

# ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЭРОСЪЕМОЧНОГО КОМПЛЕКСА PHASE ONE 190MP В РОССИИ

**Д.М. Хайдукова** («Уралгеоинформ», Екатеринбург)

В 2001 г. окончила Уральский государственный университет им. А.М. Горького (в настоящее время — Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина) по специальности «инженер-астрономогеодезист». После окончания университета работала в ФГУП Уральский региональный производственный центр геоинформации «Уралгеоинформ», с 2007 г. — в ООО «Технология 2000». С 2014 г. работает в АО «Уралгеоинформ», в настоящее время — начальник отдела цифровой фотограмметрии.

**И.Н. Насибутдинов** («Уралгеоинформ», Екатеринбург)

В 1985 г. окончил Новосибирский институт инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии (в настоящее время Сибирский государственный университет геосистем и технологий) по специальности «инженер-геодезист». После окончания института работал в ОКЭ № 308 Союзмаркштрест, с 1988 г. — в Средневолжском АГП, с 2006 г. — в ФГУП Уральский региональный производственный центр геоинформации «Уралгеоинформ», с 2011 г. — в ООО «Технология 2000». С 2017 г. работает в АО «Уралгеоинформ», в настоящее время — коммерческий директор.

**Я.В. Лерман** («Уралгеоинформ», Екатеринбург)

В 2013 г. окончила Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина по специальности «инженер-аэрофотогеодезист». С 2011 г. работала в ЗАО «Проектно-изыскательский институт ГЕО». С 2015 г. работает в АО «Уралгеоинформ», в настоящее время — технолог отдела цифровой фотограмметрии.

**П.А. Анашкин** («Уралгеоинформ», Екатеринбург)

2006 г. окончил электротехнический факультет Уральского государственного университета путей сообщения по специальности «организация и технология защиты информации», в 2012 г. — факультет государственного и муниципального управления Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ по специальности «государственное и муниципальное управление». С 2006 г. работает в ФГУП Уральский региональный производственный центр геоинформации «Уралгеоинформ» (АО «Уралгеоинформ»), в настоящее время — генеральный директор.

**И.Г. Емельянов** (НПК «Фотоника», Санкт-Петербург)

В 2006 г. окончил Санкт-Петербургский государственный университет. После окончания университета руководил проектами по созданию и внедрению цифрового эфирного и спутникового ТВ в РФ. С 2015 г. работает в ООО «НПК Фотоника», в настоящее время — менеджер проекта по продвижению аэрофотосъемочного оборудования Phase One Industrial на территории РФ.

**Ю.Г. Райзман** (Phase One Industrial, Дания)

В 1980 г. окончил аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности «инженер-аэрофотогеодезист», в 1985 г. — аспирантуру ЦНИИГАиК по специальности «фотограмметрия». После окончания аспирантуры работал в Ташкентском аэрогеодезическом предприятии ГУГК при СМ СССР, с 1992 г. — в Геодезической службе Израиля, с 2008 г. — в компании VisionMap Ltd. (Израиль). С 2017 г. по настоящее время — научный консультант компании Phase One Industrial и директор компании GeoCloud Ltd.

АО «Уралгеоинформ» (Екатеринбург) с 2018 г. для выполнения аэрофотосъемочных работ использует аэросъемочный комплекс Phase One 190MP (рис. 1). Поставка комплекса была осуществлена ООО НПК «Фотоника» (Санкт-Петербург), которое является официальным дистрибьютором компании Phase One Industrial (Дания) в РФ. Установка комплекса, обучение и первичное тестирование проводились совместно специалистами трех компаний: АО «Уралгеоинформ», НПК «Фотоника» и Phase One Industrial.

В состав комплекса входят: цифровая фотокамера Phase One iXU-RS1900, управляющий компьютер iX Controller MKIII, гиросплатформа Somag DSM 400 и ГНСС-инерциальный измерительный блок Applanix POS AVX 210, а также модульное программное обеспечение: iX Plan для планирования аэросъемки, iX Flight и iX Capture для управления навигацией и работой камеры во время полета и Capture One для цветокоррекции снимков. Каждый программный модуль отвечает за один из видов работ и может быть установлен на любом рабочем месте, удобном для оператора.

