

# С ЛАЗЕРНЫМ СКАНИРОВАНИЕМ НА ВЕЧНЫЕ ВРЕМЕНА

**Е.М. Медведев** (НПП «Геокосмос»)

В 1986 г. окончил МЭИ. С 1986 по 1997 г. работал инженером, старшим инженером, ведущим инженером, начальником сектора, заместителем начальника отделения ГосНИИ Авиационных систем. С 1997 по 2002 г. — руководитель группы дистанционного зондирования, руководитель группы научно-исследовательских работ ЗАО «Оптэн Лимитед». С 2002 г. является заместителем директора по научной работе НПП «Геокосмос».

**А.В. Григорьев** (НПП «Геокосмос»)

В 1996 г. окончил Государственный университет по землеустройству. С 1994 по 1996 г. — инженер, а с 1996 по 1999 г. — руководитель группы по работе с пользователями ЦГИ ИГ РАН. С 2001 г. — инженер, заместитель начальника информационно-аналитического отдела НПП «Геокосмос».

## ▼ Зачем была написана эта статья?

О лазерном сканировании (лазерной локации) сегодня много говорят и пишут, причем, в основном, в превосходных степенях — новая бурно развивающаяся технология, уже оказавшая чрезвычайно сильное позитивное влияние сразу на группу смежных прикладных

дисциплин — геодезию, фотограмметрию, картографию... Все сходятся в одном — технологические последствия, связанные с появлением этого метода съемки, столь значительны, что сравнимы быть может только с введением в геодезическую практику приемников GPS в начале 90-х годов ушедшего века.

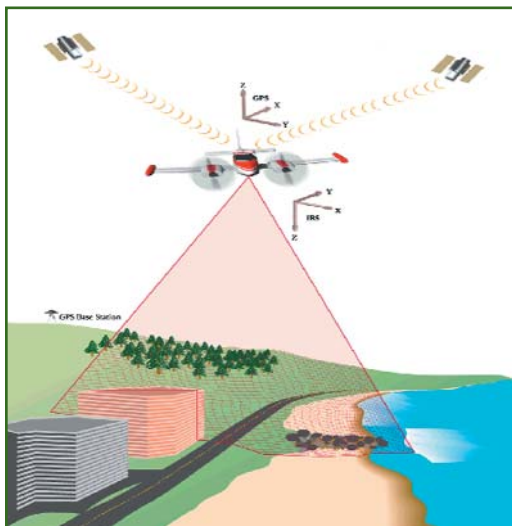
В чем же корни столь убедительного и всеми признанного успеха лазерно-локационного (ЛЛ) метода? Попытке ответить на этот непростой вопрос авторы посвящают данную статью. Кроме свойственного всем людям желания поделиться с окружающими своими не вполне зрелыми мыслями авторы преследовали и другую, вполне утилитарную цель — осмыслить пути развития собственной компании (НПП «Геокосмос»), определив лазерную локацию в качестве одного из наиболее приоритетных направлений своего развития.

## ▼ В чем суть?

Принцип функционирования лазерного локатора авиацион-

ного базирования представлен на рис. 1. В качестве излучателя используется полупроводниковый лазер, как правило, ближнего инфракрасного диапазона, работающий в импульсном режиме. В каждом элементарном измерении в процессе сканирования регистрируются наклонная дальность до точки отражения и значение угла, определяющего направление распространения зондирующего луча в системе координат локатора.

В зависимости от типа лазерного локатора могут фиксироваться более одного (до пяти) отражений для каждой линии визирования. Такая возможность способствует получению более информативных лазерно-локационных изображений, так как в одном элементарном измерении в процессе сканирования могут быть получены отклики сразу от нескольких компонентов сцены<sup>1</sup>: первые отклики<sup>2</sup> будут получены за счет отражений от листвы растительности, проводов и опор ЛЭП, кромок зданий, а последний отклик, как правило, соответ-



**Рис. 1**

Принцип функционирования современного лазерного локатора

<sup>1</sup> Сцена — в дистанционном зондировании в наиболее общей форме — объект съемки, включающий рельеф местности и некоторый типовой набор объектов, характерный для той или иной местности.

