь к типичным схемам изокол. Также подбор наиболее подходящих проекций иногда может быть облег-

чен использованием систематизированных данных о влиянии на выбор проекций назначения, способа пользования и содержания отдельных видов карт.

При выборе проекций часто приходится не только считаться с искажениями, но также специально заботиться о виде меридианов и параллелей сетки, учитывать требования к другим элементам математической основы карты. Другие требования к проекциям бывают связаны с компоновкой карт. Иногда возникает необходимость особым образом размещать изображения материков, группируя их, например, вокруг центра или вытягивая в определенной последовательности полосой, предусматривать места для размещения врезок, придавать определенную форму рамкам карты и т. д.

Выполнение тех или других ограничительных требований к математическим элементам карт очень часто влечет за собой увеличение искажений в целом. Например, на картах России с параллелями малой кривизны искажения площадей увеличиваются иногда в несколько раз по сравнению с картами, составленными в прямых конических проекциях. Сохранение симметричности сеток мировых карт относительно экватора ведет к увеличению искажений углов на материках до десятков градусов, а искажений площадей — на десятки процентов по сравнению с несимметричными относительно экватора сетками.

Основные требования при выборе картографической проекции:

1) отсутствие искажений углов или площадей на всей карте или в некоторых ее местах, например на экваторе, параллели (альмукантарате) с наименьшим масштабом, в центральной точке карты;

2) меридианы или параллели, а иногда те и другие одновременно должны изображаться отрезками прямых, дугами окружностей, эллипсами или параллели изображались пологими кривыми;

3) соблюдение симметрии сетки большей частью относительно экватора и среднего меридиана, а также предписанная форма рамки карты, например, в виде прямоугольника, круга, овала;

4) соблюдение, ставшее традиционным, взаимного расположения материков и океанов на мировых картах.

Кратко остановимся на каждой группе факторов, оказывающих влияние на выбор проекции.

Как отмечалось выше, выбирая картографическую проекцию для конкретной карты, надо установить характер искажений, их величины и распределение на карте. Данные, согласно табл. 1 и 2, позволяют быстро устанавливать, какой величины искажения можно ожидать при изображении соответствующей территории в конических, цилиндрических и азимутальных проекциях.

Вместе с возрастанием размеров изображаемых областей увеличиваются искажения на картах, усложняется выбор проекций, характер искажений также приобретает все большую значимость. Для измерения площадей должны использоваться равновеликие проекции. Для визуального анализа и сопоставления территорий могут применяться произвольные проекции с небольшими искажениями площадей. Длины и формы объектов искажаются в любых проекциях. Однако, если необходимо оценить любые виды искажений, следует использовать произвольные проекции, группирующиеся около равнопромежуточных проекций. Для оценок расстояний по определенным направлениям целесообразно применять равнопромежуточные проекции. Для оценок направлений и градиентов нужны равноугольные или с малыми искажениями углов проекции.

Характер искажений связан и со способами изображения. При использовании изолиний пригодятся разные по характеру искажений проекции. Так, для определения площадей, заключенных между изотермами, изобатами и т. д., нужны карты в равновеликих или близких к ним проекциях. При определении по изолинейным картам градиентов, например, температур воздуха, солености морской воды, магнитного склонения, а также при интерполяции показателей между изолиниями, уже нужны равноугольные проекции, так как в них масштаб не зависит от направления.

Способы качественного и количественного фона, ареалов, картограмм, картодиаграмм и точечный способ связаны с площадями территориальных единиц, с их дифференциацией по тем или иным признакам. Поэтому уместны равновеликие или произвольные проекции с небольшими искажениями площадей.

Линейные знаки отображают протяженность объектов: длины береговых линий, дорог, административных границ и др. Конечно же, важна и форма этих линий. Поэтому наиболее подходящими будут проекции с промежуточными свойствами искажений, группирующиеся около равнопромежуточных проекций.

Знаки движения используются для показа направлений путей, скорости и структуры пространственных перемещений. Поэтому, чтобы правильно отобразить направления (азимуты) малых отрезков этих знаков, необходимо использовать проекции с малыми искажениями углов или равноугольные.

Существует также некоторая общая тенденция, выявляющая взаимосвязь между характером искажений и масштабом карты. Так, для крупномасштабных карт (до 1: 1 000 000 масштаба) наиболее предпочтительными являются равноугольные проекции. Затем по мере уменьшения масштабов наблюдается тенденция преимущественного перехода от равнопромежуточных проекций к равновеликим (табл. 1, 2). Далее, для карт масштабов 1 : 1 000 000 до 1 : 15 000 000 и мельче наиболее предпочтительными оказываются произвольные проекции.

Таблица 1

Конические и цилиндрические проекции, в которых масштабы
наименее отклоняются от единицы

Протяжение между крайними параллелями (альмукантаратами)		Равнопромежуточные		Равноугольные	
в градусах большого круга	в км	небольшие относительные искажения длин и площадей в %	наибольшие искажения углов в градусах	наибольшие относительные искажения в %	
				длин	площадей
16-17	1 700–1 800	от –0,5 до +0,5	0,3	от –0,5 до +0,5	от –1 до +1
31-32	3 400–3 500	от –2 до +2	1,2	от –2 до +2	от –4 до +4
49-50	5 400–5 500	от –5 до +5	2,8	от –5 до +5	от –10 до +10

Азимутальные проекции

Зенитное расстояние в градусах	Расстояние от центральной точки сетки в км	Равнопромежуточные			Равноугольные	
		искажения				
		длин в %	площадей в %	углов в градусах	длин в %	площадей в%
13-14	1 500–1 600	от –0,5 до +0,5 или от –0,25 до +0,75	от –0,5 до +0,5 или от –1 до 0	0,5	от –0,75 до +0,75	от –1,5 до +1,5
27-28	3 000–3 100	от –2 до +2	от –2 до +2	2,3	от –3 до +3	от –6 до +6
35-36	3 900–4 000	от –3,5 до +3,5	от –3,5 до +3,5	3,8	от –5 до +5	от –10 до +10

Касаясь величин и характера искажений на различных по назначению и содержанию картах, необходимо указать, что только на немногих картах приходится заведомо мириться с очень большими искажениями длин, углов или площадей. Таковы, например, карты в гномонических проекциях (рис. 1), передающие дуги ортодромий в виде отрезков прямых линий; карты кратчайших расстояний от определенных пунктов; карты, построенные в проекции Меркатора (рис. 2), сохраняющие направления стрелок ветров, морских течений и передающие прямолинейно локсодромии; демонстрационные карты, на которых изображение должно обладать свойствами перспективности и сферичности, и др.

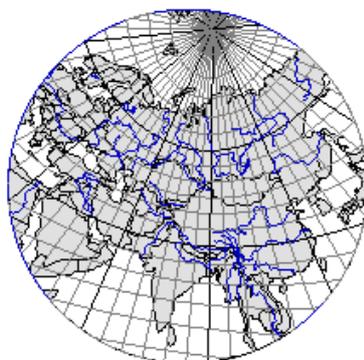


Рис. 1. Гномоническая проекция

В большинстве случаев одним из основных является требование о возможном уменьшении искажений, причем чаще встречаются два случая:

1) ослабить или даже полностью устранить на карте искажения площадей;

2) по возможности равномерно ослабить искажения всех трех основных видов, т. е. искажения длин, площадей, углов.

Реже встречается случай, когда наибольшее значение имеет качество передачи на карте направлений, а также очертаний и форм объектов, в связи с чем возникает необходимость ослабить или полностью устранить искажения углов.

Иногда при выборе проекций отдают предпочтение тем из них, которые обладают наименьшими средними или крайними искажениями длин, площадей или углов.

Стремясь наиболее благоприятно распределить искажения, располагают нужным образом центральные точки азимутальных проекций или те параллели (альмукуантараты) конических (цилиндрических) проекций, вдоль которых масштабы наименьшие.

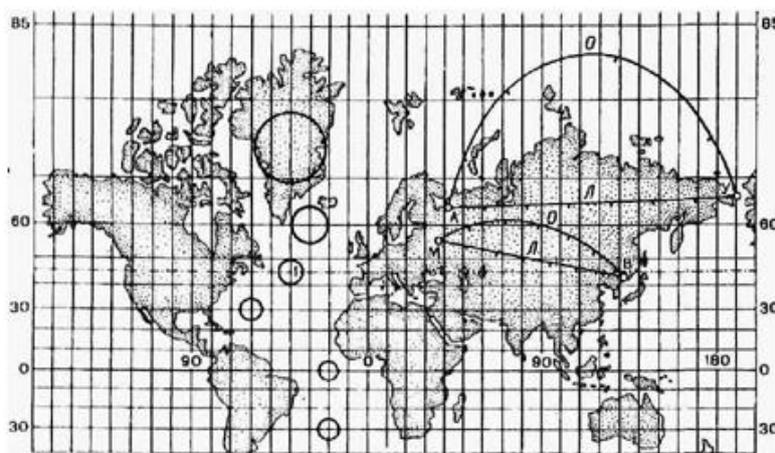


Рис. 2. Карта мира в проекции Меркатора

Чтобы ослабить колебания масштабов и искажения углов, центральную точку азимутальных проекций помещают в середине изображаемой области. Параметры конической (цилиндрической) проекции подбирают так, чтобы линия, вдоль которой масштаб имеет минимум, проходила че-

рез изображаемую область, разделяя ее на две части, примерно равные по площади, или же, чтобы выходили примерно равными крайние искажения. Но в соответствии с особенностями содержания карт эти точки и линии иногда передвигают ближе к важным участкам карты, а в отдельных случаях выводят даже за пределы области.

При выборе проекций особенно часто приходится сопоставлять искажения в различных по характеру искажений азимутальных, конических и цилиндрических проекциях. При этом следует пользоваться приближенными соотношениями между величинами искажений длин, площадей и углов.

Для областей, близких по форме к округлым или имеющих сильно удлиненную форму, выбор наиболее подходящего класса проекций из азимутальных или конических (цилиндрических) не вызывает сомнений, но при менее определенных формах очертаний областей вопрос несколько усложняется.

1.3. Влияние размеров изображаемой территории

Влияние на выбор картографической проекции размеров изображаемой территории в целом проявляется в том, что с увеличением размеров усложняется и выбор, причем возрастает количество классов используемых проекций, и они становятся также разнообразнее по характеру искажений.

Для карт «небольших» объектов в большинстве случаев при выборе проекций еще нет необходимости считаться с особенностями формы и расположения каждого объекта в отдельности, а тем более – с особенностями назначения и содержания отдельных карт. Например, многочисленные и разнообразные карты областей, протяжение которых по долготе не превосходит 7° (9°), одинаково удобно составлять в равноугольной проекции Гаусса или в соответствующей ей поперечной равноугольной цилиндрической проекции шара. Но для карт крупных частей материков, чтобы избежать заметного увеличения искажений, следует несколько приспособлять проекции к форме и расположению изображаемых областей.

Учитывая особенности назначения и содержания подобных карт, иногда нужно видоизменять и характер искажений в используемых проекциях.

В большей степени то и другое необходимо по отношению к картам материков, океанов, полушарий и т. д. Особенно тщательное приспособление проекций требуется для карт самых крупных объектов — групп материков и океанов, мира, на которых отдельные участки выходят очень сильно искаженными, причем заметное ослабление искажений очертаний и форм неизбежно требует сильного увеличения искажений площадей и наоборот.

Кроме того, различные карты небольших и средних по величине областей в большинстве komponуют однотипно, тогда как для карт крупнейших океанов, групп материков, мира требуются разнообразные виды компоновки. Естественно поэтому, что для карт какой-либо крупной части материка обычно достаточно иметь две-три разновидности проекций нередко одного класса, тогда как для разнообразных карт мира необходимо располагать многочисленными проекциями нескольких классов с различными соотношениями величин искажений углов и площадей.

Размеры изображаемых территорий влияют на выбор масштабов карт. Даже в самых крупных по формату географических атласах карты мира могут быть 1 : 45 000 000–1 : 50 000 000 масштабов и мельче; карты крупных материков – 1 : 20 000 000–1 : 25 000 000 и мельче; карты территории Российской Федерации в целом – 1 : 10 000 000–1 : 12 000 000 и мельче. Карты важных регионов или небольших областей (районов) даются в масштабах крупнее 1 : 1 000 000. Соответственно поэтому различают проекции, пригодные только для очень мелкомасштабных карт больших территорий или, наоборот, для сравнительно более крупномасштабных карт небольших территорий.

Разнообразие проекций для карт различных территорий зависит не только от их размеров, но и от специфики отдельных карт. Карты земных полушарий охватывают громадные пространства, но, тем не менее, по понятным причинам сетки карт полушарий почти всегда строят в проекциях одного класса – азимутальных. В наших изданиях наиболее разнообразны по назначению, способу пользования и содержанию карты Российской Федерации, поэтому для карт России используются разнообразные проек-

ции: различные конические, цилиндрические, поликонические, а иногда и другие.

1.4. Влияние формы и расположения изображаемой территории

При выборе проекций для карт небольших по размерам территорий нецелесообразно учитывать особенности ее формы и расположения. Для других же карт, особенно при изображении крупных объектов, необходимо учитывать формы и расположение территории и выбирать проекции так, чтобы изоколы следовали схематизированному очертанию изображаемой области. Соблюдение этого требования ведет к уменьшению искажений на картах.

Поэтому карты полярных областей, имеющих округлую форму, почти всегда составляют в прямых азимутальных проекциях. Проекции этого класса подходят и для карт западной части России. Круглые изоколы азимутальных проекций вполне соответствуют и изображению полушарий. Совпадение изокол прямых конических проекций по направлению с параллелями предопределяет выбор этих проекций для многих карт Российской Федерации и соседних государств. Карты Кордильер Северной и Южной Америки вследствие того, что обе изображаемые области сильно вытянуты вдоль больших кругов, следует составлять в цилиндрических проекциях. Подобное же наблюдается при изображении меридианных полос в проекции Гаусса, экваториальных стран — в прямых цилиндрических проекциях и т. д.

На картах мира с основным значением суши желательно, чтобы изоколы, хотя бы в первом приближении, оконтуривали схематизированные очертания массивов суши. Реже ставится условие, чтобы крайняя изокола соответствовала прямоугольным рамкам карты. На выбор проекции влияет расположение изображаемой области по широте, а для областей удлиненной формы, кроме того, и направление, по которому они вытянуты. В соответствии с формами Африки, Австралии и Антарктиды карты их можно составлять в азимутальных проекциях. При этом, считаясь с широтами центральных точек карт, для первой следует взять поперечную ази-

мутальную проекцию, для второй – косую и для третьей – прямую. Обращаясь еще раз к картам Кордильер, напомним, что в Южной Америке этот горный массив в целом вытянут в направлении с севера на юг. В Северной же Америке общее направление Кордильер довольно сильно отклоняется от направления по меридиану. Поэтому карты Кордильер и Южной Америки следует составлять в поперечных цилиндрических проекциях, а карты Кордильер Северной Америки — в косых проекциях того же класса. В соответствии с формой и расположением Скандинавского полуострова, для его карт также могли бы подойти косые цилиндрические проекции [6].

1.5. Влияние назначения карты, способа ее использования, формата издания

Изучая влияние на математические элементы карт их назначения, способа пользования и содержания, следует помнить о наличии тесных связей между этими факторами.

Набор учебных карт должен отличаться единством проекций и вида компоновки на соответствующих картах одного и того же объекта, находящихся в тексте учебников, в комплектах карт – вкладок к этим учебникам, в учебных атласах, на контурных и настенных картах.

Для школьных физико-географических карт крупнейших океанов, полушарий и мира предпочтительны проекции с симметричными относительно экватора сетками, в которых соответствующие по положению участки северного и южного полушарий изображаются одинаково по величине, зеркально симметрично.

Чтобы облегчить школьникам изучение объектов и явлений по картам отдельно и во взаимной связи, изображения на них должны быть сплошными, без промежуточных разрывов. По возможности следует избегать и повторяющихся участков, наличие которых затрудняет сопоставление площадей и может в младших классах запутать учеников. Исключение в школьных изданиях составляют такие мировые карты, как географических открытий и путешествий, коммуникаций, морских и воздушных течений, содержание которых требует применения основ с увеличенным протяжением вдоль экватора.