#### ▼ Конструкция и особенности камеры Phase One iXU-RS1900

В камере Phase One iXU-RS1900 применена нетрадиционная двухобъективная оптическая схема получения цифрового аэроснимка со смещенными относительно оптической оси каждого объектива матрицами изображений [1].

После проведения аэросъемки два снимка, полученные одновременно каждым объективом, «сшиваются» и трансформируются в один результирующий снимок центральной проекции, который исправлен за дисторсию, имеет размер в 190



Рис. 1

Аэросъемочный комплекс Phase One 190MP: общий вид (слева), установленный в самолете АН-2 (справа)

Мпикселей и единое фокусное расстояние, а координаты его главной точки равны нулю.

В камере использована светочувствительная матрица КМОП с динамическим диапазоном 84 дБ, что на 10–11 дБ больше, чем у традиционных ПЗС-матриц. Повышенный динамический диапазон существенно влияет на качество и производительность аэросъемки (Динамический диапазон измеряется в децибелах (дБ) и представляет собой разность между мощностью сигнала, соответствующего самому темному, и мощностью сигнала, соответствующего самому светлому участку снимаемой сцены. Чем шире диапазон, тем выше способность матрицы цифрового фотоаппарата фиксировать без искажений весь спектр цветов снимаемого объекта. — Прим. ред.). Наличие матрицы КМОП позволяет использовать в камере Phase One iXU-RS1900 высокоскоростной центральный затвор с очень коротким временем экспозиции — до 1/2000 секунд, что исключает смаз изображения и существенно повышает его четкость. При этом аэрофотосъемку (АФС) можно проводить при более низкой освещенности (в условиях облачности), что влияет на производительность за счет увеличения количества часов съемки в течение одного дня.

Сравним размеры снимков, получаемых среднеформатной камерой — RCD30, широкоформатной камерой — DMC II 250 и камерой PhaseOne iXU-RS1900. На рис. 2 наглядно видно преимущество камеры PhaseOne перед среднеформатной камерой и сопоставимость размера ее кадра с размером кадра широкоформатной камеры.

При существенно меньшей стоимости аэросъемочного комплекса Phase One 190MP производительность АФС камерой Phase One iXU-RS1900 практически равноценна производительности АФС широкоформатной камерой DMC II 250 при одно-

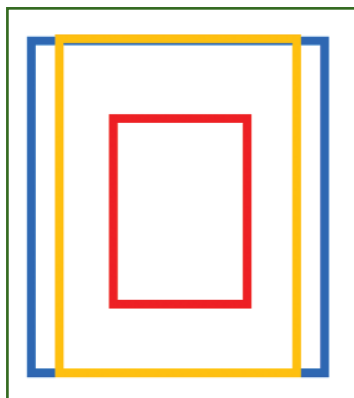


Рис. 2

Размер снимков, полученных: среднеформатной камерой (область красного цвета); широкоформатной камерой (область синего цвета); камерой Phase One iXU-RS1900 (область желтого цвета)

временном увеличении количества снимков на 18–20%.

