

## МЕТОДЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 528.721.28

Ю.Ф. Книжников<sup>1</sup>, Е.А. Балдина<sup>2</sup>ОСОБЕННОСТИ ВОСПРИЯТИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СТЕРЕОМОДЕЛИ НА ЭКРАНЕ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА<sup>3</sup>

Особенности наблюдаемой на экране персонального компьютера аэрокосмической стереомодели зависят не только от свойств исходных стереоснимков, но и от зрительной системы человека, и от расположения снимков при их рассматривании. С геометрической точки зрения наблюдаемая дешифровщиком стереоскопическая модель не только уменьшена по сравнению с действительностью, но и ее форма закономерно деформирована, что необходимо учитывать при визуальном дешифрировании.

*Ключевые слова:* аэрокосмические снимки, зрительная система человека, деформация стереоскопической модели местности.

**Введение.** Географы, геологи и другие специалисты, работающие с аэрокосмическими снимками, часто озабочены тем, где сейчас можно приобрести простейший стереоскоп для наблюдений стереоскопических снимков. Однако трудности не только в отсутствии линзово-зеркальных стереоскопов, которые были повсеместно распространены в недавнем прошлом, а скорее в том, что современные аэрокосмические снимки все чаще поступают в цифровом виде. В ближайшем будущем мы будем иметь дело только с цифровыми снимками, которые можно визуализировать и обрабатывать лишь на компьютере.

Как известно, в географии и других науках о Земле наиболее распространены двумерные информационные модели, поскольку горизонтальная протяженность географической оболочки значительно больше вертикальной. Однако с укрупнением масштаба исследований возрастает значение трехмерности окружающего мира. Поэтому географ, использующий аэрокосмические снимки, вынужден обратиться к более информативной пространственной стереоскопической модели.

**Постановка проблемы.** Стереоскопическая модель — субъективная реальность. Она формируется мозгом человека, поэтому особенности наблюдаемой стереоскопической модели зависят не только от свойств исходных стереоснимков, но и от зрительной системы человека и условий рассматривания снимков. Нам редко удается наблюдать ортоскопическую (подобную местности) стереоскопическую модель. С геометрической точки зрения визуально наблюдаемая человеком стереоскопическая модель не только уменьшена по сравнению с действительностью, но и ее форма закономерно изменена. Это влияет (как отрицательно,

так и положительно) на результаты визуального дешифрирования аэрокосмических снимков. Поэтому дешифровщику важно знать основные причины и закономерности искажений визуально воспринимаемой стереоскопической модели.

**Материалы и методы исследований.** Среди методов получения аэрокосмических стереоснимков выделим два основных — плановую аэросъемку, выполняемую кадровым аэрофотоаппаратом с высоты несколько километров, и космическую сканерную съемку, ведущуюся с высоты в несколько сотен километров по одному из вариантов схемы “вперед — в надир — назад”. При аэрофотосъемке стереоснимки получают в центральной проекции с продольным перекрытием в 60% аэрокамерой, снабженной нормальным или широкоугольным объективом, имеющим фокусное расстояние 200, 100 или 70 мм. При космической съемке цифровые стереоснимки получают в параллельно-центральной проекции [2] сканером, снабженным узкоугольным телеобъективом, имеющим фокусное расстояние 10—20 м, при отклонении направления съемки от надира до 30°.

Для наблюдения на экране персонального компьютера оцифрованных аэрофотоснимков или цифровых космических снимков используют 5 способов — оптико-бинокулярный, анаглифический, светозатворный, поляризационный и безочковый, которые были предложены еще в XIX в. Сейчас при их практической реализации применяют более десяти различных вариантов сепарации стереопарных снимков, т.е. обеспечиваются условия раздельного восприятия левого и правого снимков стереопары. На форму и положение воспринимаемой на экране персонального компью-

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, лаборатория аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики, гл. науч. с., докт. геогр. н.; e-mail: lakmmgu@yandex.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, лаборатория аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики, вед. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: baldina@geogr.msu.ru

<sup>3</sup> Выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 13-05-0057).

