

ПРОЕКЦИИ в картографии

В современную эпоху благодаря развитию средств передачи и обработки данных, таких как компьютеры, интернет, спутниковая и мобильная связь, основным фактором развития человеческой цивилизации становятся информационные ресурсы. Их важнейшей составляющей является геоинформация – данные о положении и координатах различных объектов в окружающем нас географическом пространстве.

С давних пор путешественники и мореплаватели занимались составлением карт, изображая в виде рисунков и схем изученные территории. Исторические исследования показывают, что картография появилась в первобытном обществе еще до появления письменности. Современные карты составляются в электронном виде с использованием аппаратов дистанционного зондирования Земли, спутниковой глобальной системы позиционирования (GPS либо ГЛОНАСС) и т. д. Однако сущность картографии остается прежней – это изображение объектов на карте, позволяющее однозначно идентифицировать их, определив положение при помощи привязки к той или иной системе географических координат

Современная картография использует аэрофотосъемку и спутниковые фотографии. На снимке – Республика Алтай, Северо-Чуйский хребет, карта рельефа и части ледника

Ю. Б. БЕРНШТЕЙН

Прав. Карагем



БЕРНШТЕЙН Юрий Борисович – кандидат технических наук, научный сотрудник Института геологии и минералогии СО РАН, преподаватель кафедры систем информатики ФИТ НГУ, главный программист ООО «Дата Ист» (Новосибирск). Автор и соавтор 16 научных работ

Работа древних землемеров не выходила за пределы геодезических измерений и расчетов для расстановки вех вдоль маршрута будущей дороги или обозначения границ земельных участков. Но постепенно накапливалось множество данных – расстояния между городами, препятствия на пути, расположение водных объектов, лесных массивов, особенности ландшафта, границы государств и материков. Карты захватывали все большие территории, становились более детальными, но при этом возрастала и их погрешность.

Поскольку Земля представляет собой геоид (фигуру, близкую к эллипсоиду), для изображения поверхности геоида Земли на карте необходимо развернуть, спроецировать эту поверхность на плоскость тем или иным способом. Методы отображения геоида на плоской карте называются картографическими проекциями. Существует несколько видов проекций, и каждая из них вносит в плоское изображение свои искажения длин, углов, площадей или формы фигур.

Космический снимок расположенного на территории Новосибирской области оз. Чаны. Хорошо виден характерный рельеф в виде параллельных полос суши и воды, сформированный движением ледника

Ключевые слова: ГИС, картография, геоид, проекция, Меркатор, WGS84.
Key words: GIS, cartography, geoid, projection, Mercator, WGS84

© Ю. Б. Бернштейн, 2012



Карта мира в проекции Меркатора. Приполярные области сильно растянуты из-за увеличения масштаба (слева), поэтому карты в этой проекции обычно ограничивают 80-й параллелью (справа)

Как сделать точную карту?

Полностью избежать искажений при построении карты невозможно. Однако можно избавиться от какого-либо одного типа искажений. Так называемые *равновеликие проекции* сохраняют площади, но при этом искажают углы и формы. Равновеликими проекциями удобно пользоваться в экономических, почвенных и других мелкомасштабных тематических картах – для того, чтобы с их помощью рассчитывать, например, площади территорий, подвергшихся загрязнению, или управлять лесными хозяйствами. Примером такой проекции служит *равновеликая коническая проекция Альберса*, разработанная в 1805 г. немецким картографом Хейнрихом Альберсом.

