

**А.В. Беленов** (Компания «Совзонд»)

В 1996 г. окончил Санкт-Петербургское высшее военно-топографическое командное училище по специальности «аэрофотогеодезия». После окончания училища проходил службу в 29-м НИИ МО РФ. С 2001 г. работал в ЦПГ «Терра-Спейс». В настоящее время – главный инженер компании «Совзонд».

## Спутниковая стереосъемка – доступный источник высотной информации

На рынке геопространственной информации в России в последнее время появляется все больше новых предложений, качественно отличающихся от привычного создания цифровых карт и планов, как по своему содержанию, так и по возможным областям использования выходной продукции. К таким предложениям можно отнести работы по созданию цифровых моделей рельефа (ЦМР) и трехмерных цифровых моделей местности (ЦММ). Информация о рельефе местности или модель поверхности достаточно широко востребованы при реализации большого числа проектов, базирующихся на геоинформационных системах.

Основным источником данных при создании таких моделей принято считать материалы аэросъемок или данные воздушного лазерного сканирования. Безусловно, последние обладают более высоким потенциалом в плане детальности и точности создаваемых моделей. Но все-таки следует отметить, что для некоторых территорий выполнить такую съемку зачастую практически невозможно по причине ограничений, накладываемых на проведение полетов над данной территорией, да и не всегда необходима высокая точность и детальность. Естественно, определенную роль играет временной и экономической показатель.

Возможности оптико-электронной съемочной аппаратуры, установленной на борту космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), позволяют решать задачу создания трехмерных ЦММ, которые, в свою очередь, являются альтерна-

тивной привычной двумерной информации в виде планов и карт.

Большинство космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли оснащены аппаратурой, позволяющей выполнять съемку в стереоскопическом режиме с одного витка, путем уклонения оси визирования или используя дополнительные объективы, установленные под углом относительно надира (рис. 1).



Рис. 1.  
Основные способы стереоскопической съемки

Съемка в стереорежиме первым способом характерна для КА, предоставляющих данные сверхвысокого разрешения, таких как IKONOS, WorldView-1 и GeoEye-1. Второй – применяется на космических аппаратах ALOS, SPOT-5, CARTOSAT-1 и ASTER, позволяющих получать данные высокого и среднего разрешения. Первый и второй тип стереосъемки называют конвергентным, он характеризуется соотношением базиса к высоте фотографирования спутника или углом конвергенции.

Неоспоримое преимущество имеют КА, которые могут изменять угол конвергенции, что позволяет выдерживать заданную точность по высоте у получаемых моделей рельефа независимо от типа местности.

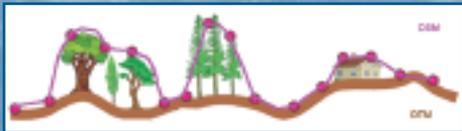


Рис. 2.  
Основные виды высотной информации

В настоящее время существует некоторая терминологическая путаница в зарубежных названиях продукции, содержащей высотное представление земной поверхности, в частности, по цифровым моделям поверхности (ЦМП) и цифровым моделям рельефа (ЦМР). Англоязычными аналогами ЦМП и ЦМР принято считать DSM (Digital Surface Model) и DTM (Digital Terrain Model). Первая модель включает в себя высоты всех точек на земной поверхности, а вторая – высоты рельефа или, как дополнение, высоты отдельных объектов местности. В то же время и первая и вторая модели являются DEM (Digital Elevation Model). На рис. 2 показана разница между двумя типами высотной информации.

В зависимости от вида высотной информации, которую необходимо извлечь, используя материалы космических съемок, применяют различные подходы к обработке стереопар – от полностью автоматизированного до ручного. Безусловно, при создании модели рельефа местности в основном используются полуавтоматические и ручные методы в ходе интерактивной обработки стереопары оператором. Данный вид обработки применяют к материалам космической съемки сверхвысокого пространственного разрешения, где интерактивная работа со стереопарой выполняется на современных цифровых стереоплоттерах.

Исходя из пространственного разрешения съемочной аппаратуры, созданные на базе стереопар цифровые модели можно условно разделить на 3 типа:

- высокодетальные (расстояние (шаг) между точками на местности, высоты которых определяются – 1-5 м);
- детальные (шаг на местности – 5-10 м);
- среднетдетальные (шаг на местности – 10-20 м).