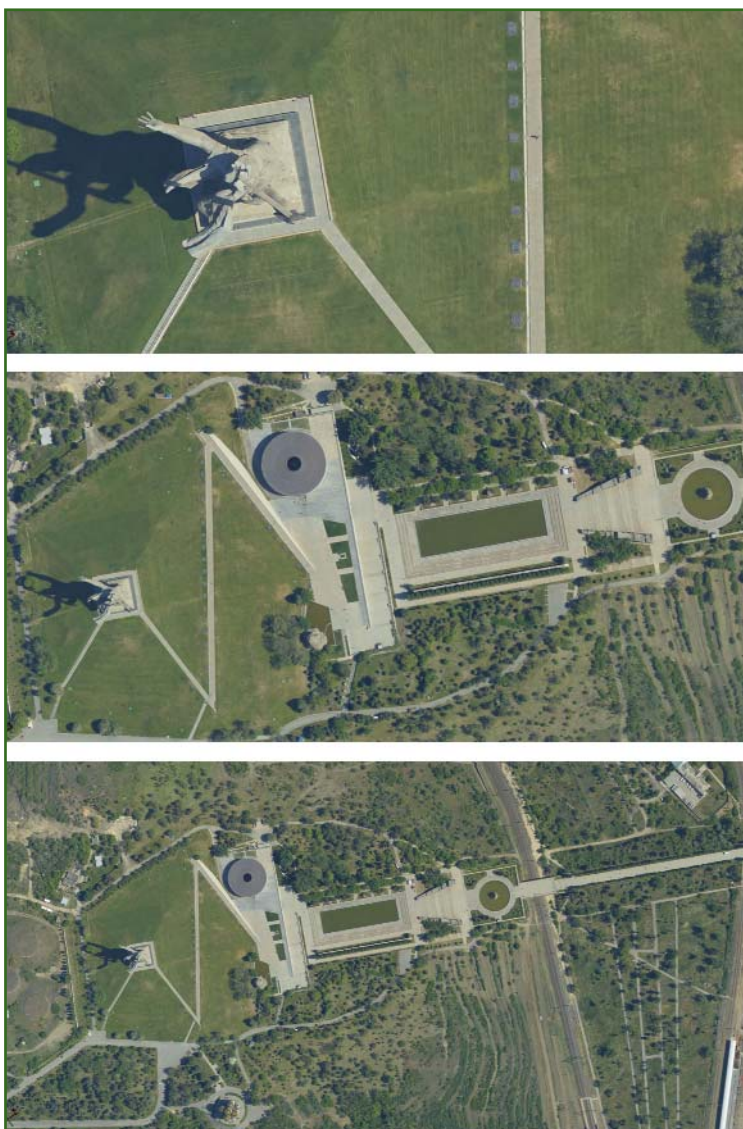
▼ **Объем работ, выполненных в 2018 г.**

АФС с помощью аэросъемочного комплекса Phase One 190MP, установленного в самолете АН-2, проводилась при наземной скорости 150–195 км/ч (80–105 узлов). За летно-съёмочный сезон в 2018 г. были выполнены следующие работы:

— аэрофотосъемка с разрешением на местности 10 см/пиксель и перекрытием 80х40% на площади более 2000 км<sup>2</sup> для создания цифровых ортофотопланов масштаба 1:2000 и нави-

гационных планов городов с населением более 1 млн человек методом стереотопографической съемки масштаба 1:2000. Фактическая площадь отснятой территории составила 3350 км<sup>2</sup>.

— аэрофотосъемка с разрешением на местности 15 см/пиксель и перекрытием 60х30% на площади около 10 000 км<sup>2</sup> для создания цифровых ортофотопланов территорий населенных пунктов масштаба 1:2000 и масштаба 1:10 000. Фактическая площадь отснятой территории составила 12 500 км<sup>2</sup> (рис. 3).



**Рис. 3**

Примеры аэроснимков разных масштабов, полученных с помощью комплекса Phase One 190MP

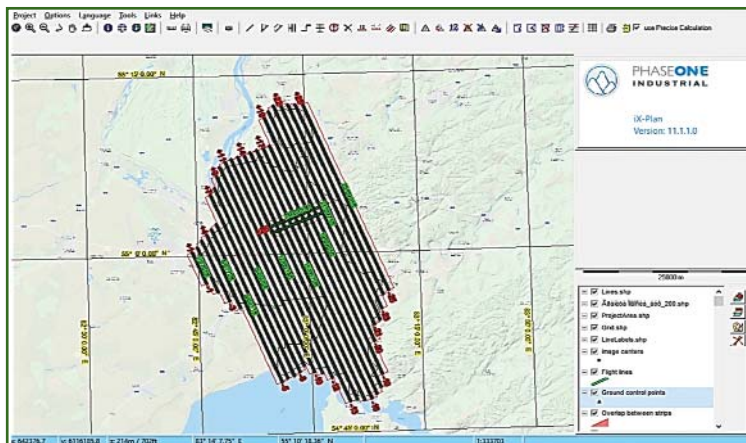
▼ **Использование программного обеспечения из состава аэросъемочного комплекса**