При разработке проекций для школьных карт необходимо учитывать, что дети младшего возраста еще не имеют представления о градусной сетке; на картах, по которым знакомятся с географическими понятиями в начальной школе, меридианы и параллели не оцифровывают, а сетку дают разреженной.

К проекциям карт, используемых в начальной школе, естественно, не ставится строгих требований о сохранении малыми искажений какого-либо одного вида; при выборе проекций для этих карт следует заботиться о том, чтобы изображения материков и океанов не сильно отличались по виду от соответствующих изображений на глобусе.

В связи с тем, что в средних и старших классах приходится выполнять более разнообразные и сложные измерения длин, площадей и направлений, требования к искажениям на соответствующих картах несколько усложняются. Однако и в средней школе многие измерения довольно приближенные, поэтому основное требование к искажениям всех видов состоит в том, чтобы они оставались незаметными зрительно. Это требование, к сожалению, не может быть полностью выполнено на картах крупных океанов, групп материков, полушарий, мира.

Для высшей школы, вследствие большого разнообразия и разносторонности содержания карт, было бы неправильно составлять все карты какой-либо крупной части материка, а тем более материка, океана, полушария, мира в одной проекции и одинаковыми по компоновке. В частности, в наборе необходимо иметь основы для карт не только западного и восточного полушарий, но и для других, на которых целно передаются полярные районы, основы для мировых карт не только с линейным, но и с центральным размещением материков, с увеличенным протяжением изображения вдоль экватора и т. д.

Требования к математическим элементам справочных карт сходны с требованиями, предъявляемыми к учебным картам.

На обзорных настенных картах следует по возможности использовать простые с равноразделенными параллелями сетки. При компоновке карт полушарий и мира нужно соблюдать привычное взаимное размещение материков, не допуская, чтобы какая-либо значительная часть суши изображалась на карте дважды. Следует избегать «косой» нарезки карт, чтобы

искажения по возможности были незаметными зрительно. Но ради достижения эффекта перспективности или сферичности, усиливающих наглядность карт, приходится допускать и более значительные искажения.

Справочные карты в научных и научно-технических изданиях закономерно отличаются разнообразием сеток и видов компоновки. В таких изданиях иногда можно применять для карт океанов, полушарий и мира проекции с несимметричными относительно экватора или прямолинейного меридиана сетками, компоновать карты полушарий и мира с повторяющимися участками.

Так же, как и на картах для высшей школы, возникает надобность в использовании проекций, более разнообразных по характеру искажений, в том числе и имеющих узкую область применения. Карты, на которые наносят пункты или какие-либо показатели по географическим координатам или определяют координаты пунктов, например метеорологические, должны иметь более частую сетку меридианов и параллелей.

Можно привести предельные величины искажений для следующих трех характерных случаев.

1. На некоторых картах в научных и научно-технических изданиях, в которых нужно применять измерения повышенной точности, следует применять проекции, искажения в длинах и площадях которых не будут превышать 0,5 %.

2. Карты справочных и учебных изданий, а также технических руководств и пособий, по которым оценка выполняется зрительно или могут выполняться примерные измерения, должны быть созданы в проекциях, в которых искажения в длинах и площадях не должны превышать 2-3 %.

3. На настенных картах, некоторых картах в атласах, обзорных картах в различных изданиях, по которым выполняется оценка площадей и углов только зрительно, можно применять проекции, в которых искажения длин и площадей 6–8 %, углов 5-6.

Для соблюдения установленных размеров и масштаба карты наряду с видоизменением компоновки иногда приходится одновременно воздействовать и на параметры проекций, несколько сжимая или растягивая изображение.

Общегеографические карты. На этих картах можно сопоставлять площади различных физико-географических объектов и административных единиц. Также можно изучать протяженность береговой линии, рек, дорог, границ; форму рельефа, очертания береговой линии и т. д.

В этом случае целесообразно применять равнопромежуточные или близкие по характеру искажений проекции (проекции 2-3 классификации Гинзбурга).

Физические карты. Основное значение имеет правильное изображение рельефа и гидрографии. По этим картам можно проводить сопоставление очертаний и направления течения рек, долин, хребтов, площадей бассейнов рек и т. д. Соответственно, в первом случае подходят равнопромежуточные и близкие к ним проекции. Во втором случае – проекции с небольшим искажением площадей.

Климатические и метеорологические карты. Для климатических карт, на которых закономерность климата изучают с помощью способа изолиний, важно сохранить небольшое искажение площадей, а иногда правильно передать очертания и формы, применяют равновеликие либо близкие к ним проекции. Когда на карте нужно стрелками показать направления, силу ветров, применяют равноугольные проекции.

На метеорологических картах обращают внимание на форму изолиний, поэтому для таких карт подходят равнопромежуточные проекции.

Карты рельефа земной поверхности и морского дна (а также тектонические и геоморфологические карты). В тех случаях, когда важно передать площади областей складчатости, бассейнов, следует выбирать проекции, обладающие небольшим искажением площадей, – равновеликие проекции. На сейсмических картах нужно измерять расстояния от эпицентра землетрясений и, следовательно, избегать искажения длин. Лучше всего использовать азимутальную равнопромежуточную проекцию Постеля.

Почвенные карты, карты грунтов земной поверхности и рельефа морского дна. На таких картах нужно определять площади почвенных зон, типы грунтов, поэтому требования к характеру искажений проекции будут близки к требованиям проекций на геологические карты.

Геологические карты. На этих картах показываются участки с различным геологическим строением, поэтому следует избегать значитель-

ных искажений площадей. Качество передачи очертаний и форм на этих картах имеет меньшее значение. В данном случае следует применять равновеликие проекции или близкие к ним.

Карты фауны и флоры. На этих картах нужно правильно передать площади территорий и их очертания. Как правило, следует отдавать предпочтение проекциям, имеющим незначительные искажения площадей, поэтому следует применять равновеликие проекции.

Экологические карты. Для многих экологических карт различных видов загрязнения территорий, комплексного нарушения земель, эрозии почв, карт растительности следует применять равновеликие проекции. Для карт демографического потенциала, карт взаимодействия экологических факторов, корреляционные оценки которых изображаются способом изолиний, по которым проводится интерполяция, следует применять равноугольные проекции.

При одновременном отображении различных экологических характеристик разными способами применяются равнопромежуточные по характеру искажения проекции.

Для создания карт здравоохранения, отображающих распределение болезней или условий и источников возникновения, подходят равновеликие или близкие к ним проекции.

Инвентаризационные карты и карты динамики требуют применения равновеликих по характеру искажений проекции.

Оценочные, прогнозныe карты создаются в разных по характеру искажения проекциях. Если содержание карт передается картограммой, то следует применять равновеликие проекции, если же используется способ изолиний, то лучше использовать равноугольные проекции.

1.6. Влияние содержания карты

Устанавливая влияние на выбор проекции содержания карт, легко подчинить этот выбор одному требованию, например, требованию о полном отсутствии искажений площадей. Однако, особенно для многосторонних по содержанию карт, одни требования не согласуются с другими. Анализируя и сопоставляя отдельные требования по степени их

значимости для конкретной карты, нужно либо выделить главный фактор, определяющий характер искажений в целом для карты, либо принять компромиссное решение.

Устанавливая наиболее подходящий характер искажений, следует считаться и с принятым на данной карте способом изображения (ареалы, качественный фон, способ точек, изолиний). Особенности содержания карт также оказывают на выбор проекции тем большее влияние, чем крупнее изображаемые на картах области. Здесь необходимо разъяснить, что различия между проекциями, имеющими соседние номера в шкале, остаются для карт небольших областей практически еще незаметными, но приобретают все большее значение по мере увеличения размеров областей.

Следует иметь в виду, что рекомендации могут даваться для часто встречающихся видов карт того или иного содержания, но, естественно, не должны и не в состоянии охватить все разновидности карт.

К этим рекомендациям можно отнести следующие.

1. Большую группу составляют карты, для которых особенно важно качество воспроизведения площадей, в зависимости от того, имеется ли в виду только зрительное или же инструментальное сопоставление с различной точностью. Требование о сохранении небольших искажений площадей типично, например, для карт, на которых явления изображаются качественным фоном или ареалами. К таким картам относятся: почвенные карты, геологические, карты растительного и животного мира и т. д. Для того, чтобы по возможности сохранялось правильное зрительное впечатление о густоте размещения объектов, аналогичными по характеру искажений должны быть и проекции ряда карт, на которых объекты показываются значками. Это экономические карты, карты культурных учреждений, месторождений полезных ископаемых и т. д.

Для карт этой группы важным требованием остается качество показа площадей, но, вместе с тем, необходимо заботиться и о качестве передачи очертаний и форм объектов, например ортографические схемы, гипсометрические, геоморфологические и тектонические карты. В зависимости от особенностей содержания отдельных карт нужно правильно выбирать проекции.

2. К другой группе относятся карты, для которых оба фактора важны: с одной стороны, площади, с другой, – очертания и формы. Здесь нужны проекции со средними показателями характера искажений. К таким картам относятся общегеографические карты, на которых могут сопоставляться площади различных объектов, изучаться протяженность сухопутных границ, береговой черты, рек, дорог и т. д. На политических картах нежелательно сильно нарушать очертания и протяженность границ, формы изображаемых государств и, вместе с тем, следует избегать значительных искажений площадей государств.

3. К следующей группе карт относятся, сравнительно менее многочисленные карты, для которых, несмотря на появление иногда даже больших искажений площадей, все же требуются равноугольные проекции или близкие к ним. Равноугольные проекции больше всего подходят для карт, явления на которых показываются способом линий движения – это карты направления ветров, морских течений (их скорости, силы и т. д.) и пр.

4. К отдельной группе относят специальные карты, на которых тематическое содержание показывается способом изолиний. Для общего обзора, а также для измерений площадей, заключенных между изотерами, изобарами, изогопсами и т. д., подходят карты, составленные в равновеликих или с небольшими искажениями площадей проекциях. Если же определяют градиенты, например, интенсивность измерения температур воздуха, солености морской воды, магнитного склонения, а также если, интерполируя между изолиниями, приходится определять места на карте, в которых соответствующие величины имеют промежуточные дробные значения, то положение меняется. Так как в равновеликих проекциях масштабы длин зависят от направления, то определение градиента и интерполирование осложняются; для выполнения такого рода действий удобнее применять равноугольные проекции, в которых масштабы в каждой отдельной точке проекции остаются постоянными. Все приведенные выше сведения показывают, что только для сравнительно малого числа карт крупных областей требуются равновеликие или равноугольные проекции [6].

1.7. Влияние дополнительных требований, обусловленных местом данной карты в составе системы карт

Особенности содержания отдельных карт, входящих в состав комплекса или серии, набора, географического атласа, требуют варьирования масштабов карт, использования особых, наиболее подходящих видов компоновки изображения, применения проекций, обладающих специфическими свойствами и т. д. При выборе проекций для карт, входящих в комплекс, приходится заботиться не только об удовлетворении требований, предъявляемых к каждой карте в отдельности, но и об удобстве сопоставления содержания различных карт комплекса и совместной работе с ними. Не всегда это удается. Согласование тем сложнее, чем крупнее картографируемые объекты, разнообразнее тематика карт и богаче их содержание.

Нетрудно выбрать общую проекцию для группы физико-географических карт материков: тектонических, геоморфологических, гипсометрических, геологических и почвенных. В частности, можно предложить равновеликую или с небольшими искажениями площадей азимутальную проекцию, причем иногда карты всех материков составляют в одном и том же масштабе, а для различных карт каждого материка принимают не только одинаковые координаты центральной точки сетки, но большей частью и компоновку карты. Таким же образом можно было бы выбрать общую проекцию и для серии социально-экономических карт материков, в которую входят, скажем, карты: политическая, промышленности, сельского хозяйства, народов, населения. Но даже для одинаковых по содержанию карт океанов – Индийского и Атлантического, – считаясь с их размерами, географическим положением и формой, часто приходится применять разные проекции.

В зависимости от конкретных условий при выборе проекций для комплексов карт принимают либо одну, либо несколько проекций и видов компоновки.

В *первом* случае отдают предпочтение такой проекции, которая по совокупности признаков в наибольшей степени удовлетворяет основным требованиям, предъявляемым к группе карт данного комплекса. В качестве общих для широкого круга потребителей карт скорее подходят проек-

ции со средними показателями по признаку искажений, с равноразделенными параллелями и средним меридианом, с симметричными относительно экватора сетками и т. д.

Второй случай, когда математическая основа для группы карт более разнообразная, причем требуются решения отличные от типовых, только для одной или двух карт. Например, в мировом атласе с относительно небольшим набором карт мира все они, кроме карты поясного времени, составляют в одной из поликонических проекций и только для упомянутой карты принимают цилиндрическую проекцию. Иногда целесообразно карты комплекса разделять на две группы в зависимости от того, что для отдельных карт важнее: сохранение умеренных искажений всех видов или полное устранение искажений площадей, или углов, как необходимое условие для удобных измерений. Принимая для группы карт полушарий или мира две проекции, очень различные по характеру искажений, — равноугольную и равновеликую — далеко не полностью ослабляют недостатки изображения в той и другой. В частности, как известно, формы крупных объектов изображаются ближе всего, к действительности не в упомянутых проекциях, а в других по характеру искажений, близких к равнопромежуточным.

1.7.1. Влияние компоновки карты на выбор картографической проекции

Сопоставление содержания на отдельных картах комплекса затрудняется еще более в тех случаях, когда приходится варьировать компоновку карт. Если в каком-либо атласе, кроме физических карт полушарий, имеются также карты материкового и водного полушарий, то последние необходимо компоновать иначе, принимая не поперечную, а косую азимутальную проекцию. Особым образом должны компоноваться карты кратчайших расстояний, некоторые карты коммуникаций и связи и т. д.

Наиболее распространенными являются компоновки таких карт, на которых изображения предметов и явлений сосредоточиваются только на материковой части России, или же таких, на которых специальное содержание распространяется и на значительные участки морей, прилегающих

с севера, и острова. При этом Северный полюс не дается, так что северная рамка карты проводится южнее его. Меридиан с долготой $\lambda_m = +100^\circ$ принимается за средний с тем, чтобы изображения окраинных западных и восточных частей Российской Федерации были бы примерно на одном уровне и, вместе с тем, обеспечивалась возможность показать для связи части соседних государств [2].

Реже возникает необходимость в расширении рамки карты на север, что вызывается требованием изобразить всю полярную область или ее значительную часть. При этом полюс должен быть показан в виде точки, а околополярные параллели не должны иметь разрыва. При увеличении поля карты на юг изображение этой части должно находиться примерно в равных по искажениям условиях с северной ее частью.

Для справочных и некоторых учебных карт России основным является требование о возможном уменьшении искажений. Распределение искажений должно выбираться в зависимости от принимаемой компоновки карты.

1.7.2. Выбор проекций для карт России

При выборе проекций для карт всей России следует иметь в виду, что в зависимости от назначения, содержания и способа пользования этими картами могут значительно изменяться требования не только к проекциям, но и к их компоновке, в частности, к включению в рамку карты тех или иных участков сопредельных территорий.

Для карт России в целом без полярного круга лучше применять конические равнопромежуточные или равноугольные проекции. При этом в первом случае искажения в длинах и площадях не будут превышать 5-6 %, в углах 3° .

Для карт европейской части России применяются прямые конические равнопромежуточные проекции.