Рассмотрим виды высотной информации, которую можно извлечь из данных некоторых современных коммерчески доступных стереопар космических снимков.

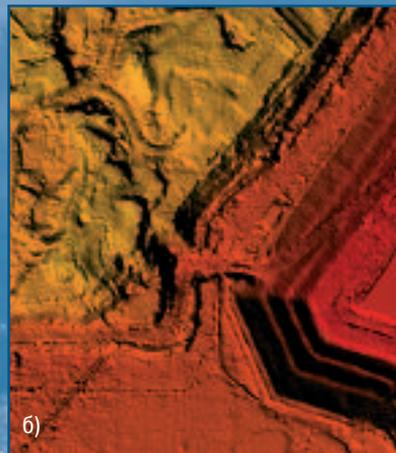
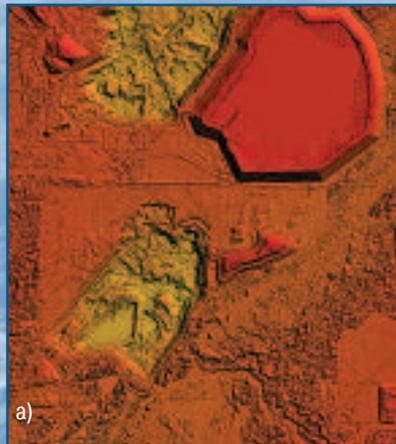


Рис. 3.  
Фрагмент цифровой модели поверхности, полученной по стереопаре с КА WorldView-1 с шагом на местности 1 м:  
а) опорные точки использовались;  
б) опорные точки не использовались

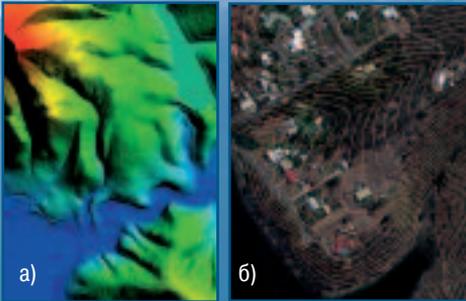


Рис. 4.  
Фрагмент цифровой модели рельефа, полученной по стереопаре с КА GeoEye-1 с шагом на местности 3 м:

- а) опорные точки использовались;
- б) опорные точки не использовались

В результате стереофотограмметрической обработки изображений с КА WorldView-1 могут быть получены цифровые модели местности с шагом от 1 до 5 м, созданные как с использованием наземных опорных точек, так и без них. На рис. 3 приведен фрагмент цифровой модели поверхности, полученной по стереопаре WorldView-1 с шагом на местнос-

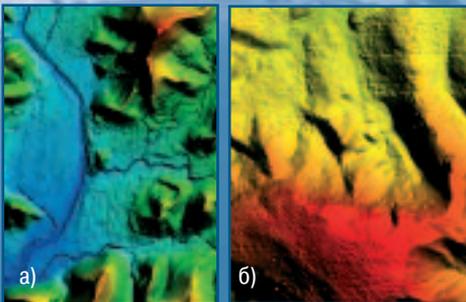


Рис. 5.  
Фрагмент цифровой модели рельефа, полученной по стереопаре с КА IKONOS-1 с шагом на местности 5 м:

- а) опорные точки использовались;
- б) опорные точки не использовались

ти 1 м с использованием опорных точек и без них. В первом случае точность полученной модели в плане составила 1 м, абсолютная точность по высоте – 1 м, а относительная точность по высоте – 1 м. Во втором случае, соответственно, – 5 м, 5 м и 1 м.

При фотограмметрической обработке стереопар с КА GeoEye-1 могут быть получены цифровые модели рельефа и местности с шагом от 1 до 5 м. На рис. 4 приведена цифровая модель рельефа, полученная по стереопаре GeoEye-1 с шагом на местности 3 м с использованием опорных точек и без них. В первом случае точность полученной модели в плане составила 0,8 м, абсолютная точность по высоте – 1 м, а относительная точность по высоте – 1 м. Во втором случае, соответственно, – 5 м, 3 м и 1 м.

В качестве примера на рис. 5 приведен фрагмент цифровой модели рельефа, полученной по стереопаре с КА IKONOS-1 с шагом на местности 5 м с использованием опорных точек. Точность созданной модели рельефа местности составила в плане 2,5 м, а абсолютная и относительная точность по высоте – 2 м.

