

# ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ЦМР ПО МАТЕРИАЛАМ АЭРОФОТОСЪЕМКИ С БЛА «ГЕОСКАН 101»

**И.В. Оньков** (ЗАО «Мобиле», Пермь)

В 1970 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономогеодезия». После окончания института работал в Степногорском управлении строительства, с 1974 г. — в Пермском политехническом институте, с 1989 г. — в Горном институте УрО АН (Пермь), с 1993 г. — в Частном предприятии по созданию цифровых карт, с 1995 г. — в филиале «Госземкадастрсъёмка» — ВИСХАГИ (Пермь), с 2000 г. — в Пермском филиале ООО «Недра» (Челябинск), с 2002 г. — в ООО «ПермНИПИнефть», с 2006 г. — в ООО «Тримм». С 2011 г. работает в ЗАО «Мобиле», в настоящее время — научный консультант. Кандидат технических наук.

**А.В. Гормаш** (Верхнекамский трест инженерно-строительных изысканий, Пермь)

В 2000 г. окончил горно-нефтяной факультет Пермского государственного технического университета с квалификацией «инженер» по специальности «прикладная геодезия». После окончания университета работал в Группе предприятий «УралГео» (Пермь). С 2011 г. работает в ОАО «Верхнекамский трест инженерно-строительных изысканий», в настоящее время — главный геодезист.

Аэрофотосъемка местности, осуществляемая с беспилотных летательных аппаратов (БЛА), в настоящее время является эффективным решением задач картографирования территорий, имеет преимущества перед традиционной наземной съемкой и в ряде случаев способна заменить ее при создании и обновлении топографических планов крупных масштабов [1]. В этом случае к точности отображения контуров и высот на топопланах предъявляются достаточно высокие требования, определяемые действующими нормативными документами [2].

В связи с этим определен практический интерес представляет оценка точности высот цифровых моделей рельефа (ЦМР) и цифровых моделей местности (ЦММ), созданных по материалам аэрофотосъемки с БЛА с использованием современных компьютерных методов фотограмметрической обработки снимков [3].

В статье приведены результаты исследования точности ЦМР

участка автодороги между населенными пунктами Сосново и Дедушкино Чайковского района Пермского края, полученной по материалам аэрофотосъемки с БЛА «Геоскан 101» [4].

Автодорога, протяженностью около 5 км, располагалась на равнинной местности с углами наклона менее 2°. Ширина полосы съемки составляла около 170 м. Так как работы проводились поздней осенью, и влияние высоты травяного покрова было незначительным, построенная модель местности (ЦММ) рас-

сматривалась как модель рельефа (ЦМР).

Аэрофотосъемка выполнялась по четырем маршрутам с параметрами, приведенными в табл. 1. Для определения координат центров фотографирования использовался геодезический приемник GPS, установленный на БЛА.

Наземная планово-высотная подготовка аэрофотосъемки включала создание и закрепление на местности опорной геодезической сети из 7 пунктов, расположенных вдоль трассы автодо-

**Параметры аэрофотосъемки**

**Таблица 1**

Наименование параметра	Значение
Площадь съемки, км <sup>2</sup>	0,83
Средняя высота полета, м	114
Количество снимков	1327
Тип камеры	NEX-5T
Фокусное расстояние объектива камеры, мм	20
Размер снимка, пиксель	4912x3264
Перекрытие, %	70x40
Разрешение на местности, см/пиксель	1,7

роги, и вычисление координат и высот опорных точек (опознаков). Координаты и высоты пунктов опорной геодезической сети были определены от двух пунктов триангуляции ГГС из ГНСС-наблюдений, координаты и высоты 105 опознаков — от пунктов опорной сети наземными геодезическими методами (рис. 1).

Один из пунктов опорной сети с установленным на нем приемником ГНСС использовался как базовый, для определения координат центров фотографирования.

Для маркировки опознаков применялись белые пластико-

вые тарелки диаметром около 20 см, которые хорошо распознаются на снимках (рис. 2).

По результатам обработки материалов аэрофотосъемки в ПО Agisoft PhotoScan [5] был построен ортофотоплан в формате JPG с разрешением на местности 2 см/пиксель и цифровая модель местности с шагом 1,0 м в виде текстового файла матрицы высот размером 3209x2563 (рис. 3).

Для независимой оценки точности высот ЦМР использовались данные наземной тахеометрической съемки автодороги масштаба 1:500, выполненной в период проведения аэросъе-

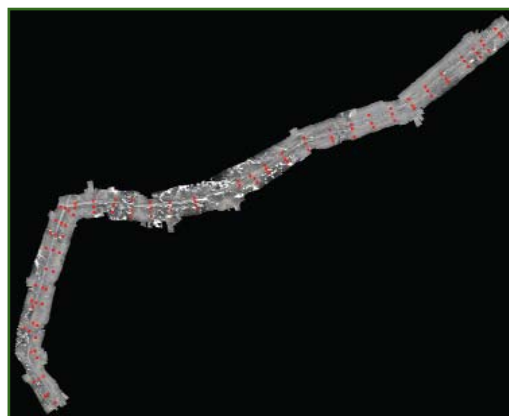


Рис. 1  
Схема размещения опознаков

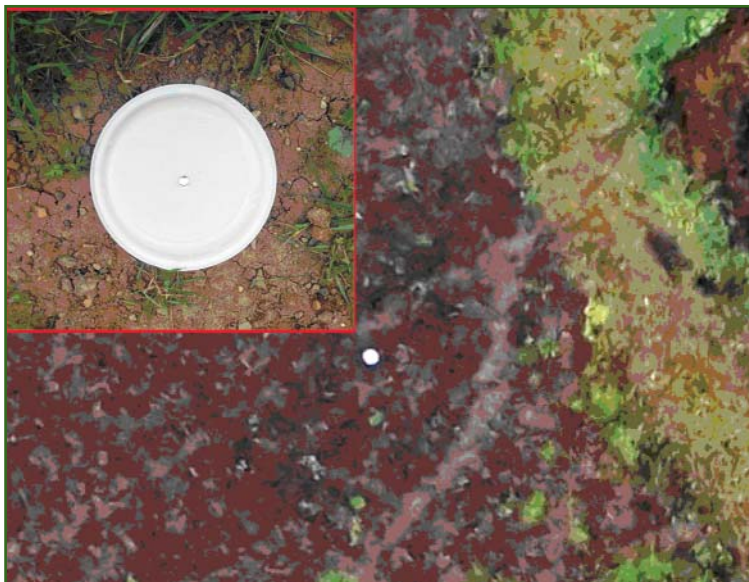


Рис. 2  
Пример маркировки опознаков

мочных работ. Из материалов топосъемки было отобрано 1037 пикетных точек рельефа земной поверхности, входящих в границу созданной ЦМР с отметками  $H_{\text{топо}}$ . Значения отметок цифровой модели рельефа ( $H_{\text{ЦМР}}$ ) в пикетных точках вычислялись путем интерполирования матрицы высот ЦМР двумерными полиномами, используя стандартные программы библиотеки численного анализа Вычислительного центра МГУ им. М.В. Ломоносова.

Разности отметок ЦМР и топографической поверхности земли в пикетных точках при оценке точности рассматривались как истинные погрешности ЦМР:

$$\Delta H = H_{\text{ЦМР}} - H_{\text{топо}}$$

Для выявления точек, находящихся вблизи границы соз-

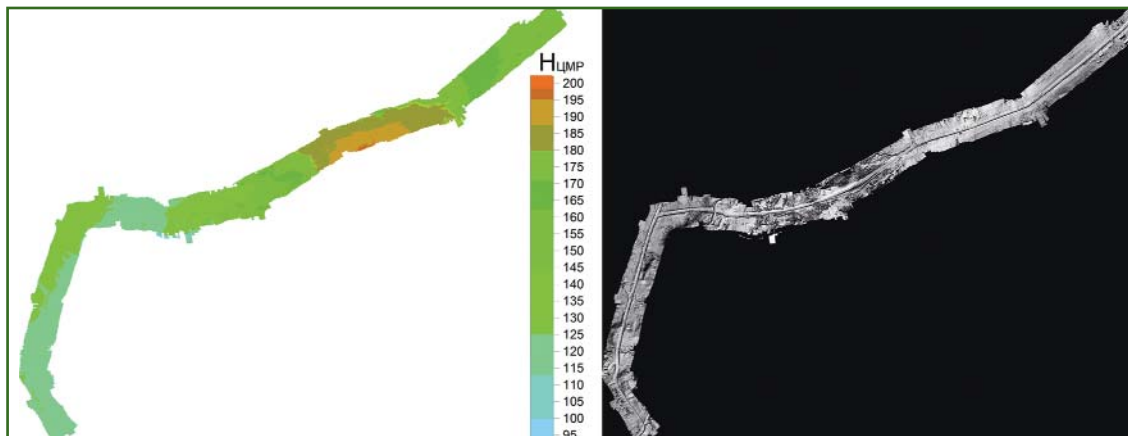


Рис. 3  
Графическое отображение ЦМР в тоновом (слева) и рельефном (справа) видах



Рис. 4

Плановое положение контрольных точек вдоль трассы автодороги

данной ЦМР или вблизи высоких сооружений, сравнивались результаты интерполирования матрицы высот полиномами первой, второй и третьей степеней. Если разность отметок

между результатами интерполирования превышала 0,05 м, то такие точки из обработки исключались. Всего для оценки точности в качестве контрольных было отобрано 819 пикетных точек, положение которых приведено на рис. 4.

Основными показателями точности высот ЦМР служили следующие параметры:

— среднее значение разности высот ЦМР и пикетных точек (систематическая ошибка) —  $\Delta H_{\text{ср.}}$ ;

— средняя квадратическая погрешность (Root Mean Square Error) —  $RMSE_{\Delta H}$ ;

— средняя абсолютная погрешность (Mean Absolute Error) —  $MAE_{\Delta H}$ ;

— вероятная линейная ошибка (Linear Error) —  $LE_{90\Delta H}$ ;

— минимальное ( $\Delta H_{\text{min}}$ ) и максимальное ( $\Delta H_{\text{max}}$ ) значения разностей высот.

Значения показателей точности ЦМР, вычисленные по разности отметок ( $\Delta H_i$ ) на этих точках, приведены в табл. 2.

Гистограмма на рис. 5 показывает, что эмпирическое распределение погрешностей высот ЦМР достаточно хорошо соответствует закону нормального распределения, график плотности которого выделен красным цветом.

В соответствии с инструкцией [2] средние ошибки съемки рельефа относительно ближайших точек геодезического обоснования не должны превышать по высоте 1/4 принятой высоты сечения рельефа при углах наклона местности до 2° или 0,25 м для высоты сечения рельефа 1 м.

Принимая во внимание, что значение средней погрешности высоты ЦМР составило 0,16 м и не превышает допустимого в 0,25 м, можно сделать вывод о возможности использования ЦМР автодороги Сосново — Дедушкино, полученной по материалам аэрофотосъемки с БЛА «Геоскан 101», для создания и обновления топографических планов с высотой сечения рельефа 1,0 м.

#### ▼ Список литературы

1. Зинченко О.Н. Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования (часть 1). — [www.racurs.ru](http://www.racurs.ru).
2. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. ГКИНП-02-033-82. — М.: Недра, 1985. — 152 с.
3. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход: пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. — 928 с.
4. Аэрофотосъемочный комплекс «Геоскан 101». — <http://geoscan.aero>.
5. Руководство пользователя Agisoft PhotoScan: Professional Edition, версия 0.9.0. М.: AgiSoft LLC, 2012. — 21 с.

Показатели точности высот ЦМР		Таблица 2
Показатели точности	Значение, м	
$\Delta H_{\text{ср.}}$	0,02	
$RMSE_{\Delta H}$	0,22	
$MAE_{\Delta H}$	0,16	
$LE_{90\Delta H}$	0,35	
$\Delta H_{\text{min}}$	-0,74	
$\Delta H_{\text{max}}$	0,97	

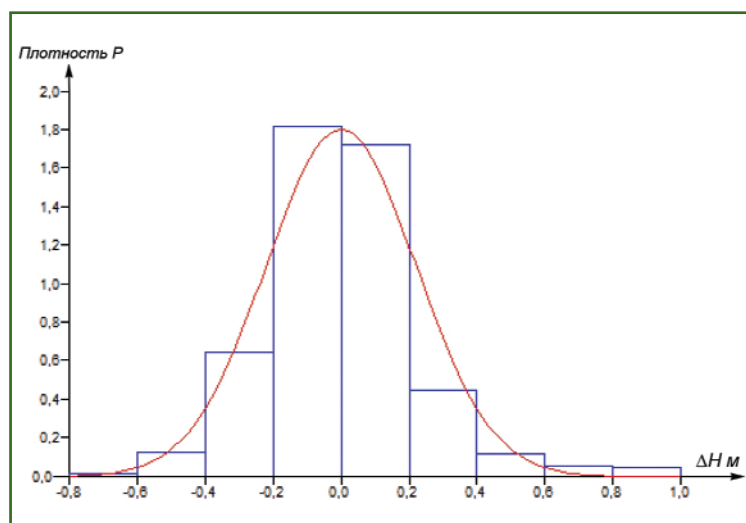


Рис. 5

Гистограмма распределения погрешностей высот ЦМР трассы автодороги