<sup>2</sup> Отклик — отражение зондирующего луча от препятствия (поверхности земли или наземного объекта). Такое отражение фиксируется приемником, благодаря чему определяется наклонная дальность.

вует поверхности земли или другой твердой поверхности, например, крыше здания.

Траектория движения носителя регистрируется бортовым приемником GPS. Сочетание замеренных значений наклонной дальности и угла сканирования позволяет непосредственно получить абсолютные геодезические координаты элементов сцены, вызвавших отражение зондирующего луча. Более подробную информацию по принципам работы воздушного лазерного сканера можно найти в [1, 2].

Из представленного краткого описания видно, что конструкция лазерного сканера в его сегодняшней форме не демонстрирует никаких принципиально новых ранее неизвестных технологических решений. С некоторыми упрощениями такой прибор можно определить как «сканирующий лазерный дальномер с навигационным обеспечением», не более того. Все основные структурные компоненты, составляющие лазерный сканер, такие как дальномерный блок, GPS, инерциальная система всесторонне изучены и уже много лет активно эксплуатируются.

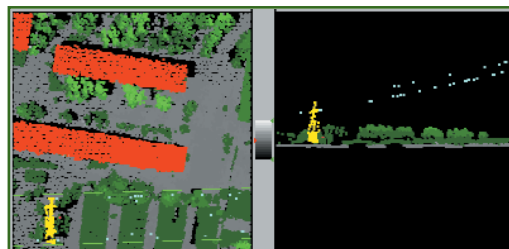
Возвращаясь к вопросу, вынесенному в заголовок параграфа, можно смело заявить, что суть как раз в том, что принципиально новое качество родилось именно благодаря объединению всех упомянутых компонентов в единое целое, которое в послед-

ствии и было названо лазерным локатором. Это не могло случиться ранее середины 90-х годов прошлого века, ведь только к этому моменту использование GPS и лазерных дальномеров прочно утвердилось в аэросъемочной практике, инерциальные системы стали активно применяться для непосредственного определения элементов внешнего ориентирования, а по точности определяемых параметров все источники информации достигли взаимосогласованного уровня (табл. 1).

Хотелось бы еще раз подчеркнуть, что лазерные локаторы появились потому, что однажды метрологические возможности всех трех его главных компонентов оказались сопоставимы по точности. С этого момента лазерная локация стала не банальным средством «дистанционного зондирования», а «фотограмметрическим методом»(!), и производители лазерно-локационной техники стали гордо указывать конкретное значение, определяющее точность производимых ими приборов, — 15–20 см в абсолютных геодезических координатах.

▼ **Лазерно-локационное изображение — ключевое понятие метода**

Для правильного понимания содержания и значения лазерно-локационного метода съемки необходимо, прежде всего, ос-



**Рис. 2**  
**Типовое лазерно-локационное изображение**  
(рисунок заимствован из статьи [2])

мыслить характер поставляемых лазерно-локационных данных. В качестве обобщенного понятия в литературе все чаще используют термин лазерно-локационное изображение (рис. 2), которое, однако, не является изображением в традиционном понимании этого термина.

Представим необходимые пояснения. Лазерно-локационное изображение есть множество точек земной поверхности (лазерных точек<sup>3</sup>), в которых имело место отражение зондирующего лазерного луча локатора. Каждая такая точка определена своими тремя пространственными координатами X, Y, Z. В своей совокупности лазерные точки образуют некоторый образ наблюдаемой сцены, который и принято называть лазерно-локационным изображением или «облаком».

Часто приходится слышать мнение, что лазерная точка, полученная локатором, по своему информационному содержанию эквивалентна результату единичного наземного геодезического

**Показатели точности структурных компонентов типового лазерного локатора**

**Таблица 1**

Определяемый параметр	Источник	Точность
Пространственные координаты носителя	GPS	8–10 см
Наклонная дальность	Лазерный дальномер	10–15 см
Ориентация носителя	Инерциальная система	1–2 мрад (ошибка позиционирования 15–30 см при высоте съемки 300 м)

<sup>3</sup> Лазерная точка — математическое выражение элементарного лазерно-локационного измерения. Включает значения трех пространственных координат X, Y, Z.