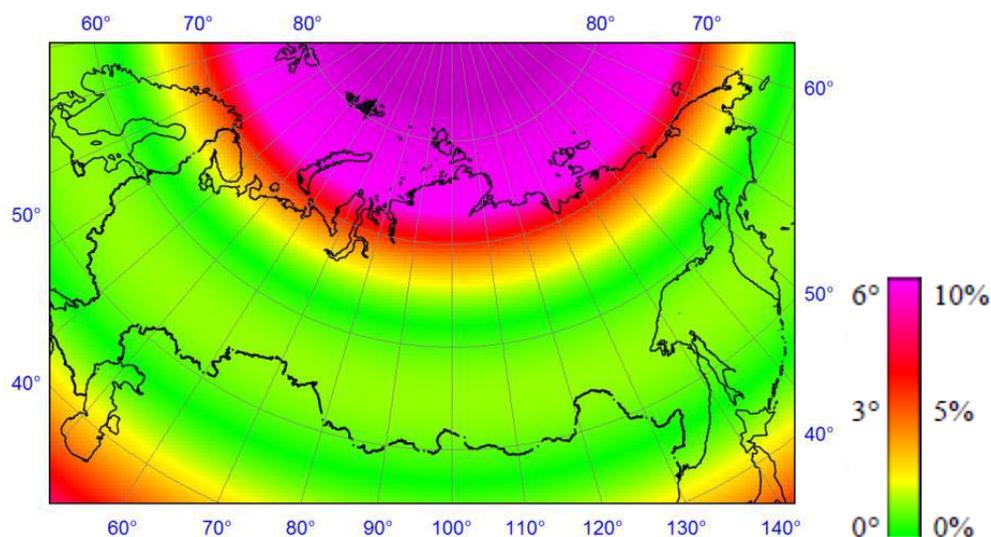
Изображение РФ без полярного района будет обладать достаточно малыми искажениями в нормальных конических проекциях. В нормальных конических равнопромежуточных проекциях пределы колебания масштабов длин и площадей составляют 5-6 %, наибольшие искажения

углов $2,5-3^\circ$. В конических же равноугольных проекциях пределы колебания масштабов площадей удваиваются, но зато не искажаются углы. В равновеликих проекциях пределы колебания масштабов длин будут от -6 до $+6$ %, а наибольшие искажения углов удвоятся по сравнению с равнопромежуточными. В указанных группах проекций полюс в пределах карты не показывается, так как он изображается или дугой (равнопромежуточные и равновеликие), или точкой, но параллели получаются разомкнутыми.

Изображение РФ с полным или частичным показом полярного бассейна лучше обеспечивается косыми цилиндрическими проекциями, и при требовании искажений площадей и углов одного порядка – близкими к равнопромежуточным. Колебания масштабов длин и площадей в них достигают до $6-7$ %, наибольшие искажения углов составляют $4-5^\circ$. При расширении поля карты одновременно и к югу очертания схематизированного контура изображаемой области близки к окружности, т. е. наиболее подходящими будут косые азимутальные проекции. В проекции этого класса, относящейся по характеру искажений ко второй группе, предел колебания масштабов составляет 4 %, но зато наибольшие искажения углов достигают до 7° .

Выбор проекций для карт РФ усложняется, когда дополнительно ставятся требования к виду сетки, в частности, к передаче сферичности, уменьшения кривизны параллелей и др. Принятие ограничительных требований к виду сетки приводит к увеличению искажений на этих картах. Проекции, в которых параллели изображаются более пологими кривыми, обладают большими искажениями.

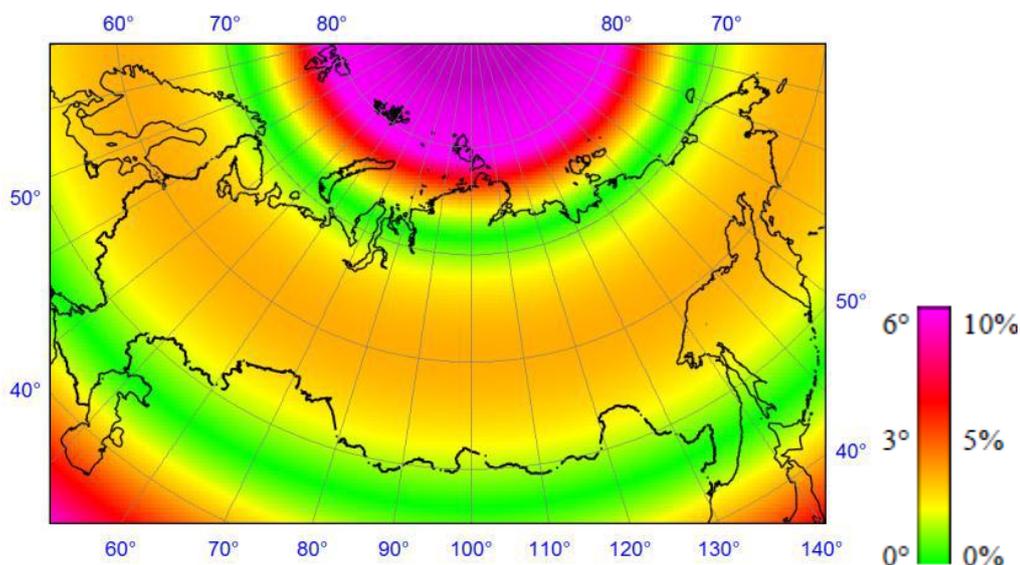
Ниже приводятся различные проекции, которые следует применять для карт РФ в зависимости от их компоновки, учитывая приведенные выше соображения о величинах искажений. При требовании дать проекцию, в которой искажения всех трех видов были бы оптимальны, причем полюс не будет показываться в рамке карты, – нормальные конические равнопромежуточные. Так, в проекции В. В. Каврайского (рис. 3) для значительной части Российской Федерации (к югу от 70-й параллели) искажения площадей не превышают 4 %, а искажения углов зрительно незаметны; севернее указанной параллели искажения быстро возрастают.



Масштаб 1 : 100 000 000

Рис. 3. Искажения площадей и углов в нормальной равнопромежуточной проекции Каврайского

В проекции Ф. Н. Красовского (рис. 4), по сравнению с предыдущей, зона с небольшими искажениями расширена, и на 80-й параллели искажения площадей и углов примерно в два раза меньше.



Масштаб 1 : 100 000 000

Рис. 4. Искажения площадей и углов в нормальной равнопромежуточной проекции Красовского

При таких искажениях названные конические проекции можно использовать для карт, по которым производят приближенные определения географических координат пунктов, визуальные сопоставления площадей в пределах большей части территории РФ.

Нормальная коническая равнопромежуточная проекция ПКО «Картография», в которой построена карта России и сопредельных государств масштаба 1 : 2 500 000 в 1999 г., представлена на рис. 5.

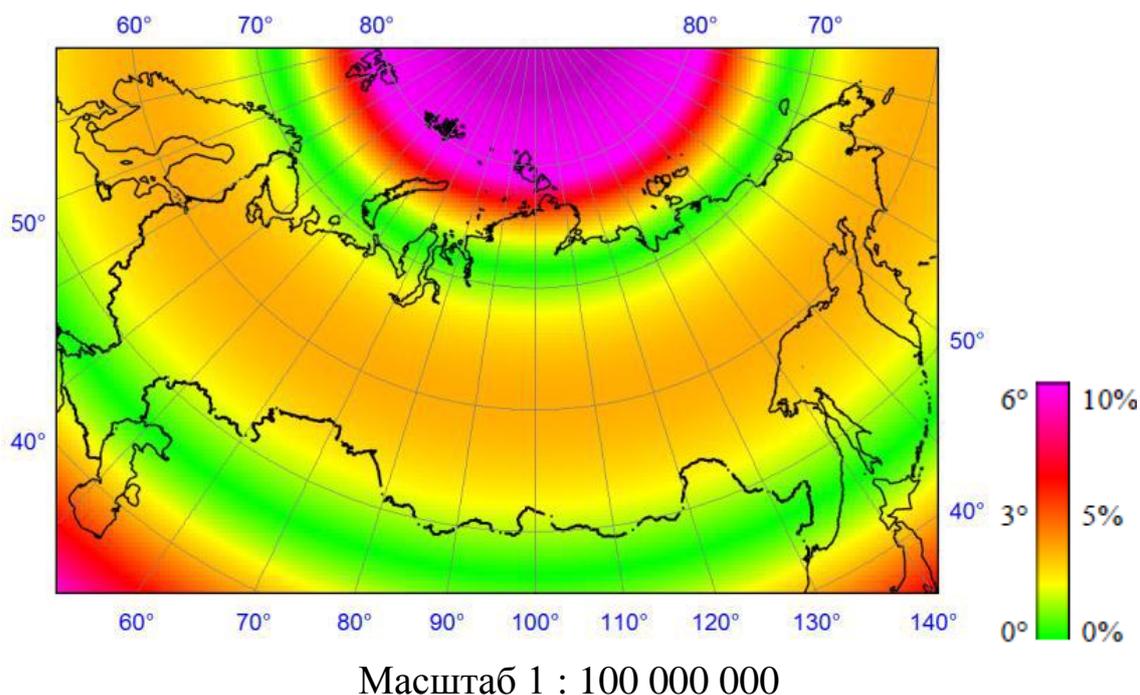


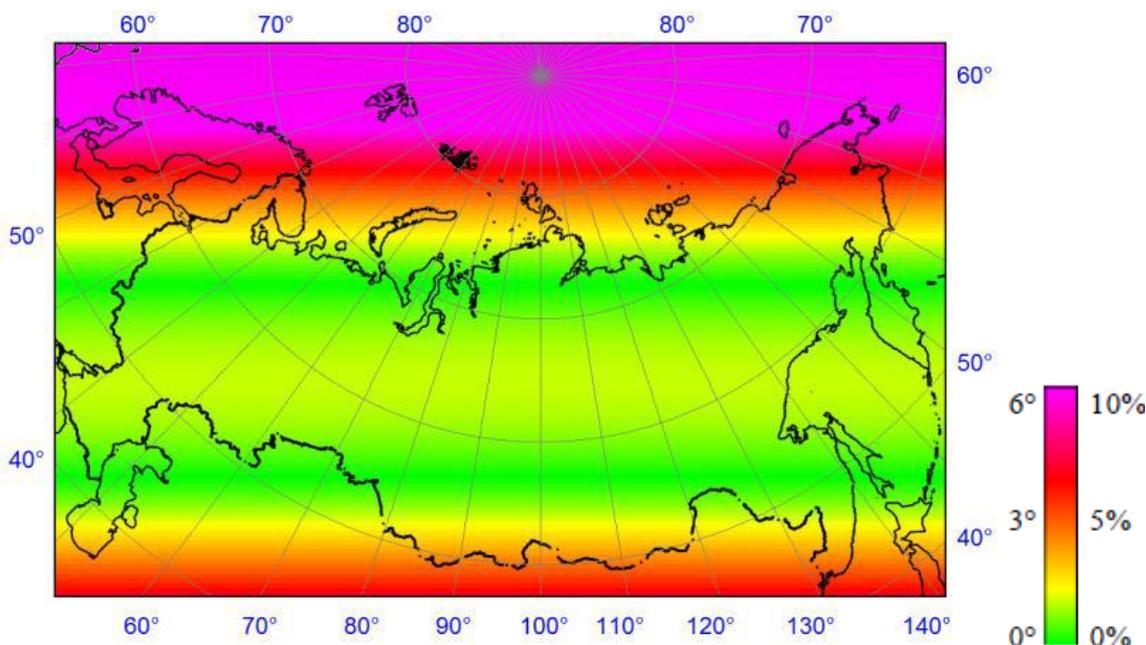
Рис. 5. Искажения площадей и углов в нормальной равнопромежуточной проекции ПКО «Картография»

Если же требуется ослабить или полностью устранить искажения какого-либо одного вида (например, углов или площадей), следует применять конические равноугольные или равновеликие проекции. При этом необходимо иметь в виду, что при широтах главных параллелей $\varphi_1 = +50^\circ$ и $\varphi_2 = +70^\circ$ в равноугольной проекций искажения площадей на 80-й параллели доходят до 14,5 %, в равновеликой искажения углов достигают 16° .

Для карт, включающих полюс или большую часть полярного бассейна, подходят косые цилиндрические и азимутальные проекции. Если при

этом искажения на материковой части РФ должны быть меньше, чем на прилегающей к ней океанической акватории, целесообразно применять косую перспективно-цилиндрическую проекцию ЦНИИГАиК (рис. 6).

Амплитуда колебания искажений площадей для полосы, охватывающей изображаемую область протяженностью в 50° по широте, составляет 7 %, а искажения углов не превышают 6° .



Масштаб 1: 100 000 000

Рис. 6. Искажения площадей и углов в косой перспективно-цилиндрической проекции ЦНИИГАиК

Если же изображение приполярного бассейна и прилегающих к РФ с юга территорий не должно быть значительно искажено, то, допускается увеличение искажений в восточной и западной частях карты и можно применить косую азимутальную проекцию.

Косая азимутальная проекция ЦНИИГАиК с небольшими искажениями площадей (рис. 7) характеризуется теми же крайними значениями, что и упомянутая цилиндрическая проекция, но с иным их распределением.

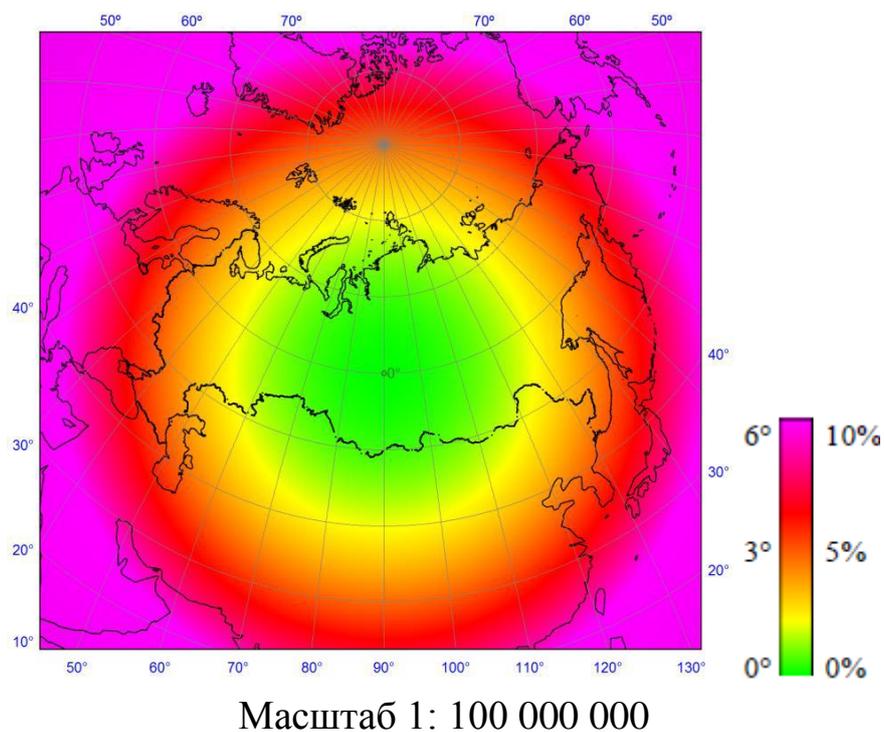
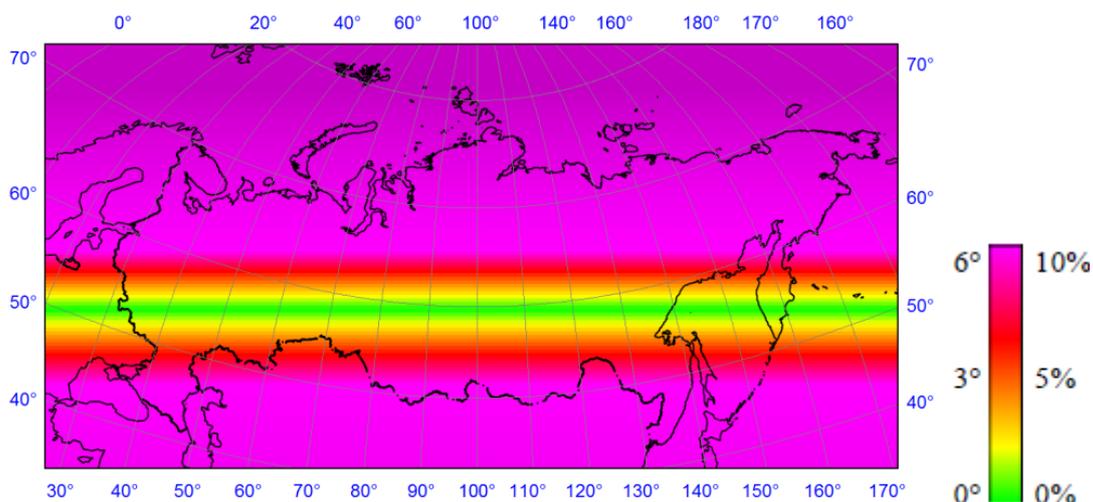


Рис. 7. Искажения площадей и углов в косо́й азимутальной проекции ЦНИИГАиК с небольшими искажениями площадей

Для карт Российской Федерации, на которых необходимо отобразить параллели небольшой кривизны (по сравнению с нормальными коническими), следует применять косую перспективно-цилиндрическую проекцию М. Д. Соловьева (рис. 8), но искажения углов и, главное, – площадей – в ней значительно больше. Так, для изображения почти всей материковой части РФ, за исключением северо-восточной его оконечности, амплитуда колебания искажений площадей в проекции Соловьева будет более 100 %, а искажения углов характеризуются величинами 15° .