Равноугольные проекции – это проекции без искажений углов. Такие проекции удобны для решения навигационных задач. Угол на местности всегда равен углу на такой карте, а прямая линия на местности изображается прямой линией на карте. Это позволяет мореплавателям и путешественникам прокладывать

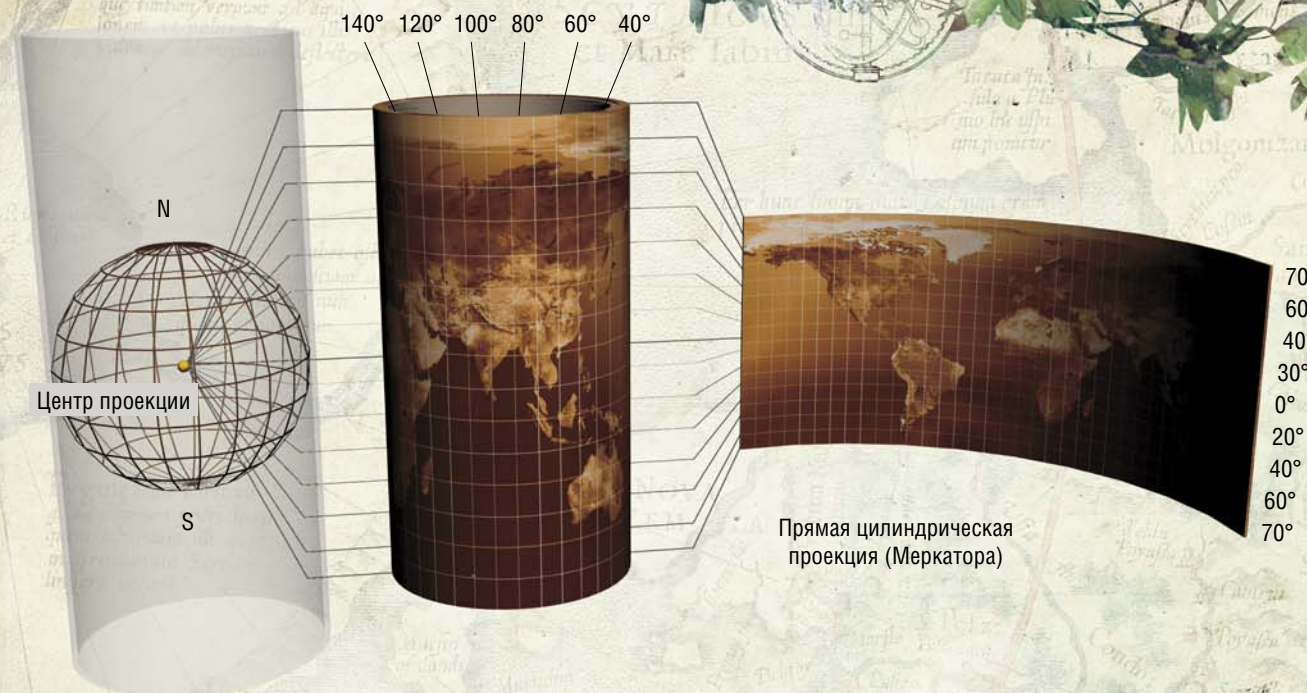
маршрут и точно следовать ему с помощью показаний компаса. Однако линейный масштаб карты при такой проекции зависит от положения точки на ней.

Самой древней равноугольной проекцией считается стереографическая проекция, которая была придумана Аполлоном Пергским около 200 г. до нашей эры. Эта проекция и по сей день используется для карт звездного неба, в фотографии – для отображения сферических панорам, в кристаллографии – для изображения точечных групп симметрии кристаллов. Но использование этой проекции в мореплавании было бы затруднительным в силу слишком больших линейных искажений.

Проекция Меркатора

В 1569 г. фламандский географ Герхард Меркатор (латинизированное имя Герарда Кремера) разработал и впервые применил в своем атласе (полное название «Атлас, или Космографические рассуждения о сотворении мира и вид сотворенного») *равноугольную цилиндрическую* проекцию, названную впоследствии его именем и ставшую одной из основных и самых распространенных картографических проекций.