измерения — пикету. Такое отождествление нельзя признать безупречным. И дело здесь не только в чисто количественных различиях, вытекающих из неоспоримого преимущества лазерно-локационного метода — высокой производительности. Эти два вида съемки — лазерно-локационная и наземная топографическая, по сути реализуют две отличные идеологии сбора геопространственных данных. Тем не менее, такое сравнение представляется чрезвычайно полезным для правильного понимания сути проблемы. Обратимся к табл. 2, представляющей характеристики данных для двух упомянутых видов съемки.

Еще раз подчеркнем, что к приведенному в таблице сравнению наземной топографической и лазерно-локационной съемки следует относиться не более как к методологическому приему, призванному помочь осознать характер лазерно-локационных данных. Совершенно неправильно представлять эти два вида съемки как конкуриру-

ющие технологии, тем более, что на практике они часто дополняют друг друга. Главный вывод, который может быть сделан по результатам такого сравнения, состоит в следующем. При выполнении наземной топографической съемки, как с использованием традиционных, так и GPS-средств, каждый пикет несет четко определенную семантическую нагрузку, уже в момент своего возникновения становясь частью некоторой схемы, которая позднее по вполне определенным правилам будет преобразована в топографический план. Лазерно-локационное изображение — не схема, а значительно более богатый по содержанию образ реальной сцены. Использование таких данных в топографии предполагает наличие соответствующего методического и алгоритмического обеспечения, над созданием которого и работают инженеры в НПП «Геокосмос» и, быть может, в некоторых других компаниях.

Очень важно отметить, что важнейшим технологическим

резервом лазерно-локационного метода является его комбинирование с другими аэросъемочными технологиями, прежде всего с цифровой аэрофототопографией, инфракрасной и спектральной съемкой.

► **Что делать?**

Преимущества ЛЛ метода по отношению к традиционным методам наземной и воздушной съемки подробно изложены в [1]. Сейчас хочется остановиться на вопросах практического использования технологии лазерного сканирования — что же все-таки делать на практике с такими совершенными приборами как лазерные локаторы? Весьма условно можно разбить всю потенциальную сферу применения этой технологии на две большие группы.

1. «Общетопографические» приложения, в которых лазерно-локационными методами решаются определенные задачи в рамках того или иного традиционного метода съемки, такого, например, как стереотопогра-

**Характеристики данных наземной топографической и лазерно-локационной съемки**

**Таблица 2**

		Данные наземной топографической съемки	Данные лазерно-локационной съемки
Максимально достижимая точность определения пространственных координат		Лучше 1 см	15–30 см
Плотность	Плотность расстановки пикетов определяется масштабом выполняемой топографической съемки и характером объекта. На практике плотность ограничена производительностью съемочной бригады, которая, как правило, составляет несколько сотен пикетов в день		На практике до 3–5 лазерных точек на м <sup>2</sup> земной поверхности. Реальная плотность определяется производительностью сканера (в настоящее время до 50–70 тыс. измерений в секунду) и условиями съемки — высотой и скоростью
Положение в пространстве	Пикеты выбирают, как правило, на поверхности земли		Точки лазерных отражений покрывают как поверхность земли, так и все наземные объекты — крыши зданий, опоры и провода ЛЭП, водоемы, растительность и др.
Характер распределения по поверхности сцены	Выбор места установки пикета определяется оператором в каждом конкретном случае, исходя из топологических особенностей объекта съемки		Распределение лазерных точек по поверхности сцены носит случайный характер

фический метод.

2. Специальные приложения, в которых благодаря применению лазерно-локационных методов возможно получение принципиально новых видов информации.

На практике эти два вида приложений зачастую неотделимы друг от друга.

В указанной выше статье [1] показано, что главным фактором прикладного успеха ЛЛ метода является возможность получения существенно более полных,

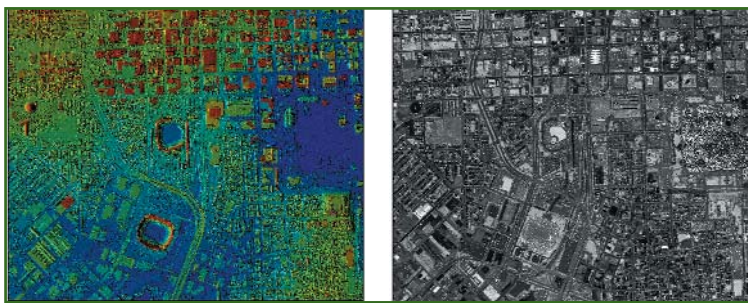
ких дней (возможно часов!) после выполнения залета.