тера стереоскопической модели влияют такие факторы, как длина съемочного базиса  $B$  (или его значение  $b_c$  в масштабе снимка), фокусное расстояние съемочной системы  $f_c$ , высота съемки  $H$ , угол наклона снимков  $\alpha$ , глазной базис  $b_r$ , расстояние  $S$  между наблюдаемыми стереоснимками, расстояние  $d$  до наблюдаемой стереомодели<sup>4</sup> и др. Вариации каждого фактора приводят (правда, в разной степени) к изменениям геометрической формы и пространственного положения наблюдаемой стереомодели. Принято считать, что главной является вертикальная деформация стереоскопической модели. Здесь следует отметить, что наблюдаемые изменения формы и пространственного положения стереоскопической модели пока не удается достоверно представить в геометрическом и аналитическом виде, как это принято в фотограмметрии. Это объясняется тем, что стереоскопическая модель формируется зрительной системой человека, об особенностях работы которой пока имеется больше гипотез и догадок, чем достоверных знаний. К сожалению, на этот факт не обращают внимание в научной, а главное в учебной литературе, но его следует всегда иметь в виду, рассматривая формирование стереоскопической модели.

В традиционной стереофотограмметрии [4] для нормального случая плановой аэрофотосъемки вертикальную деформацию стереомодели  $\Delta$  принято представлять в виде

$$\Delta = \frac{1}{M_B} + \frac{1}{M_r} = \frac{db_c}{Hb_r} + \frac{f_c}{H} = \frac{db_c}{f_c b_r},$$

где  $1/M_B$  — вертикальный масштаб стереоскопической модели,  $1/M_r$  — масштаб модели в плоскости снимка (в плане).

Полагая  $b_c \approx b_r$ , получим простое соотношение

$$\Delta \approx \frac{d}{f_c}.$$

Отметим, что приводимое соотношение в прошлом веке служило дополнительным обоснованием целесообразности использования аэрофотоаппаратов с широкоугольными короткофокусными объективами конструкции М.М. Русинова для аэрофотосъемок равнинных территорий нашей страны, поскольку получаемая в результате стереомодель позволяла выявить микроформы рельефа.

Еще при аэрофотосъемке была установлена прямолинейная экспериментальная зависимость между вертикальной деформацией стереомодели  $\Delta$  и показателем съемки  $K = B/H$ , характеризующим угол заделки проектирующих лучей. Эту зависимость можно представить в виде

$$\Delta = CK,$$

где  $C$  — постоянный коэффициент. Специально поставленные эксперименты с аэрофотоснимками показали, что значениям  $K$ , равным 0,11; 0,22; 0,30 и 0,44, соответствуют деформации стереомодели  $\Delta$ , равные 0,7; 1,5; 2,0 и 2,9 [3]. Следовательно, для этих случаев значение постоянного коэффициента  $C$  получается равны 6,5; 7,0; 6,8 и 6,6. При космической сканерной стереосъемке сверхвысокого разрешения минимальное значение показателя съемки можно принять близким к единице, т.е.  $B \approx H$ . В этом случае, экстраполируя с определенной осторожностью зависимость между деформациями модели  $\Delta$  и показателем  $K$ , получим

$$\Delta \approx C.$$

Следовательно, для рассмотренного варианта космической сканерной стереомодели сверхвысокого разрешения минимальное преувеличение масштаба по вертикали составит не менее 6—7 раз, что не противоречит фактическим наблюдениям стереопар космических снимков сверхвысокого разрешения на равнинные и горные территории.

Итак, всегда можно ожидать, что вертикальная деформация космической сканерной стереомодели сверхвысокого разрешения окажется не меньше, чем у стереомодели, сформированной по аэрофотоснимкам, полученным камерой с широкоугольным объективом.

