



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
**НПП ВИРГ-РУДГЕОФИЗИКА**

*virg-npp.ru, 8(812)309-98-39, 197348, Россия, Санкт-Петербург, Аэродромная д. 8 литер А, офис 244*

**АЭРОФОТОСЪЕМКА С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО  
АППАРАТА: РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНО-МЕТОДИЧЕСКИХ РАБОТ В  
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ МАЛЕТОВЯЯМСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ**

Приведены результаты аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата «Phantom 4 Pro», выполненной в опытно-методическом варианте на площади 7.5 км<sup>2</sup> в пределах Малетояямского золоторудного поля (полуостров Камчатка). Приведены ортофотоснимки и цифровые модели рельефа местности (ЦМР), полученные по результатам обработки полученных аэрофотоматериалов. По результатам выполненных работ показано, что использование БПЛА для аэросъемки позволяет составлять ортофотоснимки высокого разрешения (до 20 см в одном пикселе), а также цифровые модели рельефа местности (ЦМР) на площади в десятки квадратных километров в короткий срок при относительно низких трудозатратах.

В настоящей работе приводится сравнение ЦМР, построенных по данным аэрофотосъемки методом фотограмметрии, инструментальной топографо-геодезической съемки масштаба 1:1000 (ЦМР-И) и оцифровки высот рельефа местности с карт масштаба 1:50 000 (ЦМР-50). На основе этого мы показываем, что точность определения высот рельефа местности, определенных методом фотограмметрии по используемой технологии, составляет около ±2 м. Наши данные позволяют утверждать, что ЦМР, построенная по данным аэрофотосъемки методом фотограмметрии, имеет на порядок лучшую детальность, чем ЦМР-И, и на два порядка лучшую детальность, чем ЦМР-50.

### **Введение**

Аэрофотосъемка местности широко используется для решения прикладных задач в различных областях науки и техники, в том числе и геологии. На протяжении нескольких десятилетий на основе дешифрирования аэрофотоснимков высокого разрешения решают разнообразные структурно-картировочные задачи. Обычно аэрофотосъемку проводят со спутников или пилотируемых летательных аппаратов (самолетов и вертолетов). В настоящее время появилась альтернатива — малогабаритные беспилотные летательные аппараты (БПЛА), обеспечивающие высокую точность снимков, производительность работ, безопасность, а также возможность обследования труднодоступных участков и др.

Наша компания старается идти в «ногу со временем». Мы используем БПЛА для аэрофотосъемки участков работ, а также проводим их анализ различными методами. В настоящей работе представлены результаты аэрофотосъемки, выполненной в опытно-методическом варианте с БПЛА, в пределах Малетояямского золоторудного поля (полуостров Камчатка).

## Результаты опытно-методических работ

Съемка проведена в пределах Малетойваямского золоторудного поля Камчатки по сети регулярных маршрутов на высотах 120 – 220 м с помощью БПЛА — квадрокоптер «Phantom 4 Pro» (технические подробности съемки см. в [Приложении](#)). Работы проведены отрядом из 2-х человек. Площадь работ составила 7.5 км<sup>2</sup>. Длительность полевых работ — 1 неделя: 2 дня – создание сети опорных реперов, 4 дня – аэрофотосъемка, 1 день – ликвидация работ (вынос оборудования и реперов). По результатам обработки аэрофотоснимков местности был построен ортофотоплан (рис. 1) с высоким пространственным разрешением (25 см на пиксель).