Планирование полета при АФС выполнялось при помощи программы iX Plan. Ее существенным преимуществом является возможность учета цифровой модели рельефа снимаемой местности, тем самым, исключается необходимость планирования аэросъемки с «запасом» в 2–3% по перекрытиям и до 5% — по разрешению на местности. Данное программное обеспечение оптимально подходит для планирования аэросъемки одиночных, значительных по площади объектов.

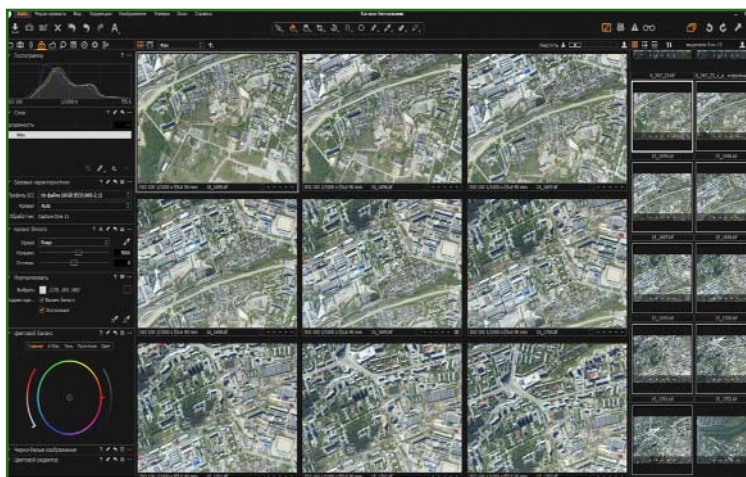
Навигация и управление комплексом во время полета осуществлялись программой iX Flight (рис. 4).

Программа iX Capture использовалась для управления работой камеры, задания экспозиции и светочувствительности в зависимости от освещенности во время полета и для обработки исходных снимков в камеральных условиях. «Сшивка» двух снимков (левого и правого) в единое изображение осуществлялась автоматически. Совместно с объединением изображений выполнялся процесс автоматического исключения дисторсии и запись конечного изображения в формате TIFF.

Программа Capture One, предназначенная для цветокоррекции снимков, использовалась в камеральных условиях (рис. 5). Коррекция полученных изображений проводилась по гистограмме и тоновым кривым таким образом, чтобы обеспечить наилучшее воспроизведение полутонов без отсечек в области теней, светлых и средних тонов. После обработки все аэрофотоснимки сохранялись в формате TIFF, в диапазоне RGB и с радиометрическим разрешением 8 бит на пиксель.



**Рис. 4**  
Визуализация навигации полета в программе iX Plan



**Рис. 5**  
Пример выполнения цветокоррекции снимков в программе Capture One

Если во время аэросъемочных работ борт-оператор проводит визуальный контроль качества аэрофотоснимков и оперативно вносит изменения в экспозицию в зависимости от освещенности и времени светового дня, то дополнительная коррекция изображений практически не требуется.

#### ▼ Контроль материалов аэрофотосъемки

Важным этапом АФС является контроль полученных снимков, которые должны соответствовать требованиям ТЗ и иметь удовлетворительное визуальное качество. Данный этап работ выполнялся с помощью программ Capture One и ЦФС PHOTOMOD.

При контроле было установлено, что на всех снимках отсутствуют дефекты, полосы, смазы и пятна, также они обладают достаточной и однородной резкостью по всему полю. Полученные изображения имели незначительно разную тональность, что является следствием проведения АФС в различных условиях. Выявленная разность тональностей изображений не повлияла на автоматические процессы при использовании коррелятора в ЦФС PHOTOMOD, а при изготовлении цифровых ортофотопланов это исключалось путем применения настроек глобального и локального выравнивания яркости.