Для построения цилиндрической проекции Меркатора земной геоид помещают внутри цилиндра так,



Для построения проекции Меркатора вокруг земного геоида описывается цилиндр, касающийся экватора. Лучи, идущие из центра геоида, проецируют на поверхность цилиндра объекты земной поверхности – материки, острова, реки, города и т.п. Затем цилиндр разрезается вдоль оси, разворачивается и получается плоская карта. При этом приполярные области проецируются лучами, идущими под небольшим углом к поверхности цилиндра, и поэтому их масштаб получается значительно больше, чем масштаб экваториальных областей. Полюса вообще не могут быть изображены на такой карте, поскольку их проекция лежит в бесконечности

	0°	30°	60°	90°
Масштаб длин по меридианам	1	1,115	2	∞
Масштаб длин по параллелям	1	1,115	2	∞
Масштаб площадей	1	1,333	4	∞
Условные искажения	0°	0°	0°	0°

Проекция Меркатора не искажает углов, однако масштабы карты в этой проекции зависят от широты, поэтому более реальными на такой карте выглядят объекты вблизи экватора

чтобы геоид касался цилиндра по экватору. Проекцию получают, проводя лучи из центра геоида до пересечения с поверхностью цилиндра. Если после этого цилиндр разрезать вдоль оси и развернуть, то получится плоская карта поверхности Земли. Образно это можно представить следующим образом: глобус оборачивается листом бумаги по экватору, в центр глобуса помещается лампа и на листе бумаги отображаются спроецированные лампой изображения материков, островов, рек и т.п. Если бы на бумагу был нанесен способный

засвечиваться слой, то, развернув лист, мы получили бы готовую карту.

Полюса в такой проекции расположены на бесконечном расстоянии от экватора, и, следовательно, не могут быть изображены на карте. На практике карта имеет верхний и нижний пределы широт – примерно до 80° СШ и ЮШ.

Параллели и меридианы картографической сетки изображаются на карте параллельными прямыми линиями, при этом они всегда перпендикулярны. Расстояния



Топографическая карта Новосибирской области в конической равнопромежуточной проекции, то есть в проекции, сохраняющей без искажения площадь. В этой проекции обычно выполняют административные и хозяйственные карты

между меридианами одинаковы, а вот расстояние между параллелями равно расстоянию между меридианами вблизи экватора, но быстро увеличивается при приближении к полюсам.

Масштаб в этой проекции не является постоянным, он увеличивается от экватора к полюсам как обратный косинус широты, но масштабы по вертикали и по горизонтали всегда равны.

Равенство вертикального и горизонтального масштабов обеспечивает равноугольность проекции – угол между двумя линиями на местности равен углу между изображением этих линий на карте. Благодаря этому хорошо отображается форма небольших объектов. Но искажения площади увеличиваются по направлению к полярным регионам. Например, несмотря на то, что Гренландия составляет всего одну восьмую размера Южной Америки, в проекции Меркатора она представляется больше. Большие искажения площадей делают проекцию Меркатора непригодной для общегеографических карт мира.