В отдельных случаях для карт РФ может потребоваться проекция, которая позволила бы включить в рамку карты значительные дополнительные участки на восток и запад при сравнительно небольших искажениях и малой кривизне параллелей.

В табл. 3 определены рекомендуемые проекции для разных компоновок карт Российской Федерации.



Масштаб 1: 100 000 000

Рис. 8. Искажения площадей и углов в косо́й перспективно-цилиндрической проекции Соловьёва

Таблица 3

Рекомендуемые проекции для карт России [6, 13]

Изображаемые территории и водные пространства, особенности компоновок карт	Рекомендуемые проекции
<p>А. При требовании, чтобы искажения всех видов были по возможности небольшими:</p> <p>1) полюс в рамку карты не включается, основное содержание на материковой части;</p> <p>2) полюс в рамку карты не включается, основное содержание показывается и на прилегающих с севера морях, и на островах;</p> <p>3) полюс включается в рамку карты, полярная область показывается полностью или частично;</p> <p>4) полюс включается в рамку карты, кроме полярной области даются сопредельные территории к югу от РФ</p> <p>Б. При требовании исключить искажения одного вида</p> <p>5. Полюс в рамку карты не включается; требуется обеспечить возможность определять направления</p>	<p>Нормальная коническая равнопромежуточная Каврайского, $\varphi_1 = +47^\circ$, $\varphi_2 = +62^\circ$.</p> <p>Нормальная коническая равнопромежуточная Красовского, $\varphi_1 = +49,4^\circ$, $\varphi_2 = +67,8^\circ$.</p> <p>Нормальная коническая равнопромежуточная проекция ПКО «Картография» $\varphi_1 = +46,548\ 696^\circ$ и $\varphi_2 = +71,568\ 357^\circ$.</p> <p>Косая перспективно-цилиндрическая ЦНИИГАиК, $\varphi_0 = +25^\circ$, $\lambda_0 = -80^\circ$, $k = 3$, $\varphi'_k = 10^\circ$.</p> <p>Косая азимутальная ЦНИИГАиК с небольшими искажениями площадей, $\varphi_0 = +60^\circ$, $\lambda_0 = +90^\circ$, $k = 2,7$.</p> <p>Нормальная коническая равноугольная Ламберта – Гаусса, $\varphi_1 = +50^\circ$ и $\varphi_2 = +70^\circ$.</p>

Изображаемые территории и водные пространства, особенности компоновок карт	Рекомендуемые проекции
6. Полюс в рамку карты не включается; требуется обеспечить возможность сопоставлять площади в пределах всей карты В. При требовании передать параллели кривыми небольшой кривизны за счет увеличения искажений	Нормальная коническая равновеликая, $\varphi_1 = +50^\circ$ и $\varphi_2 = +70^\circ$.
7. Полюс включается в рамку карты, требуется передать сферичность (для карт начальной школы)	Косая перспективно-цилиндрическая Соловьева, $\varphi_0 = +75^\circ$, $\lambda_0 = -80^\circ$, $k = 1$, $\varphi'_k = 45^\circ$

Для автоматизации процессов выбора картографической проекции на основе табл. 3 был разработан граф выбора картографической проекции (рис. 9) [9].



Рис. 9. Граф выбора картографической проекции для карт Российской Федерации

1.8. Экспертная система для выбора картографических проекций

Программные картографические продукты, используемые в геоинформационных технологиях, нуждаются в экспертных системах, предназначенных для выбора проекций. Это особенно важно для пользователей, не совсем знакомых с математической картографией. Подобная экспертная система должна работать, вероятно, в интерактивном режиме.

Необходимым, достаточно сложным и начальным этапом создания любой карты является выбор элементов математической основы, а именно: масштаба картографирования, оптимальной картографической проекции, построения макета компоновки и картографической сетки. Современные ГИС-программы этих задач полностью не решают, хотя и обладают возможностями построения отдельных элементов.

Для картографических проекций в математической картографии разработаны целые теории, но их выбор для большинства типов карт (кроме унифицированных систем) также не реализован в компьютерных программах. В результате при создании картографических произведений вместо выбора проекции, оптимальной для решения поставленной задачи, часто используются проекции исходных картографических материалов или любая проекция из предложенных в программном продукте.

Поэтому автоматизация процессов выбора и построения элементов математической основы является в настоящее время приоритетным направлением научных исследований в картографии, решающим важную задачу грамотного и оперативного проектирования карт.

Знания по использованию и выбору картографических проекций должны быть формализованы и помещены в базу знаний соответствующей компьютерной системы. По мере работы такой системы база знаний, несомненно, будет совершенствоваться, а ее объем – увеличиваться.

В основу формализации может быть положен принцип «категория географической территории – объект – атрибуты объекта». Он позволяет построить некоторую удобную для хранения и использования иерархическую структуру. В этой структуре конкретная категория объекта связана с серией объектов, а каждый объект – с серией наборов атрибутов.

Все категории объектов могут быть разделены на две группы: определенные и полуопределенные. Определенные категории – это те, которые допускают присвоение метки (имени), однозначно их определяющей. К таким категориям можно отнести следующие географические территории: континенты, страны света, океаны, моря, государства, территориальные административные единицы государств. Указание имени однозначно определяет территорию, ее размеры, географическое положение (Евразия, Россия, Новосибирская область и т. п.).

На каждый такой объект в базе знаний может быть заведен *кадр*, постоянно хранящий определенную информацию: имя категории, имя объекта, его географическое положение, размеры, преимущественное простираение и др. Эти данные хранятся постоянно.

Полуопределенные категории – те, которые простым указанием их имени не могут быть однозначно идентифицированы. К ним можно отнести мир, Мировой океан, полушарие, регион.

Мир может быть показан с различных точек зрения. В его центре может быть любой континент или даже любой город. Чтобы отобразить весь мир, необходимо указать центральную точку на карте. Таких центров может быть бесчисленное множество. Задача во многом упрощается, если центр расположен на экваторе. В этом случае достаточно указать средний меридиан карты. На картах России он будет одним, для США – другим, а для Новой Зеландии – третьим.

Подобное можно сказать и про карты Мирового океана и т. д.

Примерное расположение перечисленных объектов известно, однако для уточнения их локализации и направления преимущественного простираения каждый раз потребуются данные, которые может сообщить только заинтересованный в этом пользователь.

Определенные данные также потребуются для выбора полюса полярной системы координат на шаре, выбора главных параллелей (альмукантаратов), для вычисления параметров проекции и др.

На полуопределенные объекты также могут быть заведены кадры данных, однако они неизбежно будут содержать неопределенные переменные, значения которых придется определять из ответов пользователя. Полученная информация в базу знаний не заносится, хранится временно и

используется для расчета текущих параметров проекций. Практикой уже подобраны проекции, ориентированные на определенные территории с определенным набором атрибутов. Эта информация, заложенная в базу знаний, может составить ее основу.

Постоянно или временно хранящаяся информация определяет факторы первой группы (географические атрибуты объекта картографирования) и выделяет рекомендуемые классы проекций.

Дальнейшие вопросы к пользователю и его ответы должны выяснить определяющие факторы второй (атрибуты карты) и третьей (атрибуты проекции карты) групп.

Вопросы пользователю должны быть такими, чтобы можно было установить функцию карты, способы ее использования и анализа, картографические способы изображения, масштаб и т. п.

В экспертной системе важное место занимает вопросник, предъявляемый пользователю, а в нем – содержание и количество вопросов.

В итоге система из намеченного набора выделит проекции, удовлетворяющие запросам пользователя, и предъявит ему список из нескольких проекций. Пользователь из этого списка должен будет выбрать окончательный вариант.

На окончательный визуальный выбор немаловажное влияние может оказать наглядность и эстетичность карты в проекции [3].

2. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ВЫБОР КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ

Для создания качественной карты необходимы опыт и знания профессиональных картографов. Активное развитие компьютерных технологий в конце XX в. дало возможность многим пользователям, даже не картографам, создавать собственные карты. Вследствие чего, в настоящее время часто встречаются плохо составленные карты, особенно в сети интернет и средствах массовой информации. В то же время, современные ГИС-программы дали картографу свободу выбора элементов математической основы карт, что открывает большие творческие перспективы. Так картографические проекции со сложным математическим аппаратом, которые было трудно рассчитать вручную, редко использовались в традиционной картографии. Теперь эти проекции могут быть использованы без ограничений и особых трудностей при построении. Это связано с тем, что формулы записаны в библиотеке проекций ГИС-программ. Параметры проекций могут быть легко изменены, что позволяет уменьшить размер искажений. Однако, в настоящее время для выбора элементов математической основы пользователю не предлагаются рекомендации для выбора наилучших параметров для конкретных целей картографирования. Это приводит к неверному выбору элементов математической основы.

Вследствие этого отечественными и зарубежными учеными стали разрабатываться методики выбора элементов математической основы. Большая часть разработок направлена на помощь картографу в выборе именно картографических проекций. Эта помощь принимает различные формы: от сравнительно простых инструментов показа искажений проекций и определения параметров проекции, до экспертных систем, в которых пользователь, отвечая на ряд вопросов, связанных с назначением карты и условиями пользования ею, получает список подходящих проекций.

Попытки полностью автоматизировать выбор картографической проекции не имели практического результата. Одна из главных трудностей, с

которой столкнулись исследователи, – большое количество разработанных проекций, из которых необходимо сделать выбор. Ряд проекций имеют очень близкие характеристики, что усложняет выбор между ними.

Одна из таких разработок была сделана в 1987 г. Дж. Снайдером [19]. Для обеспечения выбора картографической проекции в ней представлено дерево решений, основанное на следующих факторах.

1. Размер, форма, ориентация и положение картографируемой территории.

2. Характер искажений (равноугольные, равновеликие, равнопромежуточные).

3. Конкретные свойства проекции (например, локсодромичность, сохранение масштаба вдоль какого-либо направления, наличие разрывов картографического изображения).

Рекомендуемые проекции могут быть применены во многих случаях, но для этого необходимо определять для каждой конкретной территории параметры, такие, как центральный меридиан, стандартные параллели или координаты центральной точки. Кроме того, в некоторых случаях могут быть применены более сложные проекции для конкретных территорий (например, проекция GS50 для показа основной территории США с Аляской и Гавайскими островами на одной карте с минимальными искажениями). Включены в список не все возможные проекции, поэтому для картографирования рассмотренных территорий могут подходить и другие проекции.

Здесь проводится четкое разделение между картами мира и картами меньших площадей. Это связано с тем, что при проектировании карт мира могут использоваться другие критерии выбора картографической проекции, чем для карт континентов или других крупных регионов (например, разрывы картографического изображения). Также для карт мира рекомендуются различные классы проекций, такие, как псевдоцилиндрические, псевдоазимутальные и др. Для карт полушарий, имеющих округлую форму, рекомендуется использовать азимутальные проекции. Для карт континентов, океанов и крупных регионов рекомендуются азимутальные, конические и цилиндрические проекции в различных ориентировках (нормальные, поперечные, косые).

Представленное дерево решений может быть полезно для практического использования, но в нем указаны не все проекции, а только наиболее часто используемые в США и Европе.

Также интерес представляет разработка выбора проекции основанная на учете следующих параметров (П. Янковский и Т. Нуергес) [17]:

1) размеры географических областей – мир, полушарие, континент, океан, море, страна, регион;

2) атрибуты географической области – местоположение, вытянутость в каком-либо направлении;

3) геометрические атрибуты, описывающие искажения картографической проекции, – искажения формы, размеров, углов, расстояний и частных масштабов длин;

4) тип дисплея;

5) взаимосвязь между географической областью и ее атрибутами: геометрическими атрибутами, характеризующими искажения, свойствами карты и различными картографическими проекциями (рис. 10).

База знаний была реализована как прототип экспертной системы по выбору картографической проекции, названной Map Projection Knowledge Based System (MaPKBS), т. е. *База знаний картографических проекций*.

Фактически база знаний MaPKBS может быть формализована в иерархическую структуру «категория – объект – атрибут». Категория включает мир, полушарие и регион, а также континент, океан, море и страну. Первые три категории неоднозначны, и количество объектов, относящихся к каждой из этих категорий, является неопределенным.

Картограф может выбрать любую центральную точку на земном шаре при создании карт мира и полушарий, а также регионы могут иметь различные границы. Таким образом, может быть разработано бесконечное количество различных территорий и видов полушарий и карт мира. Неоднозначность этих трех категорий связана с тем, что объект категории не соответствует строго одной пространственной организации.

Остальные четыре категории (континент, океан, море и страна) являются однозначными. Количество объектов, относящихся к каждой из приведенных выше категорий, конечно. Каждый объект соответствует одной

пространственной организации и характеризуется совокупностью географических признаков.



Рис. 10. Схема процесса сбора информации:

а) в MapKBS; б) типичная структура базы знаний (П. Янковский и Т. Нуергес)

Объект содержит атрибуты, которые характеризуют географические свойства объектов (местоположение и форму).

Для категорий, определенных однозначно, информация об объекте записывается в «карточку», которая постоянно хранится в базе знаний. Каждая «карточка» содержит имя объекта, категорию, местоположение объекта и его форму. Для неоднозначных категорий информация об объекте запрашивается у пользователя. Информация, введенная пользователем, временно хранится, пока время работы программы не закончится.

Действующая база знаний выбора картографической проекции описывает отношения между атрибутами объектов, свойствами проекции и карты и использованием конкретных картографических проекций. Эта информация представлена в виде правил «ЕСЛИ ..., ТО ...», которые сгруппированы в цепочки рассуждений, каждое из которых ведет к определенной проекции. Все начинается с определения категории географической области, информации об объекте, географических признаков, назначения карты, геометрических свойств проекции, типа дисплея и масштаба карты, которые устанавливаются в диалоговом режиме, используя порождающее правило и фактические данные базы знаний, обеспеченные пользователем или «карточкой» из базы знаний. На рис. 10, а показаны последовательные шаги в процессе сбора информации, необходимой для решения задачи выбора проекции карты. На рис. 10, б представлена типичная структура базы знаний MaPKBS. Как видно, информация об объекте может быть легко добавлена в базу знаний при создании новой «карточки». Это достигается системой автоматически.

MaPKBS не может рассматриваться как окончательное решение проблемы автоматического выбора картографической проекции. Этот прототип экспертной системы учитывает лишь часть критериев, которые могут быть выполнены в процессе выбора.

В другой процедуре автоматического выбора картографической проекции, проводимой на основе набора проекций трех классов (П. Мекенкамп: цилиндрических, конических и азимутальных), пользователь должен ответить на два вопроса [18].

1. Какая форма у картографируемой территории?
2. Какова цель карты?

На первый вопрос есть три ответа:

- 1) область с одной точкой (округлая область);
- 2) область с двумя точками (прямоугольная область);
- 3) область с тремя точками (треугольная область).

Рассматриваются только косые системы координат для всех трех классов проекций, так как они дают наименьшие искажения в данной области. Это позволяет устанавливать центральную точку (полнос косо́й системы) в любую точку земного шара без каких-либо ограничений, таким

образом, вопрос о широтном положении картографируемой территории (вблизи полюса, близ экватора, в средних широтах), который является одним из основных критериев в схеме, сделанной Дж. Снайдером [19], становится неактуальным. Это сильно упрощает процесс выбора картографической проекции, который зависит только от пользователя. Количество главных точек определяется пользователем как набор пар географических координат. Далее программное обеспечение автоматически определяет класс проекции и ее параметры в зависимости от количества заданных точек. При выборе одной точки устанавливается косая азимутальная проекция с центром косой системы в выбранной точке. При выборе двух точек программа установит косую цилиндрическую проекцию с дугой большого круга, проходящей через заданные две точки.

