

П.Л. Платонов (ЗАО «ЦНТ»)

В 1998 г. окончил географический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова по специальности «географ-картограф, специалист по тематическому картографированию и ГИС». Работал в ГУП «Мосгоргеотрест», ЗАО «Институт геоинформационных технологий». С 2007 г. по настоящее время — заместитель генерального директора по картографии ЗАО «ЦНТ».

Использование данных дистанционного зондирования Земли в автонавигационном картографировании

АВТОНАВИГАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ

К настоящему времени сложилось отдельное направление электронного картографирования — навигационное картографирование, имеющее важное научно-прикладное значение. Навигационное картографирование относится к геоинформационному картографированию, широко использует опыт комплексных географических исследований и системного тематического картографирования.

Для России актуально использование универсального подхода к обеспечению навигационными картами всей территории страны. Этим обусловлено появление нового навигационного направления в существующем электронном тематическом картографировании — автонавигационного картографирования.

Автонавигационное картографирование — новое навигационное направление классических тематических электронных карт, созданное с использованием современных разработок в существующем электронном тематическом картографировании. Актуальность создания автонавигационных карт обусловлена растущим количеством пользователей и соответственно значительной востребованностью. Специфика разви-

тия автонавигации, с точки зрения потребителя, формирует требования к качественному картографическому обеспечению навигационных систем.

Задачи структурирования автонавигационного картографирования в создании описания специфических методов обработки информации заключаются в разработке систематизации информации на различных этапах камеральных и полевых работ. Автонавигационные карты — продукция нового поколения, воплощающая в себе современные технологии и большой массив географических знаний, сохраняющая преемственность по отношению к известным образцам отечественной картографической продукции.

Автонавигационная карта представляет собой систематизированное собрание взаимосвязанных и взаимодополняющих тематических слоев и разрабатывается как целостное произведение с набором комбинированных данных.

Применяются различные способы сбора данных, взаимодействия между исходными данными из принципиально разных (статических, динамических, справочных и др.) источников, последующей их обработки в единый информационно-справочный массив. Это

связано с различным форматом и видом предоставленных данных. Они могут быть в виде справочных таблиц, снимков с летательных аппаратов, электронных карт и схем, а также из многих других источников. Упорядочить полученные данные, отобрать необходимое, выявить главное, составить на основе этих данных автонавигационную карту для конечного пользователя – основная задача интеграции и переработки информации.

Таким образом, автонавигационное картографирование служит не только средством персональной навигации, но и направлено на решение транспортных, строительных, логистических, общественных, социально-культурных задач, а также на цели хозяйственного управления, охраны природы и др.

К настоящему времени накоплен большой опыт в методах и способах обработки разнообразных картографических и геоинформационных материалов для картографического обеспечения автомобильной навигации. Отдельного внимания заслуживают данные, полученные с помощью средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

ДАННЫЕ ДЗЗ ДЛЯ АВТОНАВИГАЦИИ

Для работы по созданию и обновлению карт используются материалы съемки земной поверхности с различных летательных аппаратов. В результате получают изображения местности с различным разрешением, точностью и цветностью. Самыми распространенными материалами для картографических работ, в т. ч. и для обеспечения автонавигационного картографирования являются аэро- и космоснимки – доступные и актуальные данные ДЗЗ.

Для работы с картами различных масштабов и точности используются и соответствующие изображения. Для карт, по точности и наполнению близким к крупным масштабам, используются снимки с разрешением в несколько дециметров, т.е. 50–60 см в одном пикселе. Для карт средних масштабов пригодны снимки уже с разрешением на порядок ниже, к примеру 1–5 м в одном пикселе. А для карт мелких масштабов снимки разрешения хуже 5 м в пикселе.

Для создания тематических слоев, предназначенных для автонавигации и используемых соответствующими программами для маршрутизации (роутинга) и прокладки маршрутов, точность снимков имеет большое значение. Чем изображение детальнее и лучше читается, тем больше информации и векторных данных можно получить в камеральных условиях. Это позволяет значительно экономить финансовые, технологические и людские ресурсы при таких специфических работах.

