

## ЭЛЕКТРОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ В РОССИИ

А. М. БЕРЛЯНТ

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

### ELECTRONIC MAPPING IN RUSSIA

A. M. BERLYANT

*The development of electronic mapping is oriented toward economy, science, and education support. The digital mapping of Russia at a scale of 1 : 1 000 000 and 1 : 200 000 has been completed. The compilation of the National Atlas and its electronic version has been started. Global positioning systems have received wide application.*

*Развитие электронной картографии направлено на обеспечение потребностей экономики, науки и образования. В России завершено создание цифровых карт в масштабах 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000. Начаты работы по составлению Национального атласа, в том числе его электронной версии. Широкое применение получили электронные глобальные позиционирующие системы.*

### КАРТЫ – ЯЗЫК ГЕОНАУК

Сегодня трудно представить развитие наук о Земле без карт. Физическая и социально-экономическая география, геология, геофизика и геохимия, океанология и планетология – все они переносят результаты своих исследований на карты, обобщают и анализируют их с помощью карт, формулируют новые гипотезы, составляют и проверяют прогнозы, пользуясь картами.

Интересно, что становление многих отраслей знания почти целиком опирается на картографический метод. Например, структурная геоморфология основные сведения о рельефе черпает из топографических и гипсометрических карт<sup>1</sup>, медицинская география по природным и социально-экономическим картам изучает возможные ареалы возникновения болезней и эпидемий. Может быть, один из наиболее ярких примеров – сравнительная планетология: общие закономерности строения поверхности небесных тел устанавливаются исключительно по снимкам и картам – ведь на “пыльные тропинки далеких планет” (кроме спутника Земли Луны) пока еще не ступала нога человека. Громадна роль карт в познании дна Мирового океана, бескрайние пространства которого никто из живущих никогда не охватывал взором.

Картография дает наукам о Земле общий язык, единый метод, и они не могут обойтись без карт. Велика роль карт в образовании – с детских лет мы привыкли видеть карту на классной доске. Теперь новые времена, и учебные карты все чаще высвечиваются на экранах школьных и домашних компьютеров.

Карты содержат информацию, необходимую для функционирования общества, – развития экономики, культуры, науки, обеспечения обороноспособности, контроля экологической обстановки, ликвидации

<sup>1</sup> Гипсометрические карты дают геометрически точное изображение рельефа с помощью горизонталей и раскраски высотных ступеней по определенной цветовой шкале.

чрезвычайных ситуаций и т.п. Тот, кто владеет информацией, в том числе картографической, владеет ситуацией. Отсутствие информации ведет к просчетам и ошибкам при принятии оперативных и долгосрочных решений. Разнообразная по тематике и точная картографическая информация стала в наши дни ценнейшим продуктом и товаром. Именно этим вызвано обращение к новым цифровым технологиям картографирования.

## КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ БАЗЫ ДАННЫХ

Традиционные методы составления карт предполагают проведение полевых съемок, их сводку и согласование, последовательный перевод крупномасштабных источников в мелкомасштабные, выполнение генерализации, подбор изобразительных средств, вычерчивание оригиналов карт, изготовление печатных форм и, наконец, издание тиража карт. Это долгий процесс, нередко создание новых картографических произведений растягивается на годы. Дополнительные проблемы возникают при обновлении карты: приходится заново повторять процесс составления, подготовку к изданию и издание.

Переход к цифровым методам и электронным картам кардинально меняет всю систему картографирования. В истории картографии эту перестройку можно, пожалуй, сравнить лишь с начавшимся в XV веке переходом от рукописных карт к печатным оттискам, полностью изменившим облик карты.

Современная электронная карта — это аналог обычной карты, но существующий в компьютерной среде и содержащий всю информацию, необходимую для автоматического воспроизведения карты. Ее основу составляет цифровая запись пространственных координат всех элементов карты и их закодированных качественных и количественных характеристик. По содержанию, математической основе, уровню обобщения, точности и иным параметрам цифровые и электронные карты соответствуют бумажным картам того же масштаба и назначения. Впрочем, это и неудивительно, ведь чаще всего их создают путем цифровой обработки изданных карт.