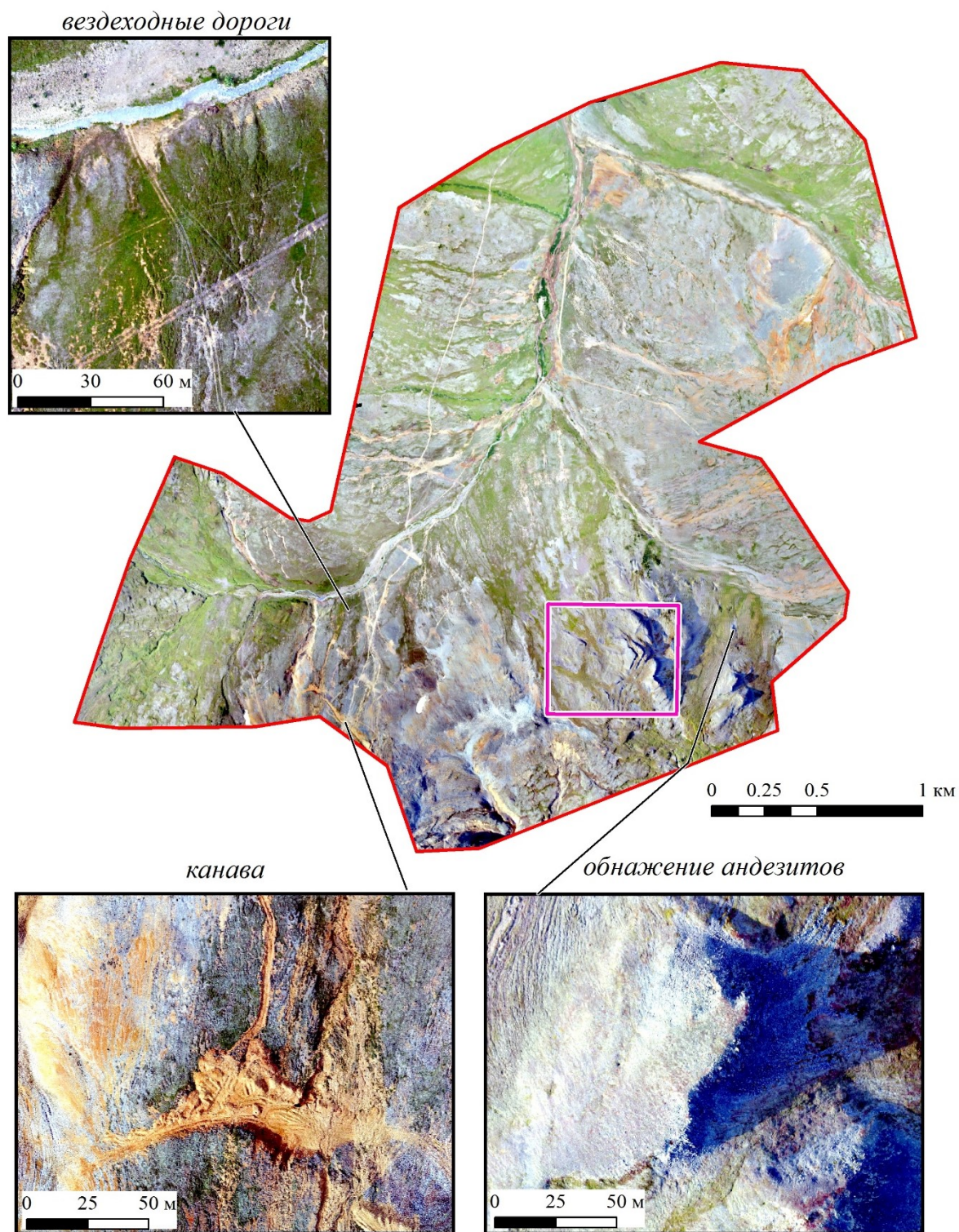
Кроме детальных ортофотоснимков по данным аэрофотосъемок с БПЛА можно строить цифровые модели рельефа местности (ЦМР), которые являются источником ценной информации о геологическом строении территорий.

На рисунке 2 приведена ЦМР, построенная по данным аэрофотосъемки с БПЛА (ЦМР-А) методом фотограмметрии, с пространственным разрешением 1 м (ЦМР-А на основе внешней увязки приведена к ЦМР, построенной по данным оцифровки изолиний высот местности с топографической карты масштаба 1:50 000 (ЦМР-50)).

Кроме того, возможно построение 3D видов местности используя ЦМР и аэрофотоснимки. В качестве примера на рисунке 3 приведена объемная модель местности участка, в пределах которого обнажаются покровы андезитов. Видна слоистая структура покрова вулканитов, а также образуемые ими уступы. Кроме того, анализ созданной 3D модели местности позволяет определить направление и углы падения пластов андезитов (падение на запад и юго-запад под углами 15 – 30°), выделить и определить ориентировку некоторых разрывных нарушений. Этот пример показывает какую информацию можно получить по данным аэрофотосъемки с БЛА в районах с хорошей обнаженностью.