Рассмотрим некоторые из приложений ЛЛ метода. Самым простым и естественным является проведение по ЛЛ данным камерального дешифрирования и рисовки контурной части карты (плана). Эта возможность иллюстрируется на рис. 3, где представлен фрагмент съемки городского ландшафта. В левой части рисунка представлена лазерная цифровая модель местности (ЦММ) с цветовым кодировани-

фотоснимку, что позволяет оператору с успехом использовать навыки традиционного дешифрирования.

Важно отметить также, что оба вида данных относятся к категории первичных, не предполагающих никакой специальной обработки. Такие материалы могут быть получены непосредственно сразу после окончания аэросъемочных работ и сразу же переданы на камеральное дешифрирование. При этом, как уже отмечалось выше, оба вида данных выдаются в абсолютных геодезических координатах, в результате чего яркостное изображение вообще может рассматриваться как координированный ортофотоплан.

Практическая ценность ЛЛ данных может быть значительно повышена за счет комбинирования с цифровыми аэрофотографическими данными [3]. Пример такого комбинирования представлен на рис. 4. В таком случае с использованием того же носителя параллельно с лазерно-локационной выполняется цифровая аэрофотосъемка. Наличие на борту навигационного комплекса, входящего в со-



**Рис. 3**  
 Два вида лазерно-локационных данных (по материалам компании Optech, Inc.)

а зачастую и более точных данных по сцене наблюдения, чем традиционными методами, при радикальном сокращении длительности технологического цикла. С другой стороны «естественная трехмерность» ЛЛ данных позволяет создавать чрезвычайно эффективные алгоритмы геоморфологического анализа<sup>4</sup> ЛЛ данных, обеспечивающих распознавание, выделение и геопозиционирование объектов многих классов. Достигнутые за последние годы успехи в сборе и использовании ЛЛ данных позволяют надеяться на появление в самое ближайшее время на базе лазерно-локационных технологий систем картирования реального времени, которые будут обеспечивать выдачу полноценных топографических планов в течение несколь-

ем возвышения, а в правой — яркостное изображение той же сцены, полученное за счет регистрации интенсивности отраженного лазерного сигнала. Важно отметить, что эти два вида данных получают одновременно в ходе съемки без каких-либо дополнительных технологических усилий с использованием одного только лазерного сканера. Причем они почти идеально дополняют друг друга, чем в значительной степени способствуют повышению точности и достоверности работ по дешифрированию и выделению контуров. Действительно, если ЦММ представляет полную информацию по геометрии сцены и ее компонентов, а яркостное изображение по своим информационным свойствам наиболее близко к классическому аэро-



**Рис. 4**  
 Пример совместной обработки лазерно-локационных и цифровых аэрофотографических данных (рисунок заимствован из статьи [2])

став лазерного сканера, позволяет обеспечить каждый цифровой аэрофотоснимок полным набором элементов внешнего ориентирования, а по лазерным

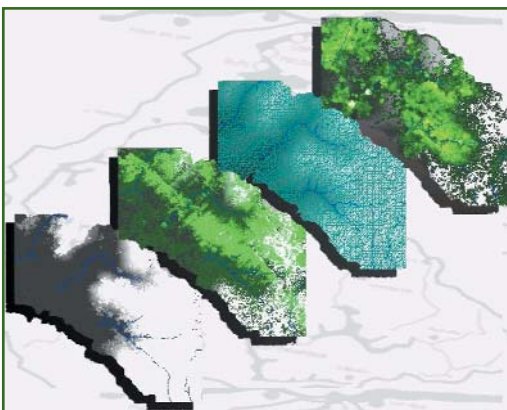
<sup>4</sup> Геоморфологический анализ. Геоморфология — наука о строении Земли. В данном контексте речь идет о строении наблюдаемой поверхности земли — характере рельефа.