В основе цифровых технологий лежит формирование картографических баз данных — совокупностей взаимосвязанных пространственных данных, относящихся к какой-либо предметной (тематической) области. Данные в базах представлены в единых цифровых форматах, то есть указаны их координаты, количественные и качественные атрибуты. Они предназначены для многих пользователей, занимающихся составлением карт, и не зависят от характера используемых при этом прикладных программ.

В соответствии с принятой моделью (схемой) построения картографические базы могут быть иерархическими, построенными на основе дерева классификации данного явления либо реляционными, то есть передающими связи и отношения объектов. Кроме того, базы данных могут быть централизованными, в этом случае они размещаются в одном месте в виде единого информационного массива, и распределенными, децентрализованными. Тогда они физически рассредоточены, находятся в разных, нередко весьма удаленных местах, но благодаря единым компьютерным сетям доступны для совместного использования.

Содержание баз данных так же разнообразно, как тематика карт. Топографические базы данных несут цифровую информацию о местности, ее рельефе, гидрографии, дорожной сети, населенных пунктах, границах — обо всем, что составляет содержание топографических карт. Существуют цифровые базы геологических, геофизических, экологических, метеорологических, кадастровых, экономических и других данных. Все, что картографируется (“от геологии до идеологии”), может быть представлено в цифровой форме и введено в базы данных.

Цифровую запись удобно хранить, передавать по сетям и вводить в компьютер, обрабатывать, преобразовывать, а по запросу картографа моментально визуализировать на экране в виде изображения в заданной проекции, в избранной системе условных знаков. В отличие от традиционных электронные карты программно управляемы, при необходимости можно сделать их печатные копии или вычертить изображение на планшете с помощью скоростных и высокоточных автоматических чертежных устройств — графопостроителей.

Но самая главная особенность состоит в том, что наличие баз данных принципиально меняет сам процесс картосоставления [1]. Отпадает, например, необходимость строгого деления карт на листы, поскольку пользователь может заказать изображение любого участка территории (скажем, района полевых работ или территории будущего строительства). Картограф имеет возможность варьировать масштаб карты, свободно менять проекцию, выбирать любые комбинации условных знаков, цветовых шкал и фонов. Составление обычно выполняется в диалоговом режиме, и здесь возможны пробы, эксперименты, просмотр альтернативных вариантов.

По цифровым данным легко построить не только плоское изображение, но и объемную модель, например трехмерную карту горного массива или блок-диаграмму распределения водных масс в океане. При необходимости можно совместить карту с космическими снимками, нанести текущие метеорологические показатели

(это важно для морских навигационных карт), данные оперативных наблюдений (например, площади, охваченные лесными пожарами, или зоны схода лавин), новые статистические сведения и т.п. Более того, появляется возможность выводить на экран и на печать отдельные слои картографического изображения или комбинации слоев, например только рельеф или только дорожную сеть с населенными пунктами. Во многих случаях пользователи бывают заинтересованы именно в такой избирательной информации.

Очень существенно то, что упрощается процесс обновления (актуализации) карт, поддержания их на современном уровне. Любая новая информация, все изменения, произошедшие на местности, результаты последних исследований сразу заносятся в базы данных. Благодаря этому обновленная электронная карта может быть построена мгновенно.

## СОСТОЯНИЕ ЦИФРОВОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Россия — одна из ведущих картографических держав мира. Ее территория целиком покрыта топографическими картами разных масштабов, начиная с 1 : 25 000. Это крупнейший в мире единый блок карт такого масштаба. Подготовлены и изданы комплекты тематических карт природы, населения и хозяйства, подробнейшие карты Мирового океана и как венец картографии — многотомные атласы природы планеты, своеобразные картографические энциклопедии, получившие высокую оценку мировой научной общественности. А в последние годы интересы отечественной картографии простерлись в космические пределы: созданы карты и атласы Луны, Венеры, планет земной группы.