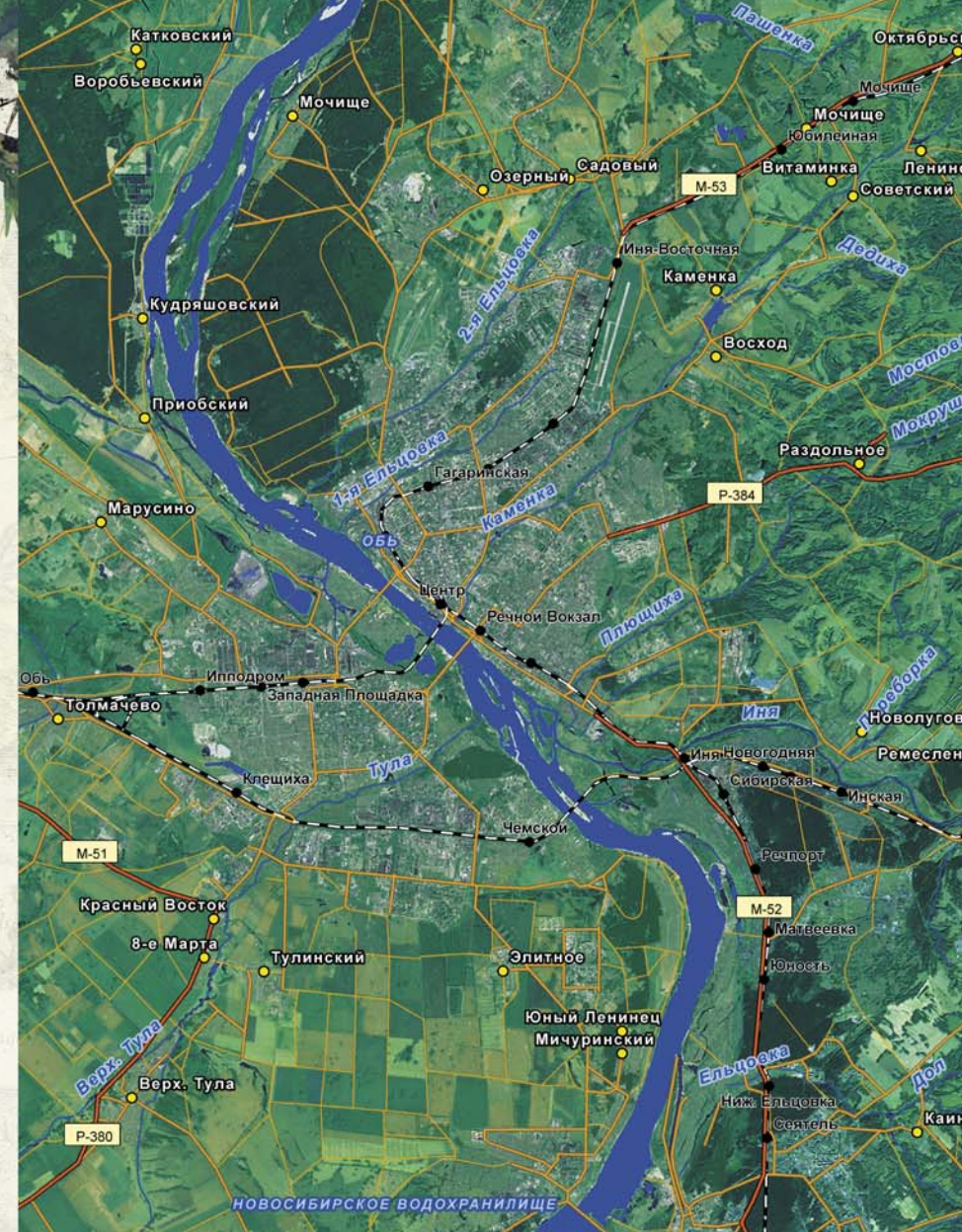
Линия, проведенная между двумя точками на карте в этой проекции, пересекает меридианы под одним и тем же углом. Эта линия называется *румбом* или *локсодромией*. Надо отметить, что эта линия не описывает кратчайшее расстояние между точками, но в проекции Меркатора всегда изображается прямой линией. Этот факт делает проекцию идеальной для нужд навигации. Если мореплаватель желает отправиться, например, из Испании в Вост-Индию, все, что ему нужно сделать, это провести линию между двумя точками, и штурман будет знать, какого направления по компасу постоянно придерживаться, чтобы приплыть к месту назначения.