При выборе трех точек устанавливается косая коническая проекция.

После определения формы картографируемой территории пользователь должен определить назначение карты. Для каждого класса выбор должен быть сделан между равноугольной, равновеликой или равнопромежуточной проекцией. Также для специальных целей были добавлены гномоническая и ортографическая азимутальные проекции. Утверждается, что набор из одиннадцати картографических проекций (табл. 4) достаточен для составления мелкомасштабных карт с умеренными искажениями. Процедура выбора очень проста и может быть легко реализована. Кроме того, она всегда дает единственное решение. Тем не менее, метод имеет ряд важных ограничений. Прежде всего, не всегда можно легко определить количество главных точек, а также их расположение (особенно для крупных регионов). Вторая проблема заключается в том, что конические проекции не могут быть использованы для картографирования всего мира, так как это приведет к большим искажениям. Также пользователю будет затруднительно выбрать такие точки, чтобы установить прямые или поперечные проекции. И, наконец, П. Мекенкамп использует косые конические проекции, теория которых еще плохо разработана, вследствие чего их не используют в практических целях и их нет в ГИС-программах.

Другая методика основана на интеллектуальном выборе проекций при визуализации карт на мониторе компьютера для минимизации искажений (Х. Хелали, А. Алешейк и М. Хамраш) [20]. Так, при перемещении окна

карты от экватора к полюсу, проекция карты меняется в реальном времени от проекции Меркатора на экваторе до азимутальной проекции на полюсе. Кроме того, при выборе учитываются традиционные проекции для картографирования стран мира. При отображении страны в окне дисплея выбирается та проекция, которая подходит именно для этой страны.

Таблица 4

Набор картографических проекций по методу Мекенкампа

Косая азимутальная (Область с одной точкой)
CON равноугольная
EQV равновеликая
EQD равнопромежуточная
GNO гномоническая
OPT ортографическая
Косая цилиндрическая (Область с двумя точками)
CON равноугольная
EQV равновеликая
EQD равнопромежуточная
Косая коническая (Область с тремя точками)
CON равноугольная
EQV равновеликая
EQD равнопромежуточная

Для работы данной методики необходимо указать следующие параметры:

- 1) масштаб отображения карты;
- 2) визуализированный на дисплее участок карты;
- 3) название государства;
- 4) форма окна карты.

Для работы программы пользователю необходимо определить свойства картографических проекций.

По этой методике выделяют геометрические и общие свойства проекции, учитываемые при мелкомасштабном картографировании. *Геометрические свойства* включают в себя следующие:

- 1) симметрия картографической сетки (радиальная, одинарная, двойная, все три типа симметрии и без симметрии);

2) сохранение расстояний (вдоль экватора, вдоль центрального меридиана, вдоль экватора и центрального меридиана, отсутствует);

3) форма картографической сетки (меридианы и параллели кривые, меридианы прямые линии и параллели кривые, параллели прямые линии и меридианы кривые, меридианы и параллели прямые линии);

4) форма карты (округлая, прямоугольная, овальная и другие);

5) полюс (точка или дуга);

б) соотношение осей.

Общие свойства, которые используются, представляют собой:

1) период применения проекции;

2) картографические проекции содержат 14 категорий (например, азимутальные, конические равноугольные с одной главной параллелью, цилиндрические и т. д.);

3) локсодромичность;

4) картографическая проекция страны;

5) применение картографической проекции.

Когда пользователь изменяет какой-либо из параметров (масштаб, участок карты, визуализированный на дисплее и др.), то происходит переопределение проекции карты (рис. 11). Эти параметры вместе с общими и геометрическими свойствами картографической проекции передаются в экспертную систему. Для выбора проекции экспертная система использует базу знаний, которая включает в себя условия выбора проекции и учет ее свойств, чтобы выбрать наиболее соответствующую картографическую проекцию (с минимальными искажениями).

В данной методике не совсем понятно, как пользователь должен осуществлять выбор свойств проекции, и будут ли они распространены на все масштабы отображения карты. Также в методике используется база данных картографических проекций, которая хоть и содержит большое количество проекций, но не имеет возможности добавить новую проекцию.

В основу другой методики выбора проекций положен единый принцип выбора картографической проекции [16], основанный на последовательном ответе пользователя на вопросы экспертной системы (размер территории, ее форма и желаемый характер искажений) до тех пор, пока не будет определена совокупность проекций или одна проекция. Затем поль-

зователь должен сделать окончательный выбор одной из предложенных проекций, основываясь на своих знаниях или с помощью справочной системы, в которой каждая проекция снабжена подробным описанием.

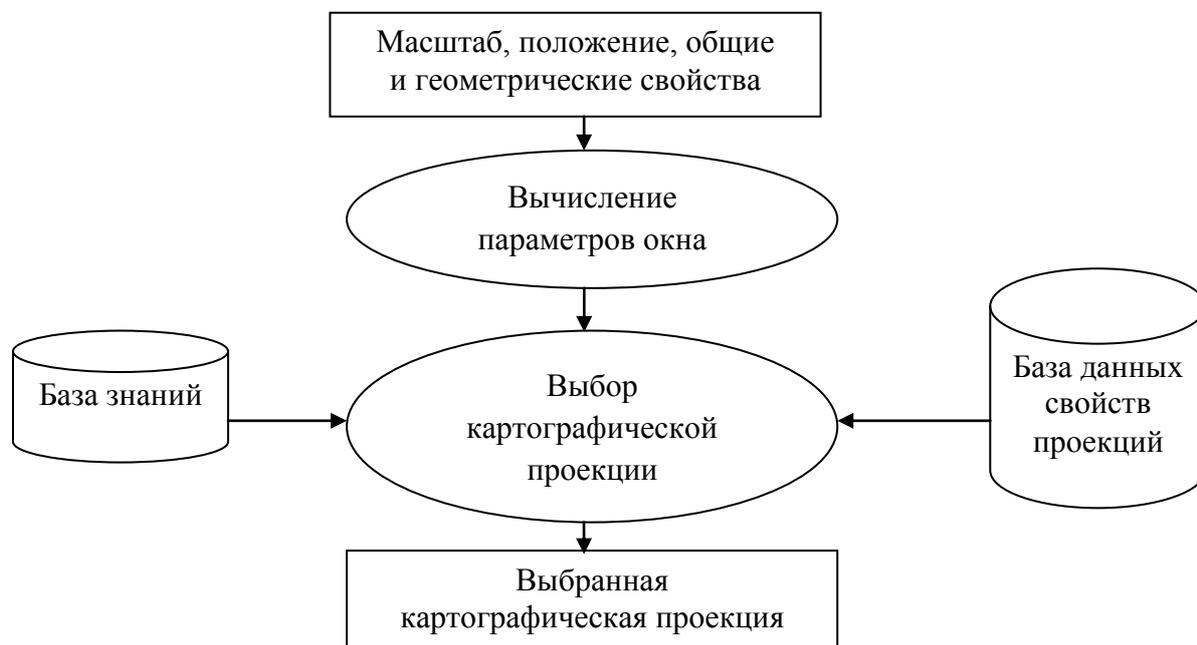


Рис. 11. Общий процесс выбора проекции

Ф. Кантерс [15] предложил семь общих принципов, которые должны быть приняты во внимание при разработке компьютерных методов для выбора картографической проекции.

1. При выборе картографической проекции необходимо учитывать назначение карты.

2. Метод должен давать уникальное решение при выборе проекции.

3. Искажения выбранной проекции должны быть минимальны для картографируемой области.

4. Метод должен работать для глобальных, континентальных и региональных карт.

5. Метод должен работать со всеми проекциями.

6. У картографа должна быть возможность оценить и, возможно, отказаться от выбранной проекции.

7. Метод должен в полной мере использовать имеющиеся мощности и возможности компьютерного обеспечения.

Следовательно, чтобы соответствовать перечисленным требованиям, лучше всего делать выбор из небольшого набора стандартных картографических проекций, куда входят равноугольные, равновеликие и равнопромежуточные проекции цилиндрического, конического и азимутального классов, которых достаточно для большинства картографируемых территорий. Также добавлены гномоническая, ортографическая и перспективная азимутальные проекции из-за их определенных свойств. Для отображения глобальных территорий были включены проекции Вагнера и Мольвейде. Каждой проекции соответствуют определенные свойства. В работе Ф. Кантерса все рассматриваемые картографические проекции и их свойства сведены в единую таблицу, часть которой представлена в табл. 5.

Таблица 5

Свойства картографических проекций, включенных в процедуру выбора (пример)

Картографические проекции	Геометрические свойства									Специальные свойства											
	картографическая сетка						система координат						глобально определенный								
	симметрия			форма			косая						равнопро-								
	радиальный	двойная	одинарная	равностоящие параллели	равностоящие меридианы	прямые параллели	прямые меридианы	округлый контур	прямоугольный контур	овальный контур	полус – точка	2:1 отношение осей	равноугольная	вдоль меридиана	вдоль параллели	азимутальные	локсодромичные	ортодромичные	стереографические		
Азимутальная равнопромежуточная	X	X	X	X			X	X		X		X	X		X						
Азимутальная равновеликая	X	X	X				X	X		X		X			X						
Азимутальная равноугольная	X	X	X				X	X		X	X		X		X						
Цилиндрическая равнопромежуточная		X	X	X	X	X	X		X			X									
Цилиндрическая равновеликая		X	X		X	X	X		X			X									

Окончание табл. 5

Картографи-	Геометрические свойства	Специальные свойства
-------------	-------------------------	----------------------

ческие проекции	картографическая сетка			система координат				глобально определенный											
	симметрия		форма		косая				равно-пром.										
	радиальный	двойная	одинарная	равностоящие параллели	равностоящие меридианы	прямые параллели	прямые меридианы	округлый контур	прямоугольный контур	овальный контур	полус – точка	2:1 отношение осей	равноугольная	вдоль меридиана	вдоль параллели	азимутальные	локсодромические	ортодромические	стереографические
Цилиндрическая равноугольная	X	X		X	X	X		X		X							X		
Коническая равнопромежуточная			X	X			X					X							
Коническая равновеликая			X				X				X								
Коническая равноугольная			X				X		X	X									

Предложено ранжировать выбранные проекции, так как даже из небольшого набора картографических проекций при определенном сочетании свойств может быть выбрано несколько проекций. После определения наиболее подходящей проекции необходимо вычисление значений параметров проекции, и, возможно, преобразование проекции с помощью уравнений полиномиального типа, для получения минимальных искажений для картографируемой территории.

Предложенный метод состоит из двух последовательных процессов.

1. Выбор картографической проекции со свойствами, которые требуются картографу.

2. Оптимизация сетки проекции для сведения к минимуму искажений картографируемой территории (рис. 12).

Определение списка картографических проекций осуществляется в три этапа и базируется на следующих критериях:

- 1) особенности проекции, которые необходимы картографу;
- 2) протяженность территории, которая будет картографироваться;
- 3) использование косой системы координат.

Первый шаг выбора проекции заключается в установке картографом определенной совокупности свойств проекции (табл. 6). На втором этапе

процесса выбора необходимо указать размер территории. Регионы по размеру меньше полушария (региональный уровень), могут быть представлены с небольшими искажениями, с использованием проекции цилиндрического, конического или азимутального классов.

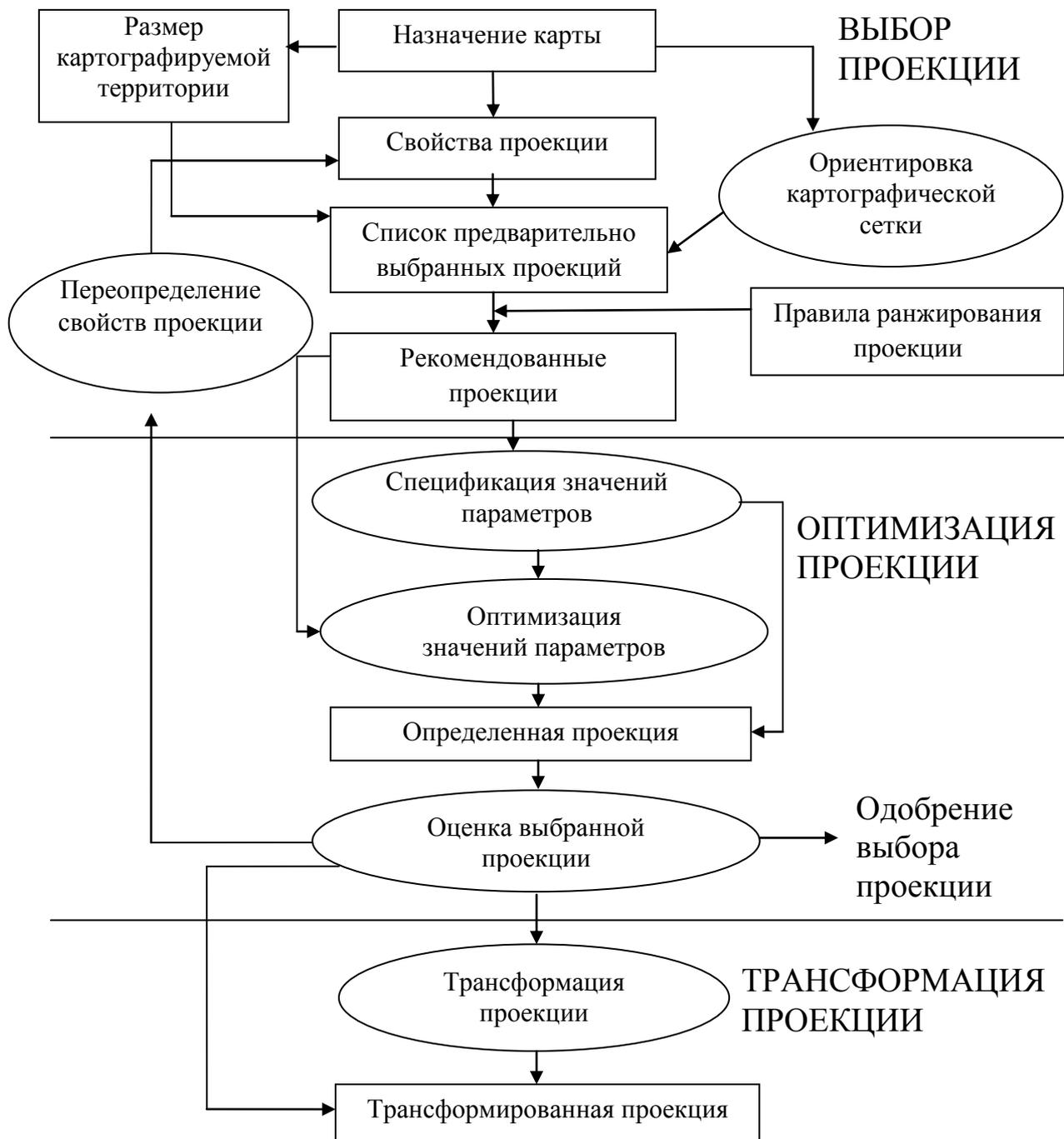


Рис. 12. Возможные информационные потоки при выборе картографической проекции

Таким образом, другие виды картографических проекций не учитываются для отображения этих областей. Для карты полушарий выбирают

ся азимутальные проекции. Для территорий больше размера полушария (глобальный уровень) не устанавливается ограничений на класс проекции. Выбор картографической проекции для этих территорий ограничен только свойствами этих проекций, которые картограф считает необходимыми.

После этого картограф должен выбрать нормальную, поперечную или косую систему координат.

Если список запрашиваемых свойств включает в себя очень жесткие требования, которые встречаются только в одной проекции (например, прямая локсодромия), то проблема выбора проекции карты решена. Однако, в большинстве случаев останется несколько картографических проекций, из которых должна быть выбрана только одна проекция. Для окончательного выбора в этом методе должен быть указан характер искажений.