И все же в отечественной картографии есть серьезный пробел. Россия отстала от передовых стран по уровню развития цифровой картографии. Причины этого не только в отсталости технической базы и запоздавшей компьютеризации, но и в огромных пространствах страны. Территорию России (17,1 млн км<sup>2</sup>) покрывают десятки тысяч листов топографических карт разных масштабов:

Масштаб карт	Количество листов, покрывающих территорию России
1 : 1 000 000	148
1 : 500 000	488
1 : 200 000	3 543
1 : 100 000	13 129
1 : 50 000	50 792
1 : 25 000	201 442
1 : 10 000	Свыше 800 000

Перевод всего этого массива в цифровой формат — длительное и трудоемкое дело, поэтому решено начать с двух масштабов: 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000. Они выбраны не случайно — карты в масштабе 1 : 1 000 000 широко используются для генерального регионального планирования и проектирования, строительства и сельскохозяйственного освоения земель, проведения природоохранных мероприятий, научных исследований. Карты в масштабе 1 : 200 000 применяют при проектно-исследовательских работах, рекогносцировочных обследованиях, организации лесного хозяйства и природных заповедников, ориентировании на местности, измерении изображенных объектов и т.п. Кроме того, карты обоих масштабов служат основами для составления геологических, геофизических, геоботанических, почвенных, экологических и иных тематических карт. О трудоемкости работ можно судить по таким цифрам: средний объем данных одного листа цифровой карты в масштабе 1 : 200 000 составляет примерно 1,5 Мбайт, а в масштабе 1 : 1 000 000 — 2,5 Мбайт. Карты этих масштабов с топографической нагрузкой издаются теперь массовыми тиражами для туристов, краеведов всех — кто любит путешествовать по российским просторам (рис. 1).

Одновременно создаются обзорные цифровые карты в масштабах 1 : 4 000 000, 1 : 10 000 000 и 1 : 15 000 000. Они предназначены для обзора территории России и крупных ее регионов, исследовательских работ, обучения в средней и высшей школе. Что же касается крупномасштабных цифровых карт — 1 : 25 000 и 1 : 50 000, — то их составляют выборочно для территорий, наиболее развитых в хозяйственном отношении, а для крупных городов и промышленных центров создают цифровые планы в масштабах 1 : 500 — 1 : 10 000. Изготавливают также кадастровые карты, базы данных, компакт-диски, учебные электронные карты и атласы, вводят в действие региональные геоинформационные системы. Цифровая картографическая информация необходима всем отраслям хозяйства, органам управления всех уровней, армии, науке и образованию, широким слоям населения. Сегодня в России среди основных потребителей цифровых карт и баз данных примерно 30% составляют промышленные и добывающие отрасли, около 10% — органы государственного управления, столько же — зарубежные компании и совместные предприятия, примерно 8% — научные институты и учебные заведения.

Во всем мире цифровому и электронному картографированию уделяют большое внимание и вкладывают в это значительные средства. В США более 80% пространственной информации представлено в виде цифровых карт и ежегодно подготавливаются более тысячи новых баз данных различного назначения. Великобритания покрыта цифровыми картами в широком





**Рис. 1.** Фрагмент топографической карты в масштабе 1 : 200 000 для Тверской области

диапазоне масштабов – от мелких обзорных до самых крупных, на которых изображена каждая ферма. Во Франции созданы две единые для всей страны базы данных: топографическая (БДТопо) и картографическая (БДКарто), они являются основой для картографирования во всех масштабах. Государственные системы цифрового картографирования созданы в Канаде, Австралии, Японии, странах Европейского Союза. Во всем мире ежегодно формируются тысячи новых баз цифровых данных, многие из которых теперь размещены в Интернете и стали доступны мировому сообществу.

Огромная работа по развитию цифрового картографирования России требует унификации содержания карт, систем классификации и кодирования объектов, стандартизации программного обеспечения и обменных форматов, создания единой нормативной и правовой основы. Для реализации этой программы, имеющей общенациональное значение, создана разветвленная инфраструктура, сформированы федеральный и регио-

нальные центры геоинформации в Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, Новосибирске, Иркутске и Хабаровске. На цифровые технологии переведены картографические предприятия, разрабатываются новые методы дистанционного сбора первичной информации и ее координатной привязки.

