

**И. А. Рыльский** (компания «Совзонд»)

В 2002 г. окончил географический факультет Московского государственного университета (МГУ) им. М. В. Ломоносова. Работал научным сотрудником Лаборатории комплексного картографирования МГУ, старшим научным сотрудником Регионального центра мировой системы данных (МГУ), директором по развитию ЗАО «Ари-он». С 2015 г. — директор по науке и инновациям компании «Совзонд». Кандидат географических наук.

# Лазерное сканирование и цифровая аэрофотосъемка: новый уровень детальности

## НОВОЕ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОМПАНИИ «СОВЗОНД»

Компания "Совзонд" приняла решение о начале с 2015 г. массированного применения методов цифровой аэрофотосъемки (АФС) и воздушного лазерного сканирования (ВЛС) в практике информационного обеспечения проектов. За счет внедрения указанных методов компания планирует начиная с января 2016 г. предоставлять своим заказчикам всю линейку информационных продуктов масштабного ряда 1:500–1:5000 включительно. Благодаря внедрению указанных методов компания будет предоставлять следующие виды продукции:

- высокоточные цифровые модели рельефа (ЦМР) в форматах GRID или TIN, под сечение рельефа от 0,5 до 2,0 м и детальнее;
- модели относительной высоты зданий, лесов, проводов над уровнем рельефа;
- ортофотопланы в видимом, ближнем инфракрасном (ИК) или тепловом диапазоне с разрешением 5–20 см;
- топографические планы местности 1:500–1:5000.

## ЧТО ПРЕДСТАВЛЯЮТ СОБОЙ МЕТОДЫ АФС-ВЛС

В конце 1990-х гг. в области методов получения картографических материалов высокой детальности (масштаб 1:5000 и крупнее) произошло оживление. В основном оно было вызвано появлением новых методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с использованием импульсных лазеров. Вместо классической аэрофотосъемки потребителям картографической информации была предложена высокоточная лазерно-локационная съемка в сочетании с цифровой аэрофотосъемкой. Последний вид съемки в дальнейшем будем именовать «воздушное лазерное сканирование», или ВЛС, что будет подразумевать использование тандема «лазер+фото», поскольку лазерная съемка без аэрофотосъемки применяется редко.

Постепенное распространение данного метода в мире и прогресс в области создания цифровых камер и лазерных сканеров привели к эволюции точности и подробности получаемых по этим материалам данных — от 1:5000 в конце 1990-х гг. до 1:500 к началу 2015 г.

Лазерное сканирование является разновидностью активной съемки. Установленный на авианосителе (самолете, вертолете) полупроводниковый лазер (работающий в импульсном режиме) проводит дискретное сканирование поверхности Земли и объектов, расположенных на ней, регистрируя направление лазерного луча и время прохождения луча (рис. 1).

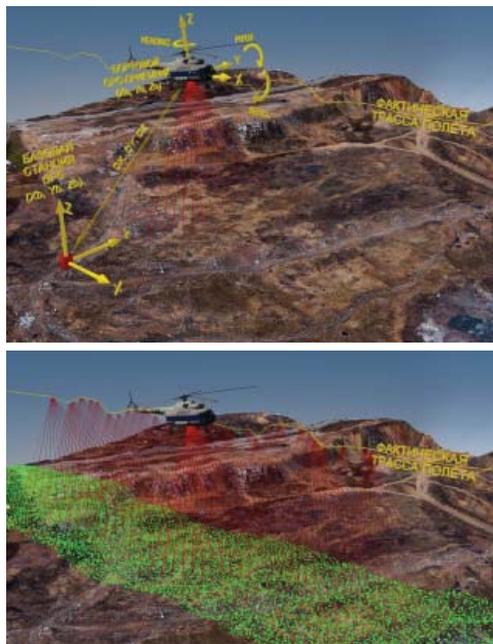


Рис. 1. Принципы лазерного сканирования с воздуха

Таким образом, удается однозначно локализовать в пространстве точку (точки, если отражений было много), от которой отразился лазерный луч. Текущее положение лазерного сканера определяется с помощью высокоточного спутникового приемника, работающего в дифференциальном режиме совместно с инерциальной системой. Зная углы разворота и относительные смещения между компонентами описанной системы,

можно однозначно определить абсолютные координаты каждой точки лазерного отражения в пространстве.