Таблица 6

Свойства проекции

Геометрические свойства	Специальные свойства
<ul style="list-style-type: none"> – радиальная симметрия; – двойная симметрия; – одинарная симметрия; – соотношение осей 2:1; – равноотстоящие параллели; – равноотстоящие меридианы; – прямые меридианы; – прямые параллели; – полюс – точка; – округлый контур; – прямоугольный контур 	<ul style="list-style-type: none"> – равноугольность; – равновеликость; – равнопромежуточность; – вдоль параллелей; – равнопромежуточность; – вдоль меридианов; – ортогональность; – локсодромичность; – азимутальность; – стереографичность; – ортографичность

Установлено пять правил, которые гарантируют, что останутся проекции с минимальными значениями искажений. Эти правила должны применяться в следующем порядке.

1. Приоритет отдается классам проекций с наиболее общим математическим определением. Классы проекций, ранжированные от самого высокого до самого низкого приоритета, определяются следующим образом:

- 1) общая поликоническая проекция;

- 2) псевдоцилиндрическая проекция;
- 3) коническая проекция;
- 4) азимутальная, цилиндрическая проекции.

2. Если проекция не должна быть равноугольной или равновеликой, то приоритет будет отдаваться проекциям с промежуточными свойствами.

3. Если полюс не должен быть представлен точкой, то приоритет будет отдаваться проекциям с полюсом в виде линии.

После применения первых трех правил останутся проекции одного класса, которые являются либо равноугольными, либо равновеликими, или имеют промежуточные характеристики искажений, и полюс представлен в виде линии или точки. Следующие два правила будут постепенно сокращать набор проекций, пока не будет сделан окончательный выбор.

4. Будут предпочтительней те проекции, у которых параллели – равноотстоящие линии или с одинаковым расстояниями между параллелями вдоль центрального меридиана.

5. Будут предпочтительней те проекции, формулы которых включают больше независимых параметров, так как данные проекции отличаются большей гибкостью.

Если все пять правил не дали единственного решения, то будет сделан произвольный выбор.

После выбора проекции пользователь может задать значения некоторых параметров. В существующей версии инструмента выбор параметров ограничивается положением центра полюса кривой системы координат, долготой центрального меридиана, а также установкой стандартных параллелей.

Другие параметры, такие, как длина линии полюса, отношение осей не могут быть изменены пользователем. Диалоги выбора параметров различны для каждой проекции. Если пользователь задает значение всех параметров, проекция будет однозначно определена и процесс отбора может быть закончен.

Картограф может выбрать между простым определением параметров и определением параметров с помощью полиномиальных преобразований.

Предполагается, что картограф определяет параметры проекции простым способом, а полиномиальные методы преобразования применяются,

если простое определение не дает удовлетворительных результатов. Определение параметров достигается путем создания набора из 5 000 отрезков с прямоугольным распределением частот, расстояние между которыми 0° и 30° в длину. При этом картограф указывает полигон с интересующей его территорией. Среднее искажение этих расстояний сводится к минимуму с помощью симплекс-метода. После процедуры определения параметров картографу будет показан отчет с оптимальными значениями параметров, полиномиальные коэффициенты (в случае полиномиального преобразования) и средние значения искажения масштаба длин.

Из вышесказанного ясно, что этот метод выбора картографической проекции требует высокого уровня подготовки картографа. Так как свойства проекции указаны единым списком, то картографу довольно сложно выделить необходимые свойства. К тому же, некоторые свойства проекции являются взаимоисключающими, и велика вероятность выбора такой совокупности свойств, что ни одна проекция не будет удовлетворять им. Также пользователь не может изменять некоторые параметры проекции. В методике не прослеживается связь назначения карты и свойств проекций.

Все вышеописанные подходы к выбору картографической проекции позволяют определить класс проекции и ее параметры, но в них мало уделено внимания вопросу уменьшения искажений в картографических проекциях, так как считается, что вопрос об определении наилучших параметров проекции выходит за рамки выбора картографической проекции. При этом очень часто при выборе картографической проекции определяется не одна проекция, а несколько близких по параметрам проекций. В этом случае только выбор проекции с минимальными искажениями может решить проблему окончательного выбора проекции.

В традиционном методе выбора картографических проекций большую роль играет «Атлас для выбора картографических проекций», разработанный в ЦНИИГАиК Г. А. Гинзбургом и Т. Д. Салмановой в 1957 г. [6]. Несмотря на то, что атлас не автоматизирует процесс выбора картографических проекций, он содействует упорядочиванию выбора проекций для различных географических карт при их создании.

В атласе даны рекомендуемые проекции и их параметры для различных картографируемых территорий, что позволяет сразу использовать

данные рекомендации для составления карт без дополнительных расчетов этих параметров.

Для отдельных, небольших по площади (от 5 до 6 млн. км²) районов даются общие рекомендации по выбору проекций. Так, при выборе для них картографических проекций нужно учитывать преимущественно геометрические данные, характеризующие изображаемую область, а не особенности назначения, способ пользования и содержание составляемой карты. Влияние последних трех факторов сказывается, как правило, одинаково для различных карт и проявляется в стремлении сохранить искажения по возможности малыми. Для карт таких территорий лишь в специальных случаях приходится отступать от общего порядка применения проекций (например, если следует придать изображению перспективность, если нужно обеспечить возможность удобно прокладывать пути кораблей) [6]. К этой группе карт относятся карты административных областей, краев, большинства республик, физико-географических и экономических районов России, и даже таких крупных частей его территории, как Европейская и Азиатская. Сюда же относятся карты зарубежных районов государств, некоторых групп государств, морей, крупных зарубежных частей материков, рассматриваемые в отдельности карты Австралийского или Антарктического материка, Северного Ледовитого океана. Такого рода карты составляют значительную часть картографической продукции.

Для карт более крупных картографируемых территорий рекомендуется, как правило, несколько проекций.

В эту группу географических карт входят карты более крупных объектов. По территориальному признаку и с учетом значения отдельных видов карт их необходимо подразделить на пять подгрупп:

- 1) карты всей России;
- 2) карты материков;
- 3) карты океанов;
- 4) карты полушарий и близких к ним по величине частей земной поверхности;
- 5) карты мира.

Между картами этих групп не может быть проведено резко очерченной границы; своего рода переходное положение занимают, в частности, карты крупных частей материков.

При разработке проекций для карт полушарий и мира принято во внимание большое разнообразие видов компоновок этих карт и, соответственно, рекомендуемых проекций (табл. 7).

Таблица 7

Сводка рекомендуемых проекций из Атласа для выбора проекций

Картографируемые территории	Рекомендуемые проекции
КАРТЫ РЕГИОНОВ СССР	
Протяженность по долготе не превосходит $\Delta\lambda = 9^\circ$	Гаусса – Крюгера
Протяженность по долготе более $\Delta\lambda = 9^\circ$	Нормальная коническая равноугольная
Дальний Восток	Косая цилиндрическая равнопромежуточная
Якутская АССР, Западная часть СССР	Косая азимутальная равнопромежуточная Постеля
Красноярский край, Тюменская область	Поперечная цилиндрическая равноугольная
Казахская ССР, Восточная часть СССР	Нормальная коническая равнопромежуточная
Европейская часть СССР	
Не включаются северные участки (для справочных карт)	Косая с овальными изоколами ЦНИИГА-иК
Не включаются северные участки (для учебных карт)	Нормальная коническая равнопромежуточная Каврайского
Включаются частично прилегающие с севера моря; требуется сетка простого вида	Нормальная коническая равнопромежуточная Красовского
Включая острова Франца Иосифа	Поперечная цилиндрическая равноугольная
РСФСР	Нормальная коническая равнопромежуточная
СССР в целом (Россия и сопредельные государства)	
А. При требовании, чтобы искажения всех видов были по возможности небольшими	

Продолжение табл. 7

Картографируемые территории	Рекомендуемые проекции
-----------------------------	------------------------

1. Полюс в рамку карты не включается, основное содержание на материковой части	Нормальная коническая равнопромежуточная Каврайского
2. Полюс в рамку карты не включается, основное содержание показывается и на прилегающих с севера морях	Нормальная коническая равнопромежуточная Красовского
3. Полюс включается в рамку карты, полярная область показывается полностью или частично	Косая перспективно-цилиндрическая ЦНИИГАиК
4. Полюс включается в рамку карты, кроме полярной области даются сопредельные территории к югу от СССР	Косая азимутальная ЦНИИГАиК с небольшими искажениями площадей
Б. При требовании, чтобы отсутствовали искажения одного вида	
1. Полюс в рамку карты не включается; требуется обеспечить возможность определять направления	Нормальная коническая равноугольная Ламберта – Гаусса
2. Полюс в рамку карты не включается; требуется обеспечить возможность сопоставлять площади в пределах всей карты	Нормальная коническая равновеликая
В. При требовании передать параллели кривыми небольшой кривизны ценою увеличения искажения	
1. Полюс включается в рамку карты, требуется передать сферичность (для карт начальной школы)	Косая перспективно-цилиндрическая Соловьёва
2. Полюс включается в рамку карты (для стенных карт высшей школы при требовании уменьшить искажения по сравнению с предыдущей)	Видоизмененная поликоническая ЦНИИГАиК
3. Полюс не включается в рамку карты. Компонировка карты значительно расширена с запада на восток; при требовании не допустить в этом направлении увеличения искажений	Проекция с равноотстоящими параллелями Шабановой
КАРТЫ ЗАРУБЕЖНЫХ РАЙОНОВ И ГОСУДАРСТВ	
Страны, расположенные в экваториальной зоне	Нормальная цилиндрическая равноугольная Меркатора
Страны, вытянутые в меридиональном направлении	Косая цилиндрическая равноугольная
Остальные страны	Нормальная коническая равноугольная
КАРТЫ КРУПНЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ЧАСТЕЙ МАТЕРИКОВ	
Западная Европа с частью Средиземноморского бассейна и северного побережья Африки	Поперечная цилиндрическая равноугольная или равнопромежуточная

Продолжение табл. 7

Картографируемые территории	Рекомендуемые проекции
-----------------------------	------------------------

Западная Европа без включения Средиземного моря и Шпицбергена	Нормальная коническая равнопромежуточная
Зарубежная Азия, Северная Африка, Южная Африка с о-вом Мадагаскар	Нормальная коническая равнопромежуточная
Южная Африка без о-ва Мадагаскар	Поперечная цилиндрическая равноугольная
Северная часть Северо-Американского материка, включая Гренландию	Косая азимутальная равнопромежуточная
Мексика и страны Центральной Америки	Нормальная коническая равноугольная
Юго-восточная Азия, включая острова	Косая азимутальная равнопромежуточная
Районы Кордильер Северной Америки	Косая цилиндрическая равноугольная
Районы Кордильер Южной Америки	Поперечная цилиндрическая равноугольная
КАРТЫ МАТЕРИКОВ И ПОЛЯРНЫХ ОБЛАСТЕЙ	
Африка	Поперечная азимутальная равновеликая
Европа, Евразия, Северная Америка, Латинская Америка, Австралия	Косая азимутальная равновеликая
Арктика, Антарктика, Антарктида	Нормальная азимутальная равнопромежуточная
КАРТЫ ОКЕАНОВ	
Атлантический океан, Тихий океан, Тихий и Индийский океаны при показе вместе	Псевдоцилиндрическая синусоидальная равновеликая проекция Урмаева
Тихий океан и Антарктика при показе вместе	Косая азимутальная проекция ЦНИИГАиК
Атлантический и Северный Ледовитый океан при показе вместе	Косая с овальными изоколами проекция ЦНИИГАиК
Индийский океан	Косая азимутальная равновеликая проекция Ламберта
Тихий, Атлантический и Индийский океаны при показе вместе	Псевдоцилиндрическая эллиптическая проекция Каврайского. Нормальная цилиндрическая равноугольная проекция Меркатора
Северный Ледовитый океан	Нормальная азимутальная равнопромежуточная
КАРТЫ ПОЛУШАРИЙ И ЧАСТЕЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, НЕСКОЛЬКО БОЛЬШИХ ПОЛУШАРИЙ	
Западное и Восточное полушария	Поперечная азимутальная равновеликая проекция Ламберта. Поперечная азимутальная равнопромежуточная проекция Постеля
Северное и Южное полушария	Нормальная азимутальная равнопромежуточная проекция Постеля

Окончание табл. 7

Картографируемые территории	Рекомендуемые проекции
-----------------------------	------------------------

Материковое и Океаническое полушария	Косая азимутальная равновеликая проекция Ламберта
Части земной поверхности, несколько большие полушария	Косая азимутальная проекция ЦНИИГАиК
Полушарие Земли как планеты	Косая и поперечная азимутальные ортографические проекции
КАРТЫ МИРА	
Карты с обычным (360°) протяжением вдоль экватора и линейным размещением материков	
Карты для средней школы	Поликоническая ЦНИИГАиК 1950 г.
Карты, на которых должны быть умеренные искажения углов и площадей	Поликоническая ЦНИИГАиК 1939–1949 гг.
Карты, на которых требуется лучше передавать очертания и формы объектов за счет некоторого увеличения искажений площадей	Поликоническая ЦНИИГАиК 1954 г.
Карты, на которых должны быть сохранены углы	Нормальная цилиндрическая равноугольная Меркатора
Карты, на которых должна сохраняться пропорциональность площадей	Равновеликие синусоидальные псевдоцилиндрические Каврайского и Урмаева
Карты поясного времени	Нормальная цилиндрическая стереографическая Голла
Карты с увеличенным до 400–420° протяжением изображения вдоль экватора и линейным размещением материков	
Карты, на которых требуется лучше передать площади	Псевдоцилиндрическая Каврайского
Карты, на которых требуется лучше передать очертания и формы объектов	Поликоническая ЦНИИГАиК 1954 г.
Карты промежуточного типа и с центральным размещением материков	
Карты кратчайших расстояний	Косая азимутальная равнопромежуточная
Картографируемые территории	Рекомендуемые проекции
Карты, на которых нужно изобразить северный район	Поликоническая ЦНИИГАиК 1939 г. с несимметричной относительно экватора сеткой
Карты, на которых размещение материков должно быть центральным	Проекция ЦНИИГАиК с овальными изоколами

2.1. Количественные критерии оценки искажений при автоматизированном выборе картографических проекций

Существует методика использования количественных критериев оценки искажений в автоматизированном выборе картографической проекции [3, 4].

Определяющее значение при установлении совокупности проекции, из которой следует выбрать конкретную проекцию, имеет группа факторов, характеризующих объект картографирования, и факторы, имеющие безусловное значение для создаваемой карты.

После выделения всех факторов, подлежащих обязательному учету, определяется относительная значимость каждого из них и формируется обобщенный критерий оценки достоинства картографической проекции, который может быть вариационного или минимаксного типов.

Для определения наилучшей проекции вариационного типа предлагается определить ряд частных критериев:

- 1) равноугольности;
- 2) равновеликости;
- 3) искажение длин;
- 4) средняя кривизна геодезической линии;
- 5) отклонение локсодромии от прямой;
- 6) кривизна параллелей;
- 7) кривизна меридианов;
- 8) стереографичность проекции;
- 9) ортогональность сетки.

Каждый из этих частных критериев дает характеристику проекции в каждой ее точке.

Для определения функционалов E_i^2 достаточно разбить изображаемую область на малые участки, в средних точках каждого из них вычислить значения частных критериев и найти их средние арифметические значения.

Обобщенный критерий имеет вид:

$$E_{об.}^2 = \frac{\sum_{i=1}^3 P_i E_i^2}{\sum_{i=1}^3 P_i},$$

где P_i – веса значимости факторов.

Предлагаемый обобщенный критерий учитывает большинство из возможных требований к картографическим проекциям. При этом они

представлены в формализованном виде и относительных величинах, что дает возможность сопоставления и одновременного учета самых разнообразных требований к проекциям.

Обобщенные критерии вычисляются для всех сравниваемых проекций.

Окончательно выбирается та проекция, для которой критерий имеет наименьшее значение.

В существующих методиках не рассматривается выбор и построение всех элементов математической основы как системы. Элементы рассматриваются отдельно, хотя все они взаимосвязаны. На данный период времени рассматривается автоматизация выбора картографических проекций, однако ни один из методов не гарантирует ее окончательного выбора. В существующих разработках плохо прослеживается связь назначения карты и выбора проекции. Наиболее полно выбор проекции рассматривается в трудах Л. М. Бугаевского [3, 4], но вопрос об объективном определении значимости факторов и их строгой ранжировке при выборе проекций для создания конкретных карт требует дальнейших исследований.