## ЭЛЕКТРОННАЯ ПРИВЯЗКА ДАННЫХ

Источниками для картографирования служат материалы полевых съемок и наблюдений, причем современные электронные геодезические приборы сразу дают информацию в цифровом виде. Важнейшими источниками остаются бумажные топографические и тематические карты, а также материалы дистанционного зондирования: фотографические, телевизионные, радиолокационные, сканерные снимки и цифровые данные. Кроме того, для создания карт используют результаты опробования и бурения, данные метеонаблюдений, экологического мониторинга, лабораторных анализов, статистическую отчетность и переписи, кадастровые сведения – словом, весьма обширный круг самой разнообразной информации [2]. Прежде чем вводить данные в базы, необходимо привязать их к картографической основе, “положить” на карту, чтобы затем откорректировать, взаимно согласовать по времени и точности.

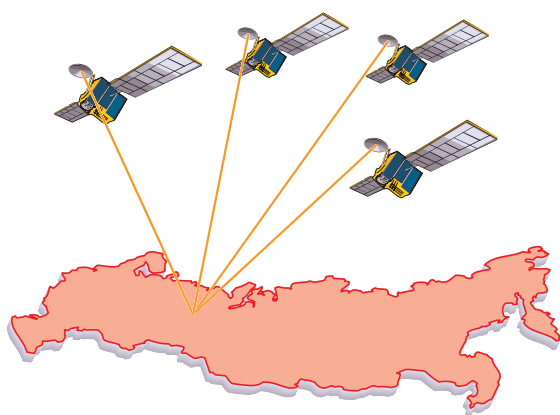
Одной из самых трудоемких и сложных проблем всегда была геодезическая координатная привязка данных. Традиционно для этого используют триангуляционные геодезические сети, состоящие из смежно расположенных треугольников, покрывающих весь земной шар. Координаты вершин треугольников вычислены из астрономо-геодезических наблюдений и закреплены на местности геодезическими сигналами – ажурными металлическими пирамидами, видимыми издали. Для того чтобы определить координаты какого-либо объекта, нужно измерить на местности расстояния и углы до этих пирамид, построить сеть заполняющих треугольников или проложить геодезический ход. Это требует применения особых оптических угломерных и дальномерных приборов, а главное – видимости геодезических сигналов на местности. В залесенной местности или горах, где сеть триангуляции редка, привязка точек наблюдения становится чрезвычайно трудоемкой задачей, требующей порой многих месяцев работы геодезистов и топографов.

Сегодня электронные технологии внесли поистине революционные изменения в процесс геодезической привязки данных. Появились и буквально за несколько лет получили широкое распространение глобальные позиционирующие системы (GPS – ГПС). Эти устройства позволяют определять координаты любой точки

на местности автономно, без наземных геодезических измерений и прокладки ходов между пунктами триангуляции. Система основана на использовании 24 искусственных спутников, специально запущенных на очень высокие орбиты и постоянно посылающих на Землю радиосигналы. Спутники располагаются так, что часть из них всегда видна (или лучше сказать, слышна) в любой точке земного шара в любое время суток. Их можно наблюдать так же, как звезды во время астрономо-геодезических измерений.

Приемник ГПС, находящийся в той или иной точке, вначале выбирает четыре наиболее удобно расположенные искусственные звезды, автоматически настраивается на них, а затем по скорости прохождения радиосигнала определяет расстояние до каждого спутника. Геометрический принцип измерений чрезвычайно прост: четыре расстояния пересекаются в единственной точке, в той, где находится прибор (рис. 2). Точное вычисление координат требует идеальной синхронизации часов спутников и ГПС-приемника, эталонирования частот, учета задержек радиосигналов в ионосфере и тропосфере, введения соответствующих поправок, пересчета полученных результатов в заданную координатную систему, но все это уже дело техники. Компьютер практически мгновенно решает задачу, определяя координаты с погрешностью не более нескольких дециметров, а при определенной организации измерений можно добиться и сантиметровой точности.

Изобретение ГПС позволило в 10–15 раз повысить производительность координатной привязки точек наблюдения на местности, а главное — выполнять все измерения автономно, без постоянного обращения к сети триангуляции. Как показали расчеты, количество



**Рис. 2.** Схема работы глобальной позиционирующей системы: определение местоположения точки по расстояниям до четырех спутников

геодезических пирамид можно значительно сократить. Сейчас в России 370 тыс. действующих пунктов геодезической сети, а при введении ГПС будет оставлено примерно 20 тыс.