ПРИВЯЗКА ДАННЫХ

Работа с полученными растровыми данными значительно упрощается, если они уже пространственно ориентированы и привязаны к местности. Точность привязки имеет большое значение для автонавигационных карт, т. к. на некоторых участках дорог требуется точность в несколько метров для показа детальных элементов дорожного графа, как, например, на городских площадях, развязках и сложных перекрестках.

Если данные не геопривязаны и снимок не обработан, встает вопрос о получении точек с известными координатами (опорные наземные точки) для их привязки и ортотрансформирования.

В автонавигации для этого используют автомобильные треки, полученные с помощью высокоточных антенн-приемников ГЛОНАСС/GPS-сигналов (рис. 1).



Рис. 1.
Автомобильные треки, полученные с помощью ГЛОНАСС/GPS-устройств

Основной принцип сбора информации для привязки снимков заключается в получении векторной линии высокой точности по пути следования автомобиля с упомянутым устройством (рекомендуется иметь его в нескольких экземплярах), установленным на крыше автомобиля. Такой объезд может совершаться в пределах участка работ или всего покрытия снимка. Современные приборы для решения этих задач имеют очень высокую точность (от нескольких метров до нескольких дециметров) и позволяют собрать довольно точную основу для привязки изображений.

Совокупность этих линий на ограниченном участке территории дает точную опору для дальнейшей работы со снимками. Это особенно важно для участков с неоднородным рельефом местности, когда дороги представляют собой «серпантин» и погрешность за счет рельефных искажений может быть очень высокой.

ОСНОВА АВТОНАВИГАЦИОННЫХ КАРТ

Для российского пользователя, в отличие от иностранной потребительской аудитории, характерно, как правило, наличие базовых географических знаний (в силу специфики отечественного среднего образования). Отечественная навигационная карта должна соответствовать классическому пониманию карты, в которой заложена не только специальная автонавигационная информация для прокладки маршрутов, а прежде всего текущая обстановка местности в наглядной, доходчивой для прочтения, анализа и использования форме.

В конечной навигационной системе могут присутствовать несколько карт различного масштаба с различной степенью точности и детализации для оптимального отображения объектов местности. Для подробного отображения городов используются карты масштаба и содержания, близкого к 1:10 000, для обзорной схемы города оптимален масштаб 1:25 000, для карт областей и регионов наполнение и объектовый состав соответствуют масштабу 1:100 000, для обзорной карты нескольких соседних регионов — 1:1 000 000, для схемы всей России с показом только административно-территориального деления подходит масштаб 1:4 000 000 и т. д. Все эти карты в исходном

виде соответственно komponуются и поочередно сменяются на экране при масштабировании выбранной пользователем территории. Для корректного отображения объектов на картах различных масштабов требуются специфические особенности картографической генерализации объектов в электронном виде, а также новые критерии выбора и отбора объектов для нанесения их на карту того или иного исходного масштаба.

При уменьшении карты на экране и соответственно при увеличении области обзора данные подменяются либо автоматически или полуавтоматически генерализуются с подробного масштаба на более мелкий — с 1:10 000 на 1:25 000, затем на 1:100 000 и т. д., показывая содержание, соответствующее топографическим картам указанных масштабов. Поэтому точность для всех вышеперечисленных объектов и слоев соответствует принятым правилам и стандартам электронного картографирования для данных электронных карт.