**Результаты исследований и их обсуждение.** На качественном уровне в общей деформации аэрокосмической стереомодели, сформированной на персональном компьютере, можно выделить три ее вида:

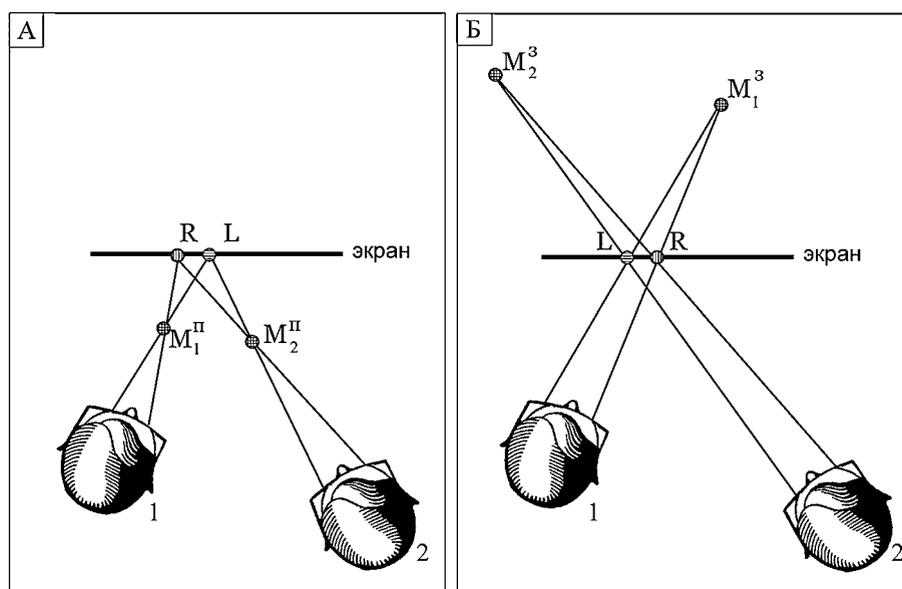
1) вертикальная деформация  $\Delta$  — утрирование или преуменьшение форм рельефа местности на наблюдаемой стереомодели, которое характеризуется различием ее горизонтального и вертикального масштабов;

2) расположение всей воспринимаемой стереомодели в заэкранном или предэкранном пространстве при изменении расстояния между рассматриваемыми снимками;

3) изменение формы и крутизны склонов долин, хребтов, степени выраженности уступов и т.д. на стереомодели при перемещении глаз наблюдателя относительно экрана персонального компьютера. В таких случаях говорят, что при перемещении наблюдателя рельеф стереомодели двигается за ним или в противоположном направлении (рисунок).

Практика показывает, что стереоскопическую модель на экране персонального компьютера человек может наблюдать при конвергентных, параллельных и даже слегка дивергентных зрительных осях. На приведенном рисунке мы применили геометрические построения для пояснения стереоскопических наблюдений при конвергентных зрительных осях. Но человек воспринимает стереоскопическую модель на конечном расстоянии и при параллельных и даже дивергентных зрительных осях, что не удается проиллюстрировать геометрическими построениями. Для объяснения этих фактов требуется привлечь сведения из психофизиоло-

<sup>4</sup> В ряде публикаций за величину  $d$  принимают расстояние от глаз наблюдателя до рассматриваемых снимков, а не до стереомодели.



Деформация стереомодели в предэкранном (А) и заэкранном (Б) пространстве при перемещении наблюдателя: L и R — изображение одной и той же точки (объекта) на левом и правом снимках стереоскопической пары, воспроизводимых на экране компьютера;  $M_1^П$ ,  $M_2^П$ ,  $M_1^3$ ,  $M_2^3$  — пространственное расположение стереомодели этой точки (объекта) при разных (1 и 2) положениях наблюдателя

гии зрения. Способность воспринимать стереоскопическую модель на конечном расстоянии от наблюдателя при параллельных зрительных осях можно трактовать как вынужденный компромисс для устранения возникающего при стереоскопических