Дополнительная оценка качества материалов аэрофотосъемки проводилась визуально в ПО Capture One по общепринятым критериям, основным из которых является гистограмма. Помимо проработки теней и светлых областей для цветных изображений, необходимо анализировать их сбалансированность, часто выражающуюся в правильном воспроизведении серых тонов. Хорошо сбалансированные изображения имеют почти совпадающие гистограммы в каналах красного, зеленого и синего цветов. Сдвиг гистограммы в одном из цветовых каналов приводит к появлению так называемого «нацвета» или, другими словами, к тонированию всего изображения цветом этого (или дополнительного к нему) канала, что ухудшает качество изображения.

В результате выборочного визуального осмотра и анализа гистограмм и тоновых кривых снимков в программе Capture One был сделан вывод об удовлетворительных дешифровочных свойствах изображений. На аэрофотоснимках хорошо определялись объекты:

- линейного характера (разметка на автодорогах и т. п., береговая линия водных объектов, наземные трубопроводы и т. д.);

- локального характера (опоры и столбы ЛЭП и тени от них, люки подземных инженерных коммуникаций на застроенных территориях, детали крыш зданий, разметка пешеходных переходов на автодорогах и т. п.).

#### ▼ Обработка в ЦФС PHOTOMOD

Фотограмметрическая обработка всех снимков, полученных аэросъемочным комплексом Phase One 190MP, выполнялась специалистами отдела цифровой фотограмметрии АО «Уралгеоинформ» и других предприятий АО «Роскартография».

Обработка изображений осуществлялась в ЦФС PHOTOMOD в

той же последовательности, что и снимков, получаемых с помощью любых других цифровых аэросъемочных камер:

- проводилось внутреннее и взаимное ориентирование в автоматическом режиме;

- осуществлялся поиск связующих точек с использованием стандартного режима ЦФС РНОТОМОД, связи определялись в полном объеме с ручной коррекцией;

- фотограмметрический блок уравнивался по центрам фотографирования и точкам плано-высотного обоснования, которые были определены с точностью, удовлетворяющей [2];

- создавался цифровой ортофотоплан в масштабе 1:2000.

Общий объем цифровых ортофотопланов масштаба 1:2000 составил 6100 номенклатурных листов.

Что касается трудозатрат на фотограмметрическую обработку материалов аэросъемки, выполненной с помощью комплекса Phase One 190MP, то они абсолютно соизмеримы с традиционной обработкой данных, полученных любыми другими камерами. Все фотограмметрические процессы аналогичны и трудозатраты для них рассчитываются классическими методами.

#### ▼ Построение трехмерной модели земной поверхности по плотному облаку точек в ЦФС РНОТОМОД

В настоящее время специалисты АО «Уралгеоинформ» активно осваивают приобретенное аэросъемочное оборудование и проводят различные тестовые и экспериментальные работы на основе материалов аэрофотосъемки.

В качестве эксперимента с помощью комплекса Phase One 190MP была выполнена аэрофотосъемка с высоты в 500 м с разрешением на местности

3 см/пиксель. Перекрытие составило 80x40%. С использованием новых возможностей ЦФС РНОТОМОД 6.4 была получена плотная трехмерная модель местности — аналог облака точек лазерного сканирования. Плотность облака точек модели сопоставима с геометрическим разрешением материалов аэрофотосъемки.

Плотное облако точек, построенное фотограмметрическим способом, было обработано в программе Terrasolid Terra Scan для исключения шумов и «дрожания» поверхности. По очищенной от шумов модели была построена поверхность, путем автоматической классификации точек и отнесения нужных из них к классу «Земля». Плотность полученного облака точек позволила создать трехмерную модель земной поверхности с детализированными формами рельефа.

Построенные в автоматическом режиме горизонталы с сечением рельефа 1 м и 0,5 м были проанализированы и проверены в стереорежиме на предмет точности интерполяции земной поверхности. Проверка показала, что полученные в автоматическом режиме горизонталы аппроксимируют формы рельефа с высокой детализацией и удовлетворяют требованиям инструкции [2] в отношении средних погрешностей съемки рельефа для данного типа местности.