2.2. Факторы, влияющие на автоматизированный выбор математической основы

Выбор масштаба картографирования. Масштаб – существенный фактор для «самоопределения» карты, влияет на точность, полноту и подробность карты и обуславливает величину изображения.

Для создания качественных карт необходим обоснованный выбор масштаба, который зависит от назначения и темы карты, ее формата и компоновки. Можно выделить три основных фактора по установлению масштаба карты, вытекающих из назначения карты и ее использования:

1) выбор крупных масштабов карт, по которым проводятся картометрические работы. Основное требование – обеспечение заданной точности измерений координат точек и длин линий по карте;

2) если требования к точности измерений на карте не играют определяющей роли, то масштаб рассчитывается исходя из формата карты и размера территории картографирования;

3) для мелкомасштабных карт требования к точности измерений не так важны, основными их качествами являются полнота и подробность

содержания карты. Поэтому при создании производных мелкомасштабных карт предлагается формула определения масштаба проектируемой карты, учитывающая количественный и качественный аспекты, которые отражаются в виде коэффициента графической нагрузки.

При создании нестандартных (производных) крупномасштабных карт главный масштаб может быть установлен исходя из геометрических соображений, а именно – заданной точности измерений по карте координат точек и длин линий.

Формат карты – это общие размеры всей карты. При выборе формата карты в производстве учитывают ее размеры по внутренним, внешним рамкам, по обрезу с полями, а также формат бумаги.

В основном, масштаб карты определяется ее форматом, охватом картографируемой территории, особенностями проекции, ориентированием картографического изображения, удобством пользования карты в условиях, для которых она предусмотрена, технико-экономическими факторами.

Особое значение приобретает выбор масштаба для отображения конкретной территории (континента, страны, моря) в заданных рамках, обуславливающих размеры карты, атласа.

Проектирование главного масштаба карты, обеспечивающего показ объекта или явления в пределах заданной картографируемой территории, может быть осуществлено с использованием алгоритма (рис. 13) [8].

На первом этапе определяется соотношение сторон рамки карты и протяжение картографируемой территории в направлениях север – юг и запад – восток.

Далее вычисляются знаменатели масштабов по высоте и ширине рамки карты.

Из получившихся знаменателей масштабов выбирается более крупный (соответствует более мелкому масштабу), при котором картографируемая территория полностью впишется в заданные размеры рамки карты. Но вычисленный знаменатель масштаба имеет неокругленное значение, поэтому его необходимо округлить до значения, входящего в традиционный масштабный ряд.

Приступая к разработке алгоритма округления масштаба, необходимо вспомнить о таком приеме, как выступы за рамку карты. Он используется

в случае, когда для соблюдения кратности масштабов при атласном картографировании или для большего его округления можно вынести за рамку незначительную часть территории.

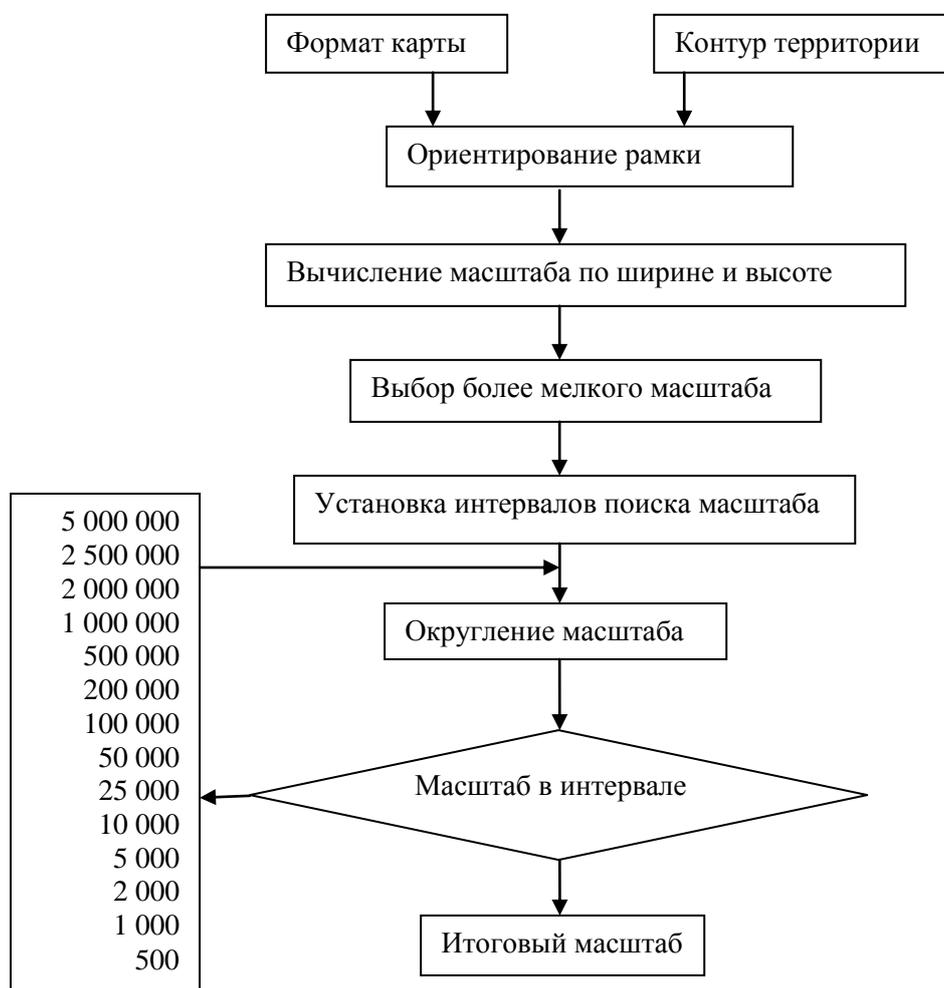


Рис. 13. Алгоритм вычисления масштаба по формату карты

Методика округления масштаба сочетает в себе функции математического округления с учетом масштабного ряда общегеографических карт. Этот алгоритм предполагает наличие определенного интервала, в котором будет производиться поиск оптимального, т. е. округленного масштаба. Этот интервал задается в процентах от первоначально заданного неокругленного масштаба или в миллиметрах от размера рамки карты.

Таким образом, при возможности выступов за рамку карты будет выбран знаменатель масштаба карты, находящийся в определенном расчи-

танном интервале. Интервал задается пользователем. В зависимости от решаемых задач может задаваться масштаб одним из двух способов. В первом способе необходимо задать интервал значений в процентах, который будет использоваться при расчете в зависимости от неокругленного рассчитанного знаменателя масштаба. Во втором способе пользователь задает величину интервала поиска в миллиметрах, который рассчитывается от размеров рамки карты. При этом необходимо округлить масштаб до наиболее возможного общего значения. Первым шагом идет округление знаменателя масштаба до значения, кратного 1 000 000, затем определяют, попадает ли округленный масштаб в заданный интервал. Если округленный масштаб попал в заданный интервал, то на этом поиск окончательного масштаба заканчивается. Если округленный масштаб выходит за пределы интервала, то тогда понижается значение кратности масштаба до 500 000 и определяется новый округленный масштаб. Затем он снова проверяется на вхождение в интервал. Значение кратности масштаба уменьшается до тех пор, пока округленный масштаб не попадет в установленный интервал. Используются следующие значения кратности: 5 000 000, 2 500 000, 2 000 000, 1 000 000, 500 000, 250 000, 100 000, 50 000, 25 000, 10 000, 5 000.

Таким образом, чем меньше будет интервал поиска масштаба, тем менее округленным будет значение оптимального масштаба. Кратность масштаба, равная единице, введена в ряд для случаев, при которых ни одно из предыдущих значений кратности масштаба не удовлетворит поиску оптимального масштаба. При этом окончательно будет предложен первоначально вычисленный неокругленный масштаб.

Такое обобщение масштаба является универсальным для всего масштабного ряда. Так, при крупномасштабном картографировании масштаб будет округляться не до миллионов, а до более приемлемых значений – сотен и десятков тысяч, в то время как при мелком масштабе приоритет будет отдаваться округлению до более общих значений.

3. ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ГИС-ПРОГРАММ ПО РЕАЛИЗАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ

3.1. ГИС-программы ArcGIS и MapInfo

Координатная система современных ГИС-программ состоит из нескольких элементов, которые должны быть однозначно определены: класс проекции, региональная система координат (эллипсоид), единицы измерения, начало системы координат, стандартные параллели, азимут наклона косых систем координат, постоянный коэффициент, восточное и северное смещение, охват азимутальных проекций.

Количество проекций ограничено, но для каждой проекции необходимо задать параметры в зависимости от создаваемой карты. Таким образом, количество проекций с параметрами (в некоторых случаях это называют система координат) практически не ограничено. Например, количество типов проекций в ArcGIS составляет 65 [21, 22], а в MapInfo – 33 проекции, при этом количество записей в библиотеке составляет 1 857 в 125 категориях [23]. Есть два подхода к использованию проекций с параметрами. Первый подход реализован в виде библиотек проекций с параметрами, в которых записи разделены по категориям (обычно по типу проекций или по картографируемой территории). При выборе такой записи картограф устанавливает проекцию с уже определенными параметрами, которые отражаются в названии записи. Это удобно для часто используемых параметров, так как их не нужно каждый раз вводить заново. Но во многих ситуациях может потребоваться изменить параметры проекции (например, изменить осевой меридиан или главные параллели конических проекций), тогда необходимо использовать второй подход. Выбрав тип проекции, картограф сам устанавливает ее параметры в зависимости от решаемых задач. Затем, при желании, он может сохранить эти параметры в библиотеку проекций. В некоторых ГИС-программах есть возможность поменять параметры в диалоговом режиме, в других нужно менять специальный файл проекций, куда необходимо ввести текстовую строку с параметрами проекции, и затем выбрать ее из списка в библиотеке проекций.

Для определения возможности задавать различный характер искажений автором был проведен анализ наличия параметров проекций в ГИС-программах MapInfo и ArcGIS. В результате установлено, что для равноугольных проекций всех классов есть все необходимые параметры. У равнопромежуточных и равновеликих азимутальных проекций отсутствует параметр «постоянная проекции» k , который отвечает за масштаб в центральной точке проекции. В данных программах $k = 1$, и его нельзя поменять.

Нормальные конические и цилиндрические проекции, а также их параметры есть во всех рассматриваемых ГИС-программах.

Таким образом, необходимо учитывать возможности современных ГИС-программ в части установки параметров элементов математической основы либо реализовывать собственные разработки в виде отдельных программ или программных модулей.

Наиболее важной частью карты являются географические данные, которые хранятся в картографических базах данных. Эти данные можно визуализировать с помощью окна карты, где будет отображена картографическая информация в определенных условных знаках и картографической проекции.

В окне карты нет четко установленного масштаба карты (существуют только масштаб отображения и масштаб картографической базы данных) и ее рамок.

Для печати карты или ее экспорта из ГИС-программы необходимо создать компоновку карты.

При создании компоновки карты работа будет происходить на виртуальной странице. Картограф может задать любой формат страницы, но при этом должен учитывать возможности печатных машин, на которых будет производиться печать карт. Для размещения картографических данных на странице определенного формата существуют специализированные объекты – фреймы данных, которые можно создать любой формы и любого размера и разместить в любом месте на странице. Количество фреймов не ограничено и их можно использовать в виде карт врезок или нескольких карт, размещенных на одной странице. При создании фрейма данных картографу необходимо учитывать размер картографируемой территории, масштаб, формат страницы карты. Таким образом, в каждом фрейме могут содержаться различные карты по содержанию или карты в

различных масштабах. Контур фрейма можно оформить различными рамками.

В дополнение к фрейму данных можно разместить другие элементы карты, такие, как заголовок карты, указатель направления на север, легенда, масштаб, диаграммы, текст и другие графические элементы. Важная задача картографа – распределить элементы карты на странице, создав удобную карту.

Некоторые элементы карты, такие, как стрелки направления на север, масштабные линейки и легенды, тесно связаны с содержимым фреймов данных. Стрелки направления на север показывают ориентацию карт. Масштабные линейки представляют собой визуальные указатели размеров объектов и расстояний между объектами, показанными на карте. Легенда раскрывает смысл картографических знаков, используемых для представления различных объектов карты. При изменении масштаба, направления на север или содержания карты автоматически меняются соответствующие элементы компоновки.

При создании серии карт важно, чтобы они были оформлены в едином стиле. Для этого существуют шаблоны компоновки, которые позволяют сэкономить время, стандартизировать и унифицировать компоновки серии карт.

В ГИС-программах также есть возможность создания координатных и градусных сеток, которые можно добавить во фрейм карты. В некоторых программах есть возможность задавать шаг географической сетки отдельно для параллелей и меридианов, в других есть возможность задать только общий шаг. Помимо создания градусных сеток, есть возможность создания прямоугольных и индексных сеток. Сетки можно построить как линии или как области, заключенные между линиями сеток. В последнем случае в области записываются номера соответствующих колонок и столбцов.

Как видно из вышесказанного, современные ГИС-программы дают большие возможности по построению элементов математической основы.

При этом выбор картографической проекции и определение ее параметров, вычисление масштаба картографирования по формату карты, определение шага географической сетки и, в какой-то мере, определение индексов географической сетки, построение рамки карты с оцифровкой сет-

ки карты и индексов картограф должен выполнять самостоятельно. Поэтому автоматизация процессов выбора и построения элементов математической основы является в настоящее время приоритетным направлением научных исследований в картографии, решающим важную задачу грамотного и оперативного проектирования карт.

3.2. Специализированный программный комплекс по выбору и построению элементов математической основы

Комплекс позволяет выполнять определение масштаба, выбор оптимальной картографической проекции, ее расчет, построение картографической сетки и макета компоновки, а также дает комплексную характеристику в любой точке (географические, полярные сферические и прямоугольные координаты, величины искажений всех видов).

Основные функциональные возможности комплекса:

- 1) импорт;
- 2) автоматизированный выбор картографической проекции;
- 3) использование библиотеки картографических проекций;
- 4) анализ картографических проекций;
- 5) вычисление оптимальных параметров проекции;
- 6) автоматизированный выбор масштаба карты;
- 7) автоматизированное построение картографической сетки;
- 8) автоматизированное построение макета компоновки;
- 9) аналитическое трансформирование растровой информации.

Программный комплекс работает с векторной и растровой графикой, позволяет осуществлять взаимодействие с основными геоинформационными системами (MapInfo, ГИС «Карта 2011», ArcGIS) и графическими программами (настольными издательскими системами). Комплекс создан для территории Российской Федерации, но может быть использован для создания математической основы на любую территорию.

Разработка программного комплекса выполнялась в визуальной среде программирования Delphi на языке Object Pascal [23].

Схема работы комплекса с указанием основных блоков программного кода представлена на рис. 14.



Рис. 14. Схема работы специализированного комплекса по выбору проекций

Основной модуль координирует работу всех блоков программного комплекса.

Блок импорта/экспорта геопространственных данных состоит из процедур чтения и записи форматов данных, а также из вспомогательных функций. На вход блоку передается имя файла. Далее эти процедуры перенаправляют программу к нужным процедурам чтения/записи файла. На выходе из блока получаем: при экспорте – файл данных, при импорте (чтении) – двумерный динамический массив данных, который передается основному модулю.

Блок автоматизированного выбора проекции. На вход блоку передается четырехзначный код территории, который формируется при ответе пользователей на четыре вопроса (размер, положение, ориентация территории и характер искажений). На выходе блока формируется список проекций, наиболее подходящих для данной территории.

Блок с формулами проекций содержит:

- 1) прямые формулы проекции ($\varphi, \lambda \rightarrow X, Y$);
- 2) формулы частных масштабов длин m, n , площадей p и наибольших искажений углов ω ($\varphi, \lambda \rightarrow m, n, p, \omega$);
- 3) обратные формулы проекций ($X, Y \rightarrow \varphi, \lambda$).