С точностью до сантиметра

Для применения проекции Меркатора (как, впрочем, и любой другой) необходимо определить систему координат на земной поверхности и корректно выбрать так называемый *референц-эллипсоид* – эллипсоид вращения, приближенно описывающий форму поверхности Земли (геоида). Для местных карт в России в качестве такого референц-эллипсоида с 1946 г. используется эллипсоид Красовского. В большинстве европейских стран вместо него используется эллипсоид Бесселя. Самым популярным в наши дни эллипсоидом, предназначенным для составления общемировых карт, является мировая геодезическая система 1984 г. WGS-84. Она определяет трехмерную систему координат для позиционирования на земной поверхности относительно центра масс Земли, погрешность составляет менее 2 см. Классическая равноугольная цилиндрическая проекция Меркатора применяется к соответствующему эллипсоиду. Так, например, сервис Яндекс.Карты (maps.yandex.ru) использует эллиптическую WGS-84 проекцию Меркатора.

В последнее время в связи со стремительным развитием картографических веб-сервисов большое распространение получил другой вариант проекции Меркатора – на базе сферы, а не эллипсоида. Этот выбор обусловлен более простыми расчетами, которые могут быть быстро выполнены клиентами этих сервисов прямо в браузере. Часто эту проекцию называют «*сферическим Меркатором*». Такой вариант проекции Меркатора используется сервисами Google Maps (maps.google.com), а также 2ГИС (www.2gis.ru).

Карта г. Новосибирска. Спутниковые фотографии широко используют при создании карт городов для мобильных сервисов, таких как ДубльГИС, Мобильный Новосибирск и т. д.



Еще одним известным вариантом проекции Меркатора является *равноугольная проекция Гаусса-Крюгера*. Она была введена выдающимся немецким ученым Карлом Фридрихом Гауссом в 1820–1830 гг. для картографирования Германии – так называемой *ганноверской триангуляции*. В 1912 и 1919 гг. ее развил немецкий геодезист Л. Крюгер.

По сути, она является поперечной цилиндрической проекцией. Поверхность земного эллипсоида делится на трех- или шестиградусные зоны, ограниченные меридианами от полюса до полюса. Цилиндр касается среднего меридиана зоны, и она проецируется на этот цилиндр. Всего можно выделить 60 шестиградусных или 120 трехградусных зон.

В России для топографических карт масштаба 1:1000000 применяют шестиградусные зоны. Для топографических планов масштаба 1:5000 и 1:2000 применяются трехградусные зоны, осевые меридианы которых совпадают с осевыми и граничными меридианами шестиградусных зон. При съемках городов и территорий под строительство крупных инженерных сооружений могут быть использованы частные зоны с осевым меридианом посередине объекта.

Многомерная карта

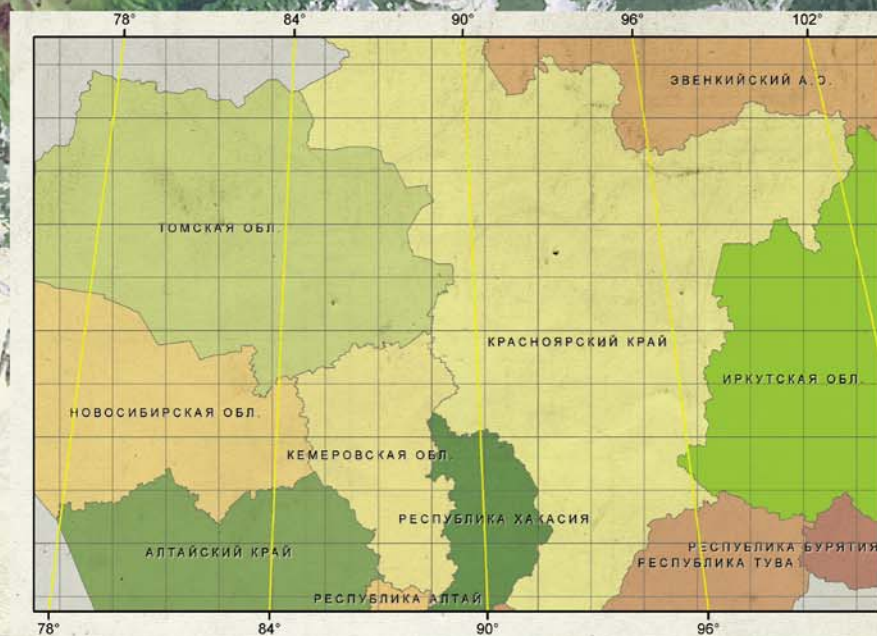
Современные информационные технологии позволяют не просто нанести контуры объекта на карту, но и менять его вид в зависимости от масштаба, связать с его географическим положением множество других атрибутов, таких как адрес, информация о расположенных в данном здании организациях, количество этажей и т. п., делая электронную карту многомерной, разномасштабной, интегрируя в ней одновременно несколько справочных баз данных. Для обработки этого массива информации