УЧЕТ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕРРИТОРИЙ ПРИ ДЕШИФРИРОВАНИИ

Прежде чем начать работу с векторными объектами города или области, необходимо изучить их географическую составляющую, физико-географические особенности местности и положение картографируемых объектов на ней, связи конкретного города с соседними городами и населенными пунктами, в частности его взаимоотношения, с сопредельными городами и районами. Прежде всего необходимо изучить территорию на предмет физико-географических свойств дешифрируемого ландшафта. Соответственно на первый план здесь выходят объекты растительности, гидрографии и рельефа. Географические особенности местности, так же как и социально-экономические условия, требуют обязательного тщательного анализа при использовании космических снимков для создания или обновления автонавигационных карт. На космических снимках различимы объекты разных типов и категорий. Например, объекты гидрографии имеют явные дешифровочные признаки, в большинстве случаев указывающие на принадлежность того или иного цветового оттенка на снимке к реке или озеру. Объекты растительности (например, парки, скверы, газоны) также

легко различимы на фотоизображениях из космоса и однозначно дешифрируются. Прекрасно дешифрируются объекты гидрографии (реки, ручьи, бассейны, фонтаны) и др.

Крайне тяжело, не имея высотной привязки снимков, правильно дешифровать рельеф. Таким образом, чтобы учесть физико-географические особенности местности, необходимо прежде всего определить и понять ее рельеф, затем принципы построения гидрографической сети изучаемого района и обязательно принять во внимание густоту и высоту растительного покрова территории. Только верно разобравшись в ландшафте дешифрируемого района, можно понять возможности пролегания, нахождения в нем объектов дорожной сети и инфраструктуры в целом.

ДЕШИФРИРОВАНИЕ И НАНЕСЕНИЕ ОБЪЕКТОВ МЕСТНОСТИ И ИНФРАСТРУКТУРЫ

После того как территория достаточно изучена в физико-географическом плане, необходимо произвести дешифрирование социально-экономических объектов района работ, прежде всего — транспортной инфраструктуры, взаиморасположение населенных пунктов и других селитебных территорий. Иногда встречаются некоторые сложности при дешифрировании. Например, на снимках с разрешением грубее 5 м иногда вызывает затруднение различение объектов рельсового и автомобильного транспорта. Для этого необходимо проследить по снимку протяженный линейно локализованный объект и выявить дешифровочные признаки, позволяющие верно трактовать назначение транспортной артерии региона. В городах сложности возникают при дешифрировании в основном некоторых небольших улиц, даже на идеальном снимке, сделанном в надир, с отсутствием листвы и облачности. Недостаточно космических изображений для прорисовки детального графа улиц и дорог крупного населенного пункта. Также необходимо учитывать государственную и административно-территориальную принадлежность региона. В различных государствах и регионах приняты свои принципы организации дорожного движения, начиная от сторон движения автотранспорта (левостороннее и правостороннее движение) и

заканчивая дорожной разметкой, зачастую имеющей различную трактовку в разных странах. Различия одних и тех же элементов дорожного движения в разных странах и даже континентах могут быть очень сложны, и неверная трактовка изображения на снимке приведет к принципиальным ошибкам в создании основы дорожного графа в этом регионе.

СОЗДАНИЕ ГРАФА ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ УЛИЦ И ДОРОГ

Граф улиц и дорог состоит из совокупности линейных объектов и узлов, связывающих эти линии. Все участки графа имеют свои уникальные характеристики, на основе которых рассчитывается маршрут движения навигационной программой. Характеристики узлов соединений линейных отрезков также содержат в себе информацию о возможных разрешенных или запрещенных маневрах для транспортных средств (рис. 2). Дорожный граф не меняется в зависимости от масштаба. На некоторых типах навигационных систем он даже не отображается на экране, т. е. маршрутизация строится при использовании невидимого слоя карты, а проложенный маршрут отображается на фоне основы. На космических снимках можно увидеть благодаря разметке, ширине и покрытию участки для пешеходов, велосипедистов, легковых или грузовых автомобилей, выделенные полосы

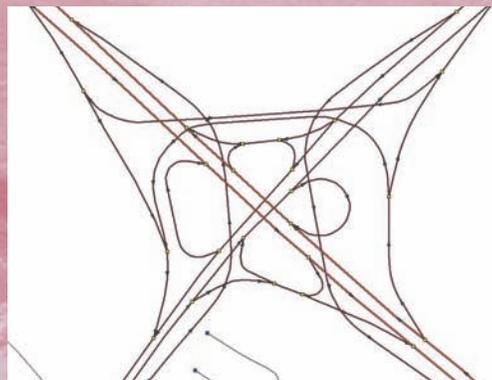


Рис. 2.
Граф дорожного движения

для движения маршрутных транспортных средств, круговые, односторонние и реверсивные участки движения.