Поскольку лазерный сканер испускает сотни тысяч импульсов в секунду («качая» луч из стороны в сторону и смещаясь вместе с носителем (скажем, вертолетом), то территория съемки оказывается покрыта множеством точек лазерных отражений, для каждой из которых известны координаты, интенсивность, а также порядок отражения (было ли это первое отражение — от самого высокого объекта в данной точке — или последнее — от земной поверхности или здания). Данные, получаемые в результате совместной обработки лазерной альтиметрии, данных инерциальной системы и приемников GPS-ГЛОНАСС, представляют собой массив нерегулярно расположенных точек, для которых известны пространственные координаты, интенсивность отраженного сигнала и ряд дополнительных параметров.

Одновременно с лазерным сканированием ведется аэрофотографирование земной поверхности с использованием цифровой камеры, регистрирующей излучение в видимом, инфракрасном либо тепловом или ИК диапазоне электромагнитного излучения. Аэрофотоснимки регистрируются на бортовом носителе. Наличие точных меток времени позволяет определить элементы внешнего ориентирования камеры и осуществить привязку снимка и коррекцию ошибок за рельеф, за наклоны, кривизну Земли и т. п. Исправленные ортоизображения сливаются в единую бесшовную мозаику. В результате же автоматизированной обработки точек отражений создается высокоточная ЦМР территории.

### ФАКТОР ВРЕМЕНИ

В ряде случаев оперативность АФС-ВЛС может быть, как ни странно, существенно выше, чем космической съемки.

Это возможно благодаря тому, что для АФС-ВЛС нет проблем работать под облаками, в условиях дымки (она гораздо меньше влияет на качество АФС изображений, чем на космоснимки, и вообще не влияет на данные лазерного сканирования). Для ряда районов нашей страны плохая погода является нормой, особенно в бесснежный сезон. Это практически все побережье арктических морей, Курильские острова и Камчатка, побережье Охотского моря, горные районы Сибири и ряд других районов.

Кроме того, большое число заказчиков космосъемки (в первую очередь на системы сверхвысокого разрешения) может затянуть съемочный процесс на несколько месяцев без возможности как-либо его улучшить. При всем желании сам факт ограниченности числа космических аппаратов, фиксированность их орбит и невозможность заглянуть под облака делают невозможным ускорение работ.

АФС-ВЛС, напротив, позволяют использовать астрономические и климатические особенности в полной мере. Так, в полярных районах возможно применение одновременно нескольких систем (до 5 одновременно) и работа круглые сутки без перерывов в условиях полярного дня. К сожалению, космическая съемка в этом случае не может воспользоваться этими преимуществами.

## ЧТО ВИДНО

Очевидно, что по производительности эти системы не уступают классической аэрофотосъемке (при этом включает получение многозональных фотоматериалов), а по цене — не превосходят ее. Однако ценность этих данных существенно выше, чем у классической аэрофотосъемки.

В качестве примера рассмотрим съемку лесных районов. На материалах с плотностью 4 точки на 1 кв. м (под

масштаб 1:1000) легко различимы в 3Д-режиме (т. е. просто по форме, без спектральных признаков) кроны лиственных и хвойных деревьев с учетом наиболее высоких точек дерева. Даже данные с плотностью 2 точки на 1 кв. м (под масштаб 1:2000, рис. 2, 3) неплохо подходят для использования при обновлении материалов лесоустройства всех категорий таксации. Данные под масштаб 1:5000 (0,5–1,0 точки на 1 кв. м) идеальны для использования при уточнении результатов, полученных по моделям хода роста.