и представления его в удобном для пользователя виде необходимы достаточно сложные программные продукты, так называемые *геоинформационные системы*, разработку и поддержку которых могут осуществить лишь достаточно крупные, обладающие необходимым опытом ИТ-компании. Но, несмотря на то, что современные электронные карты мало похожи на своих бумажных предшественников, все равно в их основе лежат картография и тот или иной способ отображения земной поверхности на плоскость.



Для сохранения формы объектов земной поверхности карты рельефа выполняют в конической равнопромежуточной проекции

Фрагмент карты Сибирского федерального округа в универсальной равноширинной проекции Меркатора



Для иллюстрации методов современной картографии можно рассмотреть опыт работы компании «Дата Ист» (Новосибирск), занимающейся разработкой программного обеспечения в области геоинформационных технологий.

Проекция, которая выбирается для построения электронной карты, зависит от назначения карты. Для карт общего пользования и для навигационных карт, как правило, применяется проекция Меркатора с системой координат WGS-84. Например, эта система координат использовалась в проекте «Мобильный Новосибирск» (map.novo-sibirsk.ru), созданном по заказу мэрии города Новосибирска для городского муниципального портала (portal.novo-sibirsk.ru).

Для крупномасштабных карт с целью минимизации линейных искажений используются как зональные равноугольные проекции (Гаусса-Крюгера), так и неравноугольные проекции (например, коническая равнопромежуточная проекция – *Equidistant conic*).

Сегодня карты создаются с широким привлечением аэрофотосъемки и спутниковых фотографий. Для качественной работы над картами в компании «Дата Ист» создан архив космических снимков, охватывающих территории Новосибирской, Кемеровской, Томской, Омской областей, Алтайского края, Республик Алтай и Хакасия, других регионов России. С помощью этого архива, кроме крупномасштабных карт территории, можно изготавливать схемы отдельных объектов и участков под заказ. При этом в зависимости от территории и необходимого масштаба применяется та или иная проекция.

Со времен Меркатора картография изменилась радикально. Информационная революция затронула эту область человеческой деятельности, наверное, больше всех. Вместо томов бумажных карт теперь каждому путешественнику, туристу, водителю доступны компактные электронные навигаторы, содержащие в себе массу полезной информации о географических объектах.

Но суть карт осталась той же – показать нам в удобном и ясном виде, с указанием точных географических координат, расположение объектов окружающего нас мира.

Литература

ГОСТ Р 50828-95. Геоинформационное картографирование. Пространственные данные, цифровые и электронные карты. Общие требования. М., 1995.

Капранов Е.Г. и др. Основы геоинформатики: в 2 кн. / Учеб. пособие для студ. вузов / Под ред. Тихунова В.С. М.: Академия, 2004. 352, 480 с.

Жалковский Е.А. и др. Цифровая картография и геоинформатика / Краткий терминологический словарь. М.: Картгеоцентр-Геодиздат, 1999. 46 с.

Баранов Ю.Б. и др. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов. М.: ГИС-Ассоциация, 1999.

ДеМерс Н.Н. Географические информационные системы. Основы.: Пер. с англ. М.: Дата+, 1999.

Карты любезно предоставлены ООО «Дата Ист» (г. Новосибирск)