Точность этого слоя всегда максимально высока, поскольку в нем должны учитываться все нюансы дорожного движения, а именно дорожные знаки, дорожная разметка, движение по полосам, ограничения для движения по времени и по типам транспортных средств, запреты поворотов и т. п. При дешифрировании снимков возможно выявить следующие параметры создаваемого графа:

- ширина проезжей части;
- тип дороги;
- класс дороги;
- направление движения на участке улицы или развязки;
- количество полос и маневры с них;
- запреты поворотов на некоторых пересечениях участков графа.

Основными дешифровочными признаками следует считать такие, как ориентация транспортных средств на проезжей части, цвет покрытия автодороги, наезженность колеи на участках с покрытием или без, тени объектов инфраструктуры – разделительный бордюр, газон и т. п. Отдельно дешифрируются специальные участки движения для различных видов транспортных средств.

При очень высокой точности съемки появляется возможность нанести на карту такие дорожные объекты, как пешеходный переход, железнодорожный переезд, искусственные неровности, остановки маршрутных транспортных средств, светофоры, а также парковки, АЗС, пункты контроля и досмотра и др.

При создании конечного роутингового слоя следует обязательно учитывать возможные места и маневры, которые невозможно распознать на изображениях. Например, такие, где разрешен или запрещен левый поворот, разворот (технический или пешеходный разрыв в улице, не предназначенный для движения), шлагбаумы и другие препятствия, запрещающие или ограничивающие движение на участке дороги.

Таким образом, информация, полученная из космоса, позволяет создать основу графа движения, но никак не конечный роутинговый слой, содержащий все необходимые характеристики и свойства для правильной и точной маршрутизации.

ОСОБЕННОСТИ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ДОРОГ И ПРИДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВНЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Вне населенных пунктов при наличии снимков высокого разрешения практически все объекты инфраструктуры дешифрируются без особого труда. Дорожное полотно обычно равномерно по интенсивности цвета, на одной дороге, если цвет дороги меняется, значит, скорее всего, произошла смена одного покрытия проезжей части на другое (свежее или, наоборот малоиспользуемое). Это отлично видно на участках примыкания второстепенных шоссе к магистралям или на съездах на развязках (рис. 3). Дорожная разметка также обычно хорошо читается, что дает максимальную информацию для роутинга о характеристиках участка (количество полос, ширина и т. п.). Для автомагистралей, пожалуй, самым сложным моментом является различимость технических разрывов между встречными полосами движения от реально используемых разворотов на автомагистрали или шоссе. Но и это зачастую не оказывается серьезной проблемой для опытного специалиста-картографа.

Не все дороги вне населенных пунктов пролегают по открытой местности, и объекты не на всех них легко читаются. Очень многие дороги или шоссе полностью или частично могут находиться в лесу или других местах с плотной растительностью. В данном случае необходимо очень точное дешифрирование, основанное на географических знаниях и возможности пространственного анализа. Следует детально анализировать интенсивность цвета пикселей и искать дорогу в просветах деревьев. Во многих случаях перечисленные методы и способы дешифрирования не дают желаемого результата. В таких случаях ничего не остается, кроме как уточнять эти участки на местности с помощью точных ГЛОНАСС/GPS-приемников-трекеров .



Рис. 3.
Дорожная развязка на космическом снимке

ОСОБЕННОСТИ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ

Для работы с объектами улиц и дорог в населенных пунктах рекомендуется использовать изображения с разрешением до 2 м. Использование таких снимков позволяет построить достаточно детальный граф движения в городе: отобразить на карте все магистрали, развязки на них, улицы и проспекты, другие транспортные артерии. Для получения более детальной сети дорог и их характеристик необходимы уже снимки с разрешением от 1 м и выше. Они позволяют дешифровать небольшие улицы и переулки, отделить пешеходные участки улиц от проезжих частей.