Результатом обработки стереопар изображений с КА ALOS PRISM являются цифровые модели местности с шагом от 5 до 10 м, создаваемые как с использованием наземных опорных точек, так и без них. Рассмотрим фрагмент цифровой модели поверхности, полученной

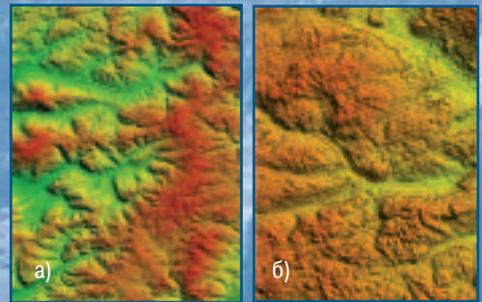


Рис. 6.  
Фрагмент цифровой модели поверхности, полученной по стереопаре с КА ALOS (PRISM) с шагом на местности 10 м:

- а) опорные точки использовались;
- б) опорные точки не использовались



Рис. 7.  
Фрагмент цифровой модели поверхности, полученной по стереопаре с КА SPOT-5 с шагом на местности 20 м:

- а) SPOT DEM;  
б) Reference 3D

по стереопаре с КА ALOS PRISM с шагом на местности 10 м (рис. 6). Полученная с использованием опорных точек цифровая модель рельефа имеет плановую точность 5 м, абсолютную и относительную точности по высоте 5 м. Если опорные точки не используются, то цифровая модель рельефа имеет точность в плане 10 м; абсолютную точность по высоте 8 м и относительную точность по высоте 5 м.

Компания SPOT Image предлагает готовые цифровые модели поверхности, созданные по стереопаре с КА SPOT-5 без использования опорных точек. На рис. 7 приведено два вида продукции: SPOT DEM и Reference 3D, полученной по стереопаре с КА SPOT-5 с шагом на местности 20 м. Точность этих моделей поверхности составляет:

- для SPOT DEM: 8-15 м (точность в плане), 6-12 м (абсолютная точность по высоте) и 6 м (относительная точность по высоте);
- для Reference 3D: 8 м (точность в плане), 6 м (абсолютная точность по высоте) и 6 м (относительная точность по высоте).

Высокодетальные цифровые модели рельефа обладают уникальным пространственным разрешением (шагом на местности) и значительными геометрическими характеристиками, такими как точность в плане и по высоте. Данные характеристики делают возможным применение этих моделей для построения горизонта-

лей при создании топографических карт в масштабе 1:25 000, у которых требования к точности по высоте составляют 1,6 м.

Высокая разрешающая способность стереопар космических изображений сверхвысокого пространственного разрешения как в плане, так и по высоте, позволяет создавать трехмерные модели городов, где совместно используются модель рельефа и модель объектов застройки в виде контуров крыш зданий, оцифрованных по стереопаре (рис. 8).

Детальные и среднетдетальные модели находят применение в картографических целях, в основном, при создании ортофотопланов или при генерации слоя горизонталей с сечением рельефа 20 м и более, что обусловлено методом их получения и низкой точностью по высоте, которая соизмерима с высотой большинства включенных в них высот объектов местности (зданий, растительности и т. д.).

Основное преимущество детальных и среднетдетальных моделей заключается в более высокой экономической эффективности их создания при реализации тематических проектов, так как их получение не требует интерактивной обработки стереопары в стереорежиме. Созданные в автоматическом режиме модели местности широко используются для анализа высоты растительного покрова, антропогенного воздействия на ландшафт, первичного проектировании протяженных объектов и трехмерной визуализации.

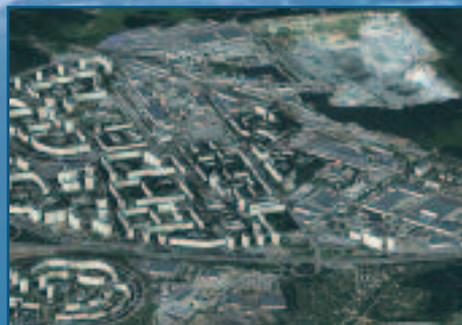


Рис. 8.  
Фрагмент цифровой модели местности, созданной по стереопаре с КА IKONOS