Рис. 2. Пример лазерного сканирования леса с плотностью 4 точки/м<sup>2</sup>. Красная линия – ось профиля (рис. 3)



Рис. 3. Профиль (по красной линии на рис. 2). Хорошо видно различие кроны каждого дерева и поверхность рельефа под кронами

Кроме воздушного лазерного сканирования, ни один из применяющихся на сегодняшний день методов ДЗЗ не обладает одновременной возможностью получать и видимую поверхность кроны, и поверхность рельефа. Действительно, оптико-электронное наблюдение дает нам информацию о видимой поверхности (кроны), оставляя рельеф невидимым. Радарная съемка —

наоборот. Только воздушное лазерное сканирование сочетает в себе лучшие черты каждого из методов, обладая при этом субдециметровыми точностями измерения высоты. Именно благодаря этому свойству воздушное лазерное сканирование — один из немногих методов, позволяющих получить точные геометрические параметры каждого дерева из основного яруса растительности.

### МИФЫ О ЦЕНАХ

Одним из основных мифов последних лет, окружающих лазерное сканирование, является миф о его чрезмерной дороговизне. Так действительно было в недалеком прошлом. Однако за последние 12–14 лет (десятилетие?) технология прошла путь от систем, имевших возможность съемки с охватом в 300–500 м и средней дистанцией между точками лазерных отражений в 1–1,5 м, до систем, обеспечивающих среднюю дистанцию между точками лазерных отражений (аналог размера пиксела для фотоснимков) на уровне 20–40 см при ширине охвата в несколько километров). Это не могло не сказаться на производительности и себестоимости работ.

Так, например, система Riegl Q1560 позволяет вести работу с высоты 2800 м при скорости сканирования 800 000 точек в секунду, что при скорости носителя около 160 км/ч (Ан-2, Ми-8) позволяет вести съемку в полосе шириной в 3000 м, давая при этом плотность в 4 точки на 1 кв. м (средняя дистанция — 50 см), что достаточно для создания картографических материалов масштаба 1:1000 и пригодно для лесоустроительных работ всех видов. Производительность работ при этом составляет около 450 кв. км в час.

Естественно, при этом имеет смысл вести параллельную цифровую аэрофотосъемку в видимом и инфракрасном диапазонах, так

как все системы воздушного лазерного сканирования комплектуются камерами среднего формата, позволяющими получать снимки с использованием ближнего инфракрасного и видимого диапазонов. С указанных высот — от 2800 до 4000 м — разрешение фотоматериалов составит от 25 до 35 см даже без использования широкоформатных камер. При использовании широкоформатных камер разрешение может быть доведено до 15–22 см.

При использовании более скоростного носителя, например Ан-30, возможно ведение работ и с больших высот — до 4000 м. При этом будет достигнута производительность до 1000 кв. км в летный час (плотность — 2 точки на 1 кв. м, средняя дистанция — 70 см, под масштаб 1:2000) и даже 1500 кв. км — под масштаб 1:5000 (0,7 точки на 1 кв. м, средняя дистанция — 1,2 м).

Действительно, если производить сравнение стоимости новой космической съемки высокого разрешения (0,5 м) и аэрофотосъемки (с разрешением 0,2–0,3 м), то можно убедиться, что средняя себестоимость космосъемки на сегодняшний день составляет около 1200 р. за 1 кв. км, а себестоимость воздушного лазерного сканирования с геопривязкой и уравниванием — около 3500–8000 р. за 1 кв. км (в зависимости от региона). Нетрудно видеть, что аэрофотосъемка дороже, но получаемая при этом детальность данных в 4–6 раз выше, чем по космическим данным. Отметим, что с конца 2014 г. доступны заказы на космическую съемку с разрешением около 30 см (со спутника WorldView-3) по цене около 3500 р. за 1 кв. км, что, вероятно, составит конкуренцию данным аэрофотосъемки с разрешением 0,25–0,30 м как по информационной ценности, так и по цене. Однако большая загруженность данного аппарата вряд ли позволит в ближайшие годы производить массивные съемки больших территорий РФ.