Благодаря разметке и другим прямым дешифро-

вочным признакам можно увидеть организацию движения на перекрестках и площадях, выявить односторонние участки улиц, круговые движения, а также количество полос на проезжей части для совершения маневров. При использовании детальных снимков можно создать дорожный граф города на всех участках движения от переулков и малых улиц до проспектов и развязок. Однако при отсутствии адекватной разметки в городе невозможно определить места, в которых есть ограничения маневров транспортных средств, например, разрешен ли разворот или левый поворот на перекрестке. Поэтому приходится констатировать, что использование космических снимков в населенных пунктах позволяет создать только основу, «скелет» дорожного графа, но никак не полный и

достоверный граф. Чтобы он был таковым, необходимы работы на местности по уточнению организации дорожного движения в городе.

В населенных пунктах на снимках сверхвысокого разрешения видны даже внутриквартальные и дворовые проезды, участки, закрытые для сквозного проезда, въезды на паркинги и стоянки, различима организация движения на территориях торговых центров, паркингах и прочих объектах (аэропорты, больницы, спортивные и учебные заведения и т. п.).

Проблемы дешифрирования в городах все те же – «наклон» («завал») домов и зданий с большой этажностью, плотные зеленые насаждения вдоль улиц и дорог, облачность. Все это затрудняет определение разметки дорог, объектов инфраструктуры и других ориентиров и дешифровочных признаков местности.

В больших городах есть не только наземные транспортные артерии, могут присутствовать и тоннели, в которых из космоса не видны места слияний второстепенных рукавов тоннелей с основными их руслами, а также другие объекты, находящиеся под землей, элементы развязок или второстепенные проезды. Все эти объекты необходимо учесть в роутинге и отобразить в слое графа дорожного движения не только как линии, но и задать им характеристики и возможные запреты маневров.

Таким образом, используя космические изображения с разрешением более 1 м, можно получить очень качественную подробную основу для дорожного графа города, включающую в себя даже мелкие улицы и внутридворовые проезды. При этом достоверность и детальность роутинга необходимо проверять на местности полевыми методами.

ОБНОВЛЕНИЕ АВТОНАВИГАЦИОННОЙ КАРТЫ ПО ДАННЫМ ДЗЗ

Обновление картографической основы по космическим снимкам детально описывать не будем, принципы и дешифровочные признаки для ее объектов содержания широко известны и уже много лет применяются в картографии как в России, так и за ее пределами.

Рассмотрим некоторые особенности обновления дорожного графа и объектов придорожной инфраструк-

туры. Обновление дорожного графа – главная задача автонавигационного картографирования. Необходимо уточнить векторную информацию роутингового слоя и, возможно, его содержательные характеристики. Прежде всего на снимках стоит обращать внимание на строящиеся участки дорог. Хорошо различаются остовы мостов, насыпи, вырубки и прочие изменения ландшафта. Особое внимание необходимо обращать на участки строительства и реконструкции автодорог, развитие и строительство торговых объектов на трассах, включая объекты инфраструктуры (рис. 4).

Так, например, с появлением усовершенствованного объезда города или иного населенного пункта старая дорога утрачивает свое значение, появляются участки менее используемые, с заброшенным, не наезженным покрытием. Эти особенности должны найти свое отражение и в графе дорог, а именно участкам графа следует понизить класс, скорость, тип, перевести некогда основное шоссе в малую улицу, грунтовую дорогу, полевую или пешеходную тропу, а возможно, даже перекрыть участок для проезда, например в случае строительства нового моста рядом со старым или тоннеля под железной дорогой, и участок на месте уже бывшего железнодорожного переезда исключить из маршрутизации.

Значительным аспектом для обновления является сравнение разновременных снимков одной и той же местности. Это позволяет не только лучше понять дорожное развитие территории, но и в некоторой степени предвидеть развитие и расширение дорожной сети и транспортной инфраструктуры.