ГПС-приемник — небольшое портативное устройство размером с телефонную трубку. Его можно установить на судне, в автомобиле, взять в экспедицию, в маршрут, и теперь даже туристы стараются обзавестись таким прибором. В России кроме американской системы GPS используется и отечественная глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Кроме того, разрабатывается высокоточный приемник GPS-ГЛОНАСС, который сможет работать с обеими системами спутников.

Без преувеличения можно сказать, что внедрение ГПС означает революционное изменение всей системы геодезических измерений и открывает принципиально новые возможности информационного обеспечения электронного картографирования.

## НАЦИОНАЛЬНЫЙ АТЛАС РОССИИ

Национальные атласы — фундаментальные картографические произведения, характеризующие природу, ресурсы, население, экономику страны, ее историю и культуру. Это энциклопедически полные своды географических знаний, они отражают уровень познания страны и одновременно служат для дальнейших исследований, планирования экономики, обеспечения экологического равновесия, развития культуры и образования.

Национальные атласы издаются государственными учреждениями, а во многих странах существуют постоянно действующие институты и центры, где собирают, обновляют, обобщают и заносят в базы данных всю новую информацию, необходимую для поддержания национального атласа на современном уровне. Обычно такой атлас — это большой фолиант настольного формата, часто он издается в нескольких томах или периодически обновляемых выпусках. Например, один из лучших национальных атласов, составляемый Шведской академией наук, издан в 17 томах, а кроме того, создан его электронный вариант на оптических дисках. Короче говоря, национальный атлас — это всегда серьезный научный труд и одновременно престижное государственное издание, свидетельствующее об уровне развития науки, экономики и картографического производства в стране.

Наша страна, где были созданы крупнейшие атласы мира, материков, океанов, других планет, до сего времени не имеет своего национального атласа. Многие данные, необходимые для картографирования, и

особенно социально-экономические сведения, долгое время оставались засекреченными. Но в 1996 году картографическая служба России совместно с Академией наук, Московским университетом и другими организациями разработали крупный проект создания Национального атласа России (НАР) [3].

Предусмотрено, что НАР будет содержать комплексные характеристики всех геосфер: литосферы, атмосферы, гидросферы, педосферы, биосферы, социосферы, техносферы – и историю их развития. Он будет состоять из четырех томов, причем каждый из них можно рассматривать как самостоятельное произведение. Тома включают большие блоки карт общегеографических, природы и ресурсов, населения и экономики, экологического состояния, истории России.

Карты НАР охватывают пять уровней: 1) глобальный и евразийский – Россия в мире на фоне глобальных проблем; 2) общероссийский – основной уровень картографирования страны в целом; 3) региональный – отдельные регионы России и субъекты федерации; 4) локальный – города, агломерации, промышленные узлы, территории и акватории, интересные в природном, демографическом, хозяйственном отношении; 5) объектовый (детальный) – карты, планы и схемы отдельных объектов. Масштаб основных карт – 1 : 15 000 000, другие карты России будут даны в более мелких масштабах – 1 : 20 000 000–1 : 60 000 000, а карты регио-