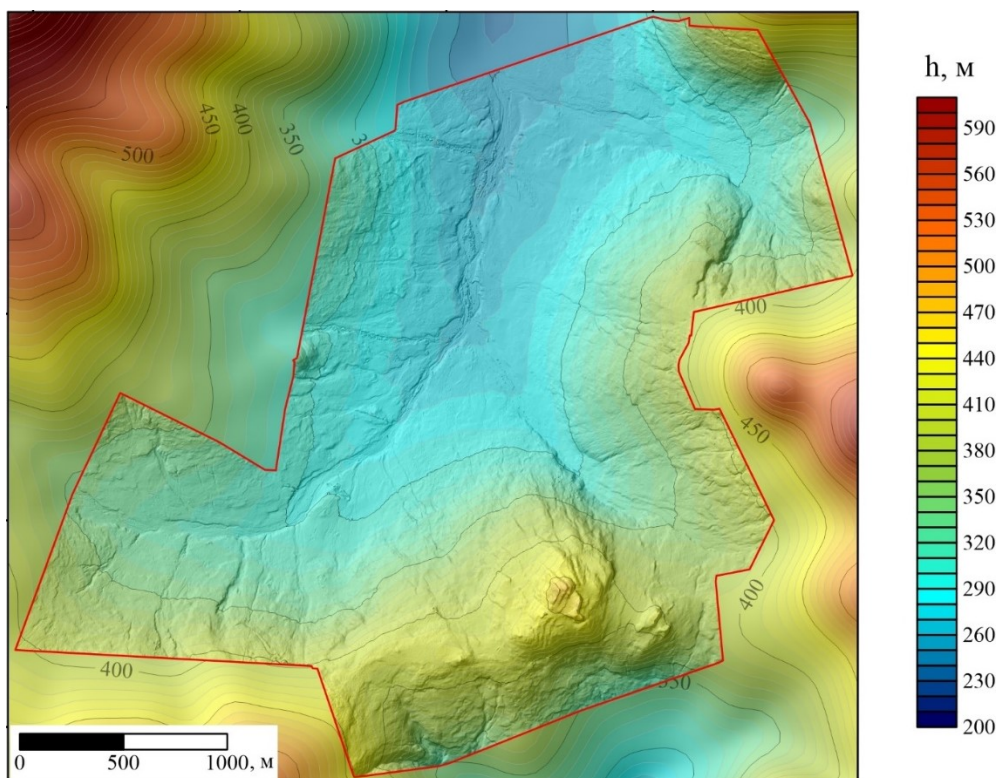
В пределах контура площади аэрофотосъемки, располагается участок, на котором ранее была проведена инструментальная топографо-геодезическая съемка масштаба 1: 1000 (расстояния между пунктами не более 30 м; точность определения высот местности  $\Delta h = \pm 10$  см). Эти данные мы использовали для оценки точности восстановления рельефа местности (h) по данным аэрофотосъемки (рис. 4). Мы сравнили ЦМР, созданные по данным аэрофотосъемки методом фотограмметрии (ЦМР-А) и инструментальной топографо-геодезической съемки (ЦМР-И), которая использовалась в качестве эталона. Стандартное отклонение h между ЦМР для всего участка составило  $\pm 2$  м (точность ЦМР-А можно увеличить определенными методическими приемами). Отметим, что точность ЦМР во многом зависит от ландшафтно-климатических условий (метеоусловий, типа растительного покрова, наличия снежников и др.). Мы полагаем, что для районов, в пределах которых отсутствует растительность, можно создавать ЦМР с ошибкой определения h менее  $\pm 0.5$  м.

Кроме того, сопоставление ЦМР-А и ЦМР-И, приведенное на рисунках 4 и 5, показывает, что детальность ЦМР-А на порядок выше чем ЦМР-И и на два порядка, чем у ЦМР-50.