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ДЗЗ ДЛЯ АВТОНАВИГАЦИОННЫХ КАРТ

На основании рассмотренных примеров и аспектов использования космических снимков для создания и обновления автонавигационных карт можно сделать несколько практических выводов. Изображения Земли из космоса в значительной степени облегчают труд картографов в части составления и обновления картографической основы и специфических тематических

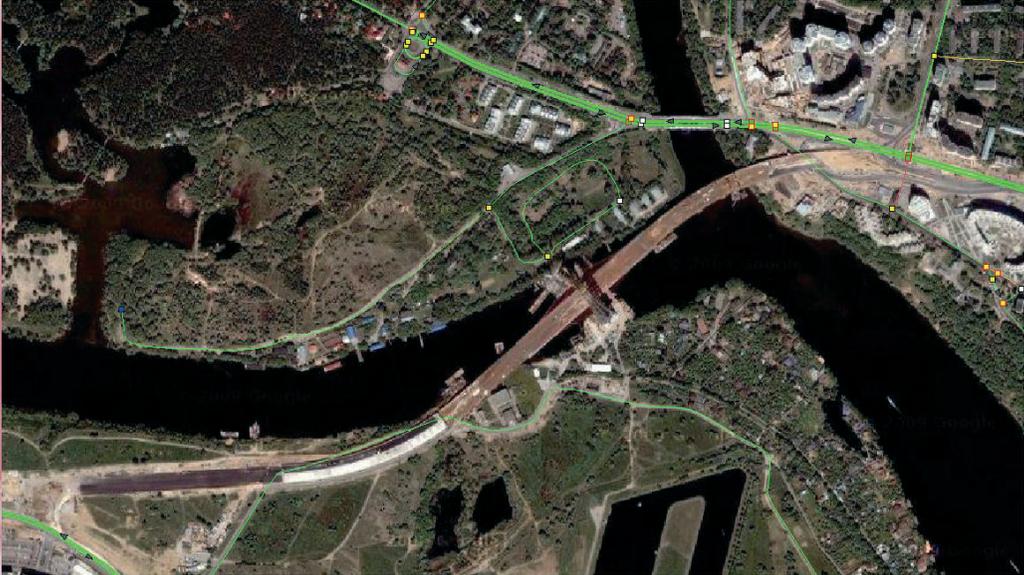


Рис. 4.
Участок строительства новой дороги на космическом снимке

слоев. Используя снимки, можно существенно сократить издержки на дорогостоящее полевое оборудование и полевые работы геодезистов и топографов, работающих на местности с высокоточными приборами и старой картографической основой. Очень большой процент конечной информации для картографической основы возможно получить, используя космические снимки лишь в качестве подложки для цифрования топографических объектов. В ряде случаев снимки высокого разрешения позволяют воссоздать практически полную актуальную дорожную обстановку в линиях и кодах дорожного графа.

К сожалению, какого бы высокого разрешения ни был снимок, он всегда останется таковым с присущими ему свойствами, затрудняющими дешифрирование (наклон строений, облачность, растительность и т. д.). Поэтому, получив максимально возможное количество информации, необходимо проверить и уточнить полученный «полуфабрикат» в поле. Снимки также имеют негативное для картографирования свойство устаревать, терять свою актуальность. Дорожная обстановка,

знаки, разметка — достаточно динамичные элементы, они постоянно меняются, и, для того чтобы владеть актуальной дорожной ситуацией, необходимо регулярно выезжать в поле в целях обновления и уточнения графа движения. Особенно критично это в городах, где процесс развития, усовершенствования, а значит, и реорганизации дорожного движения перманентен.

Ситуация с обеспечением автонавигационными картами различных регионов России имеет не только свои макрорегиональные особенности, но и отражает специфику развития автонавигации в разных регионах и областях страны. Региональные особенности карт обусловлены уровнем экономического развития территории, ее освоенностью, характеристиками систем расселения (существенно различающейся плотностью населения, наличием крупнейших городских агломераций и т. д.), изученностью территории, спецификой потребительских требований и рядом других особенностей.