Такие горизонталы могут использоваться в качестве дополнительного материала при стереотопографической съемке рельефа. Кроме того, с помощью созданной плотной трехмерной модели местности возможно решение различных инженерных задач, таких как:

- аэродиагностика объектов электросетевого хозяйства, например, определение стрелы провеса проводов между опорами линий электропередачи для своевременного предотвраще-

ния аварийных отключений электроэнергетики;

- определение геометрических пространственных характеристик и состояния дорожного покрытия для ремонта и реконструкции;

- мониторинг территорий горнодобывающих предприятий (определение размеров открытых выработок и объемов горных пород и др.).

#### ▼ Построение истинного ортофотоплана по плотному облаку точек в ЦФС РНОТОМОД

Были протестированы возможности ЦФС РНОТОМОД 6.4 для создания истинного ортофотоплана по материалам АФС, выполненной комплексом Phase One 190MP.

Истинный ортофотоплан — это фотоплан, на котором все объекты, в том числе и высотные строения, отображаются строго в ортогональной проекции (вид сверху) (рис. 6).

В качестве исходных данных для создания истинного ортофотоплана используются множественные изображения объекта с разных ракурсов. Это возможно лишь при аэрофотосъемке со значительным продольным и поперечным перекрытием. Для создания истинного ортофотоплана рекомендуется перекрытие 90x90%. В нашем

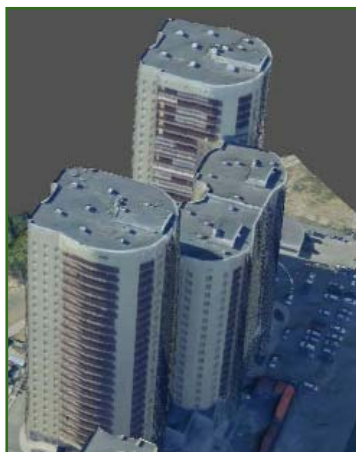


Рис. 6  
Пример фрагмента истинного ортофотоплана

случае аэросъемка для создания цифрового ортофотоплана на город с численностью 1 млн человек в масштабе 1:2000 выполнялась с перекрытием 80x40%.

В качестве объекта тестирования был выбран жилой дом, высотой 80 м. Изготовленный истинный ортофотоплан, действительно, освобожден от слепых зон, прилегающая к дому территория полностью доступна для просмотра и не закрыта завалом. Очертания крыш и контурной части здания сохранены.

В ходе изучения вопроса по построению истинного ортофотоплана была изготовлена трехмерная модель дома, выбранного для эксперимента (рис. 7). При подборе оптимальных программных установок можно получить твердотельную модель исследуемого объекта с прорисованными текстурами. В дальнейшем, метрическая трехмер-



**Рис. 7**  
Метрическая трехмерная модель дома, выбранного для эксперимента

ная модель может быть импортирована в любое программное обеспечение для проектирования по технологии информационного моделирования или построения реалистичной трехмерной модели города для решения градостроительных и управленческих задач.

В заключение следует отметить, что в целом аэрофотосъемочный комплекс Phase One 190MP успешно прошел производственные испытания, для всех проблем, возникающих во время эксплуатации, найдено оптимальное решение, как со стороны специалистов АО «Уралгеоинформ», так и компании Phase One Industrial.

Качество выходной продукции полностью соответствует нормативно-технической документации и позволяет решать разнообразные задачи в области дистанционного зондирования Земли.

#### ▼ Список литературы

1. Райзман Ю.Г. Принципы съемки и анализ производительности аэросъемочной системы PAS190MP // Геопрофи. — 2018. — № 5. — С. 38–43.
2. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. — М.: ЦНИИГАиК, 2002.

# PHOTOMOD™



АО «Ракурс», Россия, Москва  
8 (495) 720 51 27, info@racurs.ru, http://racurs.ru  
«Интерэкспо ГЕО-Сибирь 2019», Новосибирск, 24–26 апреля 2019 г., стенд Е 307.