Все вычисления производятся на эллипсоиде Красовского со значениями большой полуоси $a = 6\,378\,245$ м, малой полуоси $b = 6\,356\,863,018\,8$ м. При необходимости отображения поверхности эллипсоида на поверхности шара или наоборот применяются способы равноугольного, равновеликого и равнопромежуточного отображений, которые получили наибольшее распространение в математической картографии.

Во всех способах отображения предполагается, что плоскости экваторов эллипсоида вращения и шара и их центры совпадают, параллели эллипсоида изображаются параллелями шара, их средние меридианы совпадают и имеют долготу, равную нулю, а долготы прочих меридианов пропорциональны. Таким образом, меридианы и параллели эллипсоида вращения изображаются на поверхности шара ортогонально и, следовательно, визирные направления в изображении совпадают с меридианами и параллелями [13].

В программном комплексе реализованы следующие проекции: нормальная цилиндрическая равноугольная, нормальная цилиндрическая равнопромежуточная, нормальная цилиндрическая равновеликая, нормальная цилиндрическая Миллера, поперечная цилиндрическая равноугольная, поперечная цилиндрическая равнопромежуточная, поперечная цилиндрическая равновеликая, косая цилиндрическая равноугольная, косая цилиндрическая равнопромежуточная, косая цилиндрическая равновеликая, перспективная цилиндрическая, косая перспективно-цилиндрическая, нормальная коническая равноугольная, нормальная коническая равнопромежуточная, нормальная коническая равновеликая, нормальная азимутальная равноугольная (стереографическая), нормальная азимутальная равнопромежуточная, нормальная азимутальная равновеликая, поперечная азимутальная равноугольная (стереографическая), поперечная азимутальная равнопромежуточная, поперечная азимутальная равновеликая, косая азимутальная равноугольная (стереографическая), косая азимутальная равнопромежуточная, косая азимутальная равновеликая, перспективная азимутальная с негативным изображением, ортографическая, азимутальная ЦНИИГАиК с небольшим искажением площадей, равновеликая синусоидальная псевдоцилиндрическая Каврайского, псевдоцилиндрическая ЦНИИГАиК, псевдоцилиндрическая Робинсона, равновеликая псевдоконическая Бонна, поликоническая ЦНИИГАиК, Гаусса – Крюгера.

Главное окно представлено на рис. 15. Слева расположена панель задач, в верхней части которой расположены четыре поля для ввода координат крайних параллелей и меридианов в градусной мере. При открытии файла геоданных эти поля заполняются автоматически.

Ниже расположена панель «Постоянные проекции», в которой в зависимости от выбранной проекции, отображаются те или иные параметры проекции.

Под панелью «Постоянные проекции» расположены три вкладки.

Вкладка «Слои» представляет собой менеджер слоев, в котором можно добавить дополнительные файлы координат, изменить их параметры, а также изменить частоту и цвет сетки. При щелчке на названии слоя появляется информация о площади объекта (для площадных) и количестве подобъектов. Также можно изменить тип объекта: линейный, площадной и точечный. Для линейных объектов можно установить цвет и толщину линии, для площадных дополнительно устанавливается цвет фона, а для точечных объектов устанавливается радиус пунсона и его цвет [9].

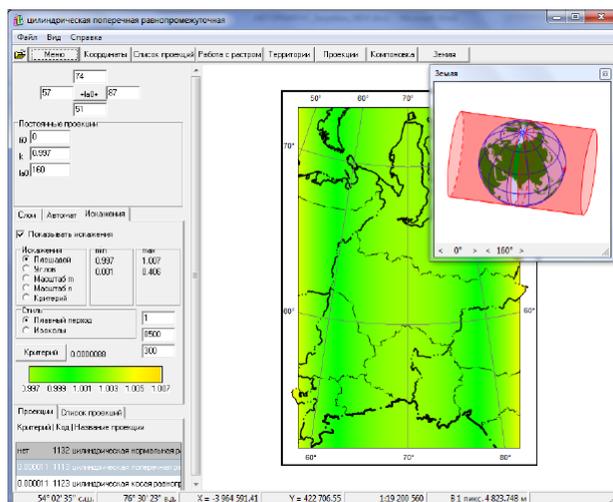


Рис. 15. Окно программного комплекса

Вкладка «Автомат» предлагает пользователю ответить на три вопроса по картографируемой территории и при нажатии на кнопку «Выполнить» получить наиболее подходящие проекции для данной территории. При нажатии на кнопку «Все проекции» пользователю выводятся все допусти-

мые проекции. При нажатии на кнопку «Граф» пользователю предлагается пройти интерактивный граф и также получить список подходящих проекций.

Вкладка «Искажения» управляет отображением искажений. При установке галочки «Показать искажения» в окне карты отображаются искажения данной проекции. Также на вкладке отображаются максимальные и минимальные масштабы длин и площадей и наибольшие искажения углов. Есть возможность выбора типа отображения искажения: цветом или изоколами. При нажатии на кнопку «Критерий» вычисляется обобщенный критерий.

При выборе проекции карт из библиотеки картографируемых территорий картографу необходимо выбрать интересующий его регион.

В пользовательском интерфейсе находится база данных картографических проекций (рис. 16).

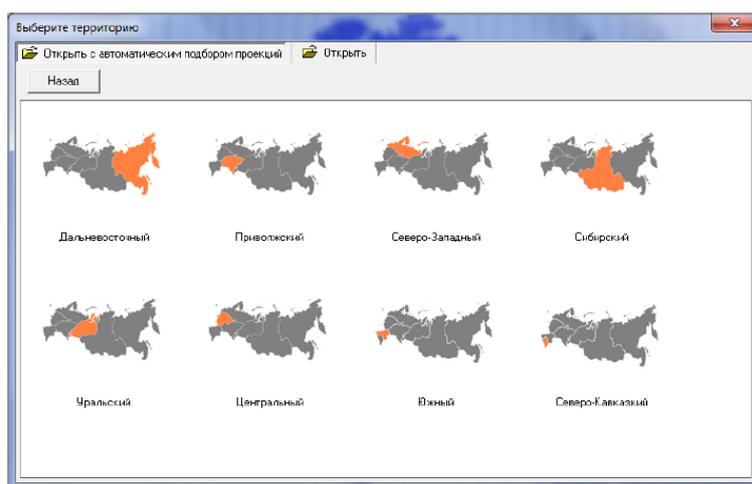


Рис. 16. Выбор картографической проекции из библиотеки

Если необходимая территория картографирования отсутствует в библиотеке, то пользователю необходимо определить оптимальную картографическую проекцию. Для этого в программе реализована методика выбора проекции для средних регионов.

Визуализация распределения искажений. Для получения наиболее полного представления о распределении искажений картографической

проекции на территорию картографирования необходимо визуализировать искажения.

В программе предусмотрено два режима отображения искажений: изоколами или цветом. При этом можно отобразить только один вид искажений: масштаб площадей или искажения углов, экстремальный частный масштаб длин a или экстремальный частный масштаб длин b .

Построение изокол. Для построения изокол программа комплекса создает прямоугольный двумерный массив, который заполняется значениями искажений. Двумерный массив разбивает территорию на квадратные ячейки. Для построения линий изокол необходимо, используя линейную интерполяцию, вычислить точки пересечения изокол с ребрами ячеек. Тогда линиями изокол будут ломаные, проходящие через эти точки. Изоколы строятся автоматически на всю территорию картографирования. Шаг изокол пользователь может задать самостоятельно или шаг выбирается автоматически.

Отображение искажений цветом. Для более наглядного отображения искажений автором предложено заполнение территории картографирования цветом в зависимости от значения искажений в каждой точке. При этом величину искажения показывает цветовой тон.

Использование вспомогательных широт. В математической картографии наибольшее распространение получили способы равноугольного, равновеликого и равнопромежуточного отображений.

Во всех способах отображения предполагается, что плоскости экваторов эллипсоида вращения и шара и их центры совпадают, параллели эллипсоида изображаются параллелями шара, их средние меридианы совпадают и имеют долготу, равную нулю, а долготы прочих меридианов пропорциональны, т. е. меридианы и параллели эллипсоида вращения изображаются на поверхности шара ортогонально и, следовательно, визирные направления в изображении совпадают с меридианами и параллелями. В комплексе программа пересчитывает географическую широту на эллипсоиде в географическую широту на сфере с помощью прямых формул отображения эллипсоида вращения на поверхности шара или с помощью обратных формул пересчитывает географическую широту на сфере обратно в географическую широту на эллипсоиде.

Этот способ дает ряд преимуществ.

1. Формулы проекций для отображения поверхности шара легче, чем формулы отображения поверхности эллипсоида.

2. Возможность отображать на эллипсоиде проекции, формулы которых даны только для отображения на сфере.

Определение обобщенного критерия. Для определения обобщенного критерия картографируемая территория разбивается на ячейки в узлах регулярной сетки.

Мультимедийное отображение вспомогательной поверхности. При изменении параметров проекций цилиндрических и конических классов реализовано в отдельном окне программы наглядное отображение вспомогательной поверхности (рис. 17, 18).

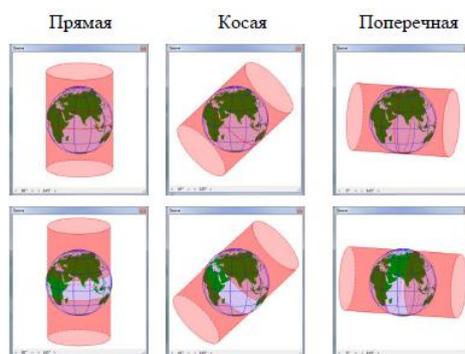


Рис. 17. Мультимедийное отображение вспомогательной поверхности (цилиндр)

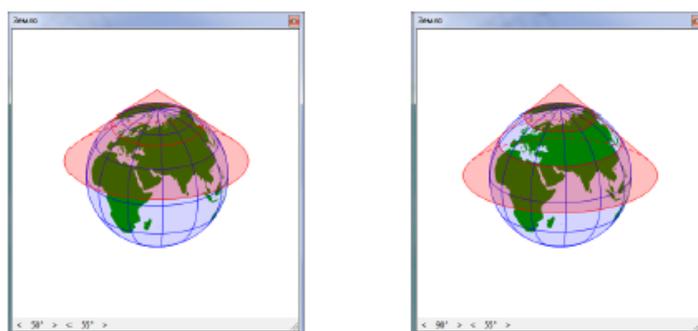


Рис.18. Мультимедийное отображение вспомогательной поверхности (конус)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Успешное решение многих задач народного хозяйства и науки связано с широким использованием карт различных масштабов, содержания и назначения.

Карты обладают рядом особенностей и достоинств: в них обеспечивается взаимно-однозначное соответствие элементов природы и общества и их изображения, точная передача географических закономерностей пространственного размещения объектов, процессов и явлений; по ним могут выполняться измерения, в результате которых получают различные качественные и количественные характеристики, необходимые для решения научных и производственных вопросов.

Возможность решения этих и других задач по картам основана на том, что они создаются на строгой математической основе, изучение и разработка которой является предметом изучения математической картографии.

Основные задачи математической картографии.

1. Развитие теории и разработка новых методов изыскания картографических проекций, в том числе «наилучших» и «идеальных».
2. Исследование различных картографических проекций, их свойств и целесообразности применения их на практике.
3. Совершенствование имеющихся картографических проекций, их унификация и стандартизация, разработка новых проекций в соответствии с требованиями науки и производства для составления различных карт.
4. Совершенствование способов вычисления картографических проекций, прежде всего, на основе разработки и использования алгоритмов, программ и их библиотек для работы с помощью компьютерных технологий.
5. Развитие способов, средств выполнения различных измерений по картам с учетом свойств картографических проекций.

Быстрое развитие компьютерных технологий, которые автоматизируют многие процессы создания карт, не всегда позволяет изготовить высококачественную картографическую продукцию. В то же время, современные ГИС-программы дали возможность картографу свободу при выборе элементов математической основы карт, например, картографиче-

ской проекции. Именно развитое программное обеспечение позволило использовать картографические проекции со сложным математическим аппаратом, которые было трудно рассчитать вручную. В современную эпоху, когда объемные и многочисленные формулы записаны в библиотеке проекций ГИС-программ, эти проекции могут быть использованы без ограничений и особых трудностей при построении. Однако, есть еще много нерешенных задач, связанных с выбором математической основы различных карт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берлянт А. М. Картография: учеб. пособие для вузов. – М.: Аспект Пресс, 2001. – 178 с.
2. Бугаевский Л. М., Вахрамеева Л. А. Математическая картография: учеб. пособие для вузов. – М.: Златоуст, 1998. – 257 с.
3. Бугаевский Л. М. Картографические проекции: спр. пособие. – М.: Недра, 1998. – 293 с.
4. Бугаевский Л. М. Математическая картография: учеб. пособие для вузов. – М.: Недра, 1998. – 400 с.
5. Гараевская Л. С., Малюсова Н. В. Практическое пособие по картографии. – М.: Недра, 1990. – 294 с.
6. Гинзбург Г. А., Салманова Т. Д. Пособие по математической картографии // Тр. ЦНИИГАиК. – Вып. 160. – М.: Недра, 1964. – 456 с.
7. Вахрамеева Л. А., Бугаевский Л. М., Казакова З. Л. Математическая картография. – М.: Недра, 1986. – 286 с.
8. Иванов А. Г., Загребин Г. И. Методика автоматизации процессов построения элементов математической основы // Национальное картографирование: состояние, проблемы и перспективы развития: сб. науч. докладов. – К.: ДВНП «Картография». – 2010. – Вып. 4. – С. 213–217.
9. Иванов А. Г., Загребин Г. И. Разработка методики автоматизированного выбора картографической проекции при реализации мелкомасштабного картографирования // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2011. – № 1. – С. 98–100.
10. Иванов А. Г., Крылов С. А. Концепция камерального геоинформационного картографирования // Сб. статей по итогам Международной науч.-техн. конф., посвященной 230-летию основания МИИГАиК. – Вып. 2. (в 2-х ч.). Ч. 1. – М.: Изд-во МИИГАиК, 2009. (Приложение к журналу Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка», № 6). – С. 136–138.
11. Керни Р., Вейзе К. Математические основы высшей геодезии и картографии. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1954. – 500 с.
12. Салищев К. А. Проектирование и составление карт: учеб. пособие для вузов. – М.: Издательство МУ, 1987. – 240 с.

13. Серапинас Б. Б. Математическая картография: учеб. пособие для вузов. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 327 с.
14. Топчилов М. А., Ромашова Л. А., Николаева О. Н. Картография: учеб.-метод. пособие. – Новосибирск: СГГА, 2009. – 108 с.
15. Canters F. Small – scale Map Projection Design: London and New York, 2002. – 74 p.
16. Eldrandaly K. A. A COM-based expert system for selecting the suitable map projection in ArcGIS // Expert Systems with Applications, 2006. – № 31. – P. 94–100.
17. Jankowski P., Nyerges T. Design Considerations for MapKBS – Map Projection Knowledge – Based System. – The American Cartographer, 1989. – 85 p.
18. Mekenkamp P. Using map projections without changing the world: projection accuracy analyses // Proceedings of the 22nd International Cartographic Conference. – Spain. – 2005.
19. Snyder John P. Map Projections – A Working Manual, U.S. Geological Survey professional paper 1395, Washington, 1987. – 383 p.
20. Helali H., Alesheikh A. A., Hamrah M. Multi map projection in modern cartography // Proceedings of the 22nd International Cartographic Conference. – Spain. – 2005.
21. ArcGIS 9 ArcMap: руководство пользователя. пер. с англ. – М.: Дата+, 2004. – 558 с.
22. ArcGIS 9. Картографические проекции. пер. с англ. – М.: Дата+, 2004. – 116 с.
23. MapInfo Professional 9.5: руководство пользователя. – М.: ООО «ЭСТИ МАП», 2008. – 622 с.

Учебное издание

Касьянова Елена Леонидовна

ВЫБОР КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ

Редактор *Е. Н. Ученова*
Компьютерная верстка *К. В. Ионко*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.
Подписано в печать 27.11.2015. Формат 60 × 84 1/16.
Усл. печ. л. 4,82. Тираж 97 экз. Заказ 221.
Гигиеническое заключение
№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.
Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.
Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.