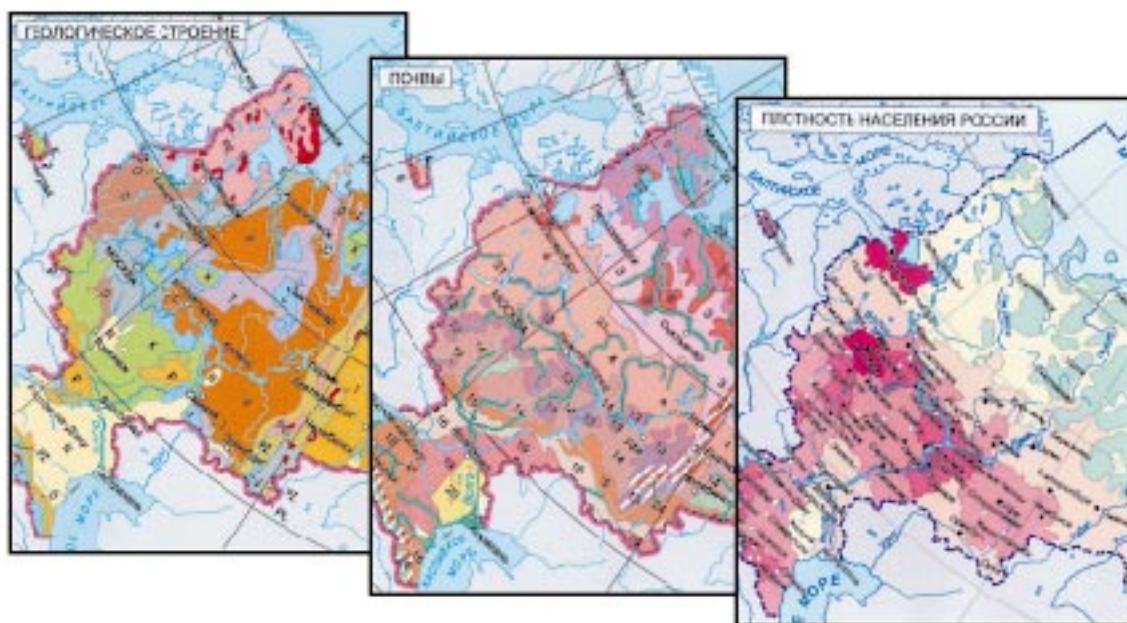
нов и субъектов федерации – в масштабах 1 : 1 000 000–1 : 5 000 000.

Атлас создается с широким использованием цифровых технологий. В итоге должны быть изготовлены три версии:

- полиграфическое издание формата 45 × 60 см;
- электронный мультимедийный атлас на лазерных дисках CD-ROM (потребуется около 25 дисков);
- геоинформационная атласная система (ГИС-версия), которая позволит анализировать, сопоставлять, преобразовывать карты для решения широкого круга научных и прикладных задач.

Создание НАР и его ГИС-версии даст импульс для формирования Российской национальной информационно-картографической системы (РНИКС). Она станет постоянно функционирующим межведомственным органом с задачами сбора, накопления, обработки, хранения и распространения пространственной картографической информации для всех заинтересованных организаций и лиц. При этом РНИКС сможет широко использовать Интернет и телекоммуникационные сети России.

Не только Национальный атлас составляется сегодня с использованием электронных технологий. Большинство учебных школьных атласов подготавливаются на основе цифровых методов картографирования, и



**Рис. 3.** Фрагменты карт России из нового школьного атласа для 8-го класса, составленного с использованием электронных технологий: геологическое строение, почвы, плотность населения



это значительно ускоряет процесс их составления и издания, упрощает обновление карт. Кроме того, появляется возможность издавать эти атласы не только в привычном бумажном варианте (рис. 3), но и на компакт-дисках. Школьники смогут перелистывать страницы таких атласов прямо на экране компьютера, а если нужно – увеличить карту или распечатать ее фрагмент.

Классик российской географии и картографии Д.Н. Анучин писал, что “степень познания страны определяется степенью совершенства имеющейся для нее карты”. В наши дни это совершенство во многом зависит от уровня развития электронных методов картографирования. Карты не только висят в классе или научной аудитории, они сияют теперь яркими красками на электронных экранах, открывая всё новые стороны нашей планеты.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Берлянт А.М. Цифровые карты России // География в шк. 1994. № 1. С. 10–13.
2. Берлянт А.М., Душина И.В., Неклюкова Н.П., Раковская Э.М. Физическая география: Кн. для учащихся. М.: Просвещение, 1994. 228 с.
3. Концепция Национального атласа России: Проект. М.: Роскартография, 1996. 96 с.

*Рецензент статьи В.С. Попов*

\* \* \*

Александр Михайлович Берлянт, доктор географических наук, профессор, зав. кафедрой картографии и геоинформатики МГУ. Область научных интересов – теория картографии, использование карт в науках о Земле, геоинформатика, геоинформационное картографирование. Лауреат Ломоносовской премии. Автор более 350 работ, в том числе 12 книг.