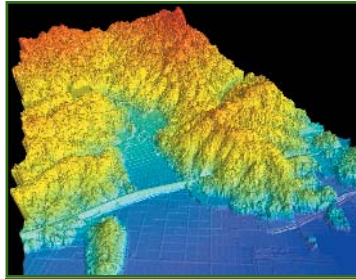
данным с привлечением алгоритмов геоморфологического анализа может быть получена цифровая модель истинного рельефа, которая используется для ортотрансформирования снимков. Таким образом, описанная схема представляет собой технологически полную схему автоматического создания ортофотомозаики с уровнем точности, удовлетворяющим требованиям топографического плана масштаба 1:2000 и мельче.

Достижение полной автоматизации процесса производства ортофотомозаики имеет следствием высокую производительность этого процесса. На практике время, необходимое для производства законченной ортофотомозаики не на много больше продолжительности собственно аэросъемочных работ.

Другим чрезвычайно перспективным и бурно развивающимся направлением является семантический анализ лазерно-локационных данных, который предполагает автоматическое обнаружение, распознавание и геопозиционирование объектов различных классов. Соответствующее программное обеспечение позволяет практически без участия оператора создать модель ЛЭП, включающую опоры, провода и грозозащитные тросы, гирлянды изоляторов, пересекающие линии. Это же про-



**Рис. 6**  
Различные формы представления ЦМР, полученной по ЛЛ данным



**Рис. 5**  
Пример цифровой модели рельефа, синтезированной по ЛЛ данным (по материалам компании Optech, Inc.)

граммное обеспечение гарантирует представление модели в САД-овской форме, что, в свою очередь, позволяет численно оценить такие важные параметры как стрела провеса, габариты, углы наклона гирлянд и др.

Большой прогресс достигнут также в таких формах семантического анализа как моделирование городских ландшафтов, автомобильных и железных дорог, инженерных коммуникаций, береговой линии. По всем этим направлениям имеются прикладные программы, реализующие разнообразные алгоритмы работы с объектами соответствующего класса.

Приложения, посвященные созданию цифровых моделей рельефа (ЦМР) (рис. 5) и другим формам геоморфологического анализа на основе ЛЛ данных, сегодня уже считаются классическими. Как упомянуто выше, создаваемые таким образом ЦМР играют исключительно важную роль при автоматическом создании ортофотомозаики, однако значение этого вида информации не ограничивается участием в процессе ортонормирования снимков. В настоящее время исключительно по лазерно-локационным данным может быть прорисована вся рельефная часть карты (плана). Процедуру восстановления истинного рельефа по ЛЛ данным также во многом удается автоматизировать, причем побочными продуктами этого является

создание триангуляционной (TIN) и регулярной (GRID) модели поверхности рельефа, которые имеют важное практическое значение. Такое представление позволяет использовать для дальнейшей обработки данных разработанные ранее процедуры геоморфологического анализа для выделения break lines и других структурных компонентов (рис. 6).

Процедуры выделения поверхности истинной земли из облака лазерных точек автоматически решает и другую задачу — выделение наземных компонентов, прежде всего растительности. Это обстоятельство в ряде случаев используется для построения векторных моделей лесных массивов. С помощью таких моделей успешно решаются задачи таксации леса [4] и численной оценки лесотехнических характеристик.

Геоморфологическое направление тематического анализа в лазерной локации имеет ряд важных приложений — прогнозирование наводнений, оценка объема снежной массы, мониторинг карьеров, оценка эрозии береговой линии и др.

Известны примеры, когда непосредственно по лазерным данным успешно решались даже землеустроительные задачи. Это в большей степени относится к развитым странам, таким, например, как Япония или Великобритания, где границы участков отчетливо дешифрируются по лазерным данным (рис. 5).

#### ▼ «Младший брат»

Достойны самого серьезного внимания и наземные лазерные сканеры.

Наземное лазерное сканирование является самостоятельным направлением топогеодезических работ и построено практически на тех же принципах производства измерений, что и воздушное лазерное сканирование. Наземное лазерное сканирование позволяет обеспечить боль-

шую плотность и точность точек лазерных отражений и, следовательно, более высокий уровень детализации съемки. Ввиду того, что наземная лазерная съемка занимает

более продолжительное время, ее целесообразно использовать при необходимости получения детальных планов и трехмерных моделей на локальные территории в несколько десятков га (рис. 7) в отличие от воздушной съемки, где речь может идти о сотнях квадратных километров в день.

Наземное лазерное сканирование является прекрасным дополнением воздушному, если речь идет о построении полномасштабных моделей объектов техногенного (и не только) происхождения на фоне глобальной съемки территорий с помощью воздушного лазерного сканирования, т.к. позволяет выполнить съемку фрагментов сооружений, недоступных «воздушному оку». Кроме того, с использованием технологии наземного лазерного сканирования можно выполнять съемку внутри инженерных сооружений (цехов и т. п.), что в ряде случаев трудно или просто невозможно сделать традиционными методами.

Иногда в поле возникают проблемы в получении отдельных характеристик некоторых объектов, например, провисание коммуникаций (проводов или наземных трубопроводов) между опорами, диаметры труб и места смены диаметров труб на эстакадах, линейные размеры объектов, не говоря уже об объектах, имеющих сложные сплайновые поверхности. Трехмерные модели таких объектов, используя традиционные технологии сбора данных, зачастую построить просто невозможно.

По данным сканирования эти вопросы решаются точно и однозначно так как все материалы съемок находятся в едином трехмерном координатном поле, благодаря чему взаимное положение моделей объектов опре-

деляется с высокой точностью. Точность построения отдельных элементов модели и точность их взаимного положения определяется в основном точностью сканирующей системы.

Наземное лазерное сканирование может быть использовано при съемках и построении моделей рельефа и местности на локальные территории, где применение воздушной локации не оправдано по экономическим соображениям, либо необходимо отразить все микроформы и сложные участки рельефа. Традиционная съемка дает аппроксимированное представление о рельефе местности, и степень этой аппроксимации сильно зависит от опыта и квалификации исполнителя. Лазерное сканирование позволяет зафиксировать абсолютно все формы рельефа, присутствующие в зоне съемки, и в процессе постобработки уточнить необходимость отображения того или иного элемента.

Использование наземного лазерного сканирования для съемки фасадов и архитектурных памятников является развитием и совершенствованием наземной фотограмметрии, а, учитывая возможность фиксации сканирующими системами истинного цвета или совмещение их с цифровыми фотокамерами, можно оперативно получать координированные модели объектов фотореалистического качества, строить по ним сечения и выделять структурные линии.

▼ **О перспективах**

Сегодня лазерное сканирование уже неотъемлемая и, возможно, самая перспективная часть геодезии. В НПП «Геокосмос» это хорошо понимают и поэтому уделяют самое серьезное внимание вопросам развития этого направления. Уже сегодня компания проводит работы с использованием лазерно-локационной техники в интересах многих российских предприятий,



Рис. 7  
Фрагмент трехмерной модели УКПГ

среди которых такие крупные как ОАО «Газпром» и РАО ЕЭС. В то же время курс на создание систем картографирования в реальном времени является одним из важнейших приоритетов. Значительные финансовые и интеллектуальные ресурсы, вложенные компанией в это направление, позволяют надеяться на появление таких систем в самом ближайшем будущем.

▼ **Список литературы**

1. Медведев Е.М., Мельников С.Р. Картографирование в режиме реального времени? С лазерным сканированием это возможно уже сегодня! // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. — 2002. — № 4(36). — С. 49–51.
2. Medvedev E. Simultaneous Recording of LIDAR and Aerial Imagery // GIM International. — 2002. — N 1.
3. Medvedev E. «Digital automatic orthophoto production with laser locator and aerial photography data», ISPRS WG VI/3 and IV/3 Workshop, Ljubljana, Slovenia, February 2000.
4. Medvedev E., Kapralova E., Danilin I. «Laser locator methods for forest structure analyses», In Proc. 3<sup>rd</sup> International Conference on geospatial information in agriculture and forestry, Denver, CO, U.S.A., November 2001.
5. Мельников С.Р., Подоприхин Р.В., Григорьев А.В. Некоторые аспекты применения трехмерного лазерного сканирования НПП «Геокосмос» // Нефтяное хозяйство. — 2002. — № 5.