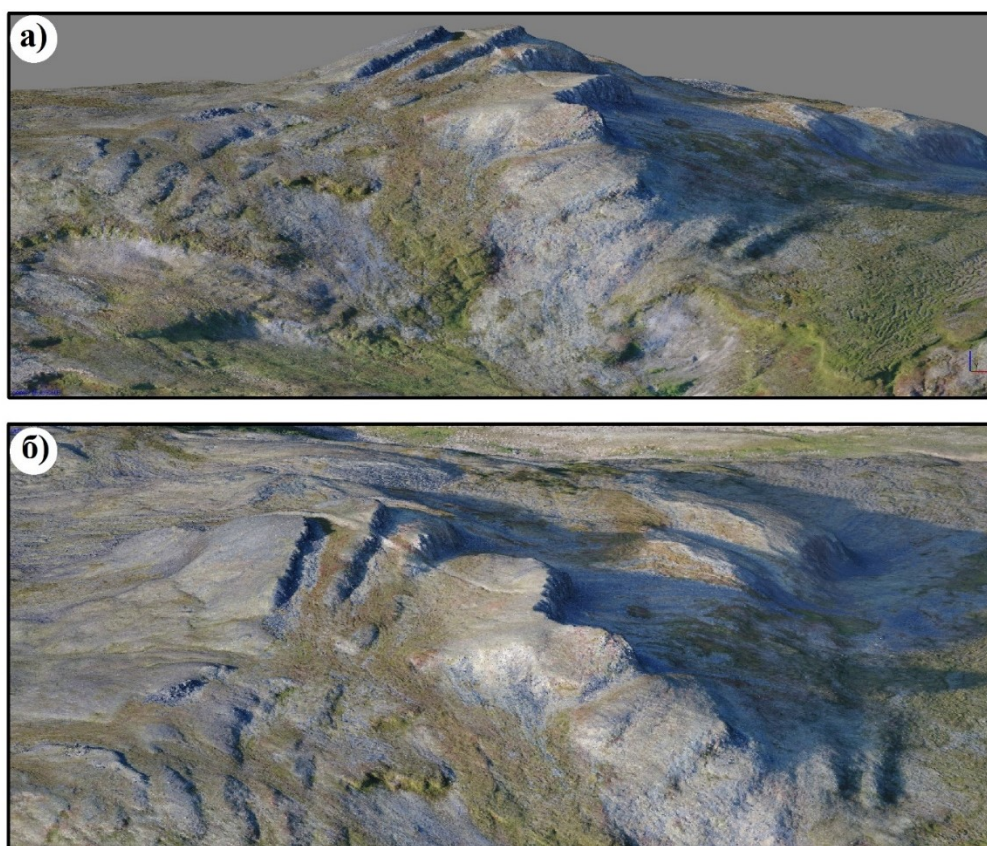
**Рис. 1. Ортофотоснимок местности (с детализацией).**





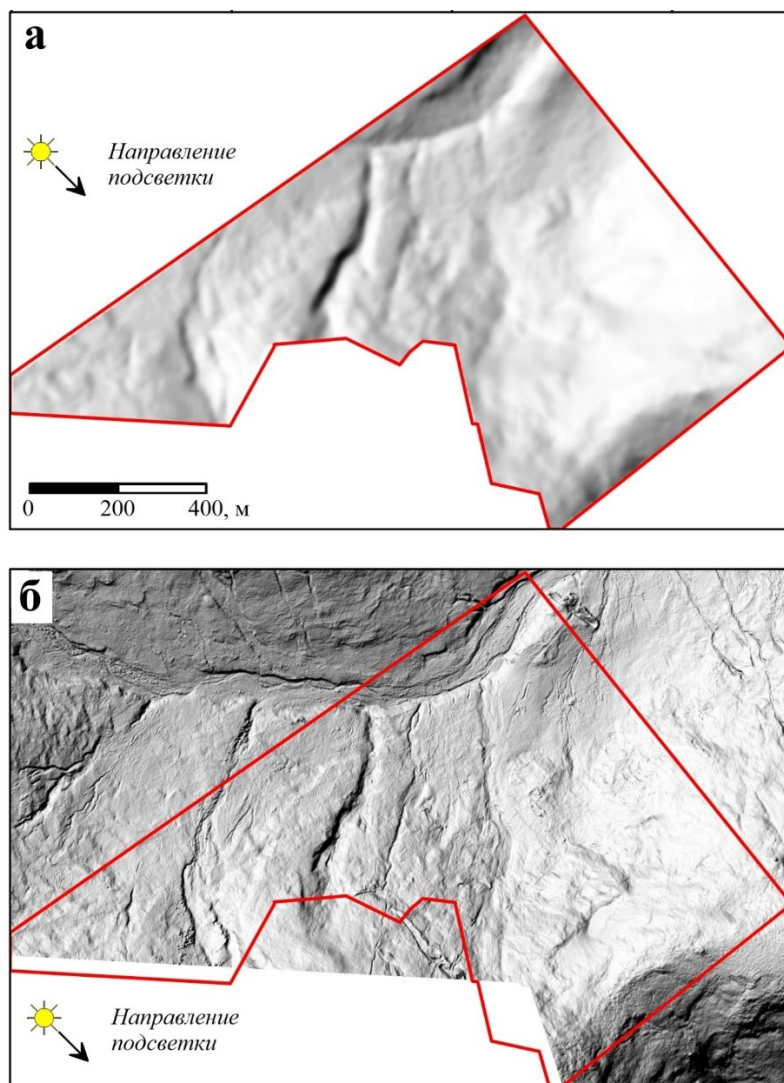
**Рис. 2. Цифровая модель рельефа местности, построенная по данным аэрофотосъемки с БПЛА методом фотограмметрии.**

*Красной линией показан контур, в пределах которого выполнена аэрофотосъемка.*



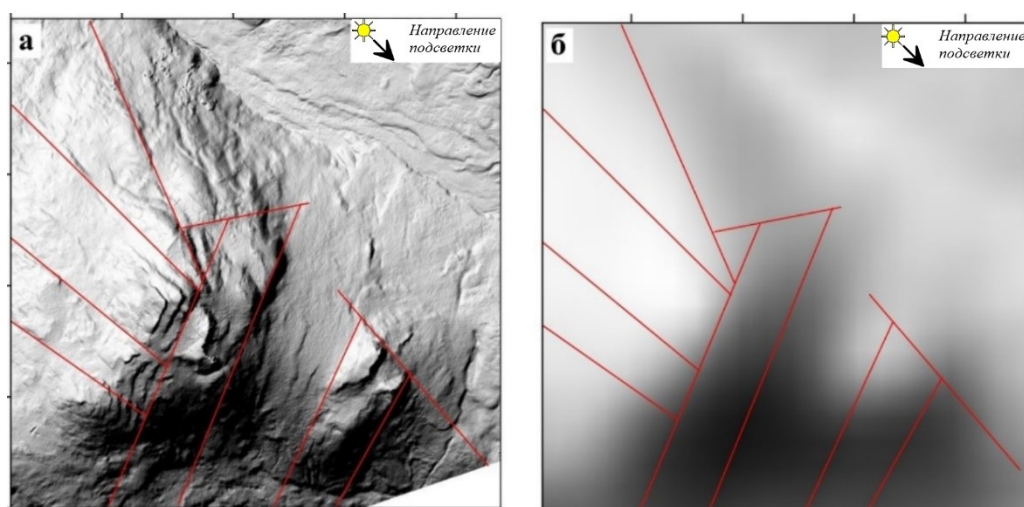
**Рис. 3. Объемная модель участка местности, в пределах которого обнажаются покровы андезитов (пространственное положение указано на рис. 1 розовым контуром).**

*Объемные модели местности в аксонометрической проекции: а, б — вид с разных позиций.*



**Рис. 4.** Цифровая модель рельефа местности с теневой подсветкой для участка, в пределах которого выполнена детальная топографо-геодезическая съемка.

*Цифровая модель рельефа местности, построенная по данным: а — инструментальной топографо-геодезической съемки (ЦМР-И); б — данным аэрофотосъемки с БПЛА методом фотограмметрии (ЦМР-А).*



**Рис. 5.** Цифровая модель рельефа местности с теневой подсветкой, составленная по данным аэрофотосъемки (а) и изолиниям высот рельефа местности, оцифрованным с топографической карты масштаба 1:50 000 (б).

*Красными линиями выделены линеаменты, отвечающие разрывным нарушениям. Пространственное положение участка, для которого построены ЦМР, приведено на рис. 1 розовым контуром.*



Последнее обусловлено разной пространственной плотностью исходных данных: в первом случае (ЦМР-А) значения  $h$  определены по сети  $1 \times 1$  м, во втором случае (ЦМР-И) — по сети  $30 \times 30$  м, а третьем случае (ЦМР-50) — по сети  $50 \times 50$  м.

В частности, на ЦМР-А видны мелкие объекты, которые пропущены на ЦМР-И и ЦМР-50: шероховатости рельефа, протяженные линейные структуры естественного (тектонические нарушения) или техногенного происхождения (дороги, каналы, буровые площадки), уступы, валы и ложбины.

Например, на рисунке 5а приведен фрагмент ЦМР-А в пределах которого обнажаются скальные уступы, образованные коренными выходами андезитов. В его пределах выделяются линейные уступы СЗ простирания, обусловленные тектоническими нарушениями. Сопоставив ЦМР-А с ЦМР-50 можно видеть, что отмеченные особенности рельефа местности не отражаются на ЦМР-50 (рис. 5).

### **Выводы**

По результатам анализа аэрофотоматериалов показано, что аэрофотосъемка с БПЛА позволяет получить не только аэрофотоснимки высокого разрешения, но и детальную ЦМР участков площадью в десятки квадратных километров в короткий срок при относительно низких трудозатратах.

В ряде случаев анализ аэрофотоматериалов, полученных с применением БПЛА, позволяет получить множество полезной геологической информации, на основе которой можно проводить структурное и геологическое картирование территорий.

На примере выполненной аэрофотосъемки было показано, что выходы коренных пород, элювиальные развалы пород различного вещественного состава, четвертичные отложения и разрывные нарушения уверенно выделяются на ортофотоснимках местности и ЦМР.

Мы считаем, что аэрофотосъемку с БПЛА нужно включать в комплекс поисково-картировочных методов, для районов с хорошей «дешифрируемостью» и слабо развитым растительным покровом.

Наш опыт показал, что комплексирование аэрофотосъемки с БПЛА, повышает качество и достоверность геологической интерпретации геолого-геохимических и геофизических материалов.

## *Приложение*

### *Технические параметры аэрофотосъемки с БПЛА*

Аэрофотосъемка выполнялась в опытно-методическом варианте по сети регулярных маршрутов на высоте 120 – 220 м БПЛА — квадрокоптер «Phantom 4 Pro». На подготовительном этапе участок аэрофотосъемки был разделен на полигоны площадью от 0.8 до 1.9 км<sup>2</sup> таким образом, чтобы в пределах каждого полигона разность высот рельефа местности не превышала 70 м (использовалась ЦМР-50). Расстояния между снимками задавались так, чтобы они перекрывали друг друга: на одном маршруте фронтальное перекрытие составляло 90 %, на соседних маршрутах латеральное перекрытие составляло 60 %. Выбранная методика работ позволила делать снимки с плановым разрешением менее 10 см на пиксель. Для пространственной привязки снимков на площади работ было установлено 13 реперов (в среднем 1 репер на 0.6 км<sup>2</sup>), пространственные координаты которых определены с помощью высокоточного радиогеодезического комплекса «Leica GS10». Точность пространственного позиционирования реперов составила  $\pm 10$  см.

### *Методика обработки аэрофотоматериалов*

Обработка комплекта аэрофотоснимков проводилась в следующей последовательности. Сначала в программе «VisualSFM 0.5.26» выполнялось уточнение положения снимков (выравнивание камер) и построение «плотного» облака точек. Затем с помощью программы «MeshLab 2016» создавались трехмерная модель рельефа местности и растровый ортофотоплан. На заключительном этапе проводилась привязка ортофотоплана в «ArcMap 10.1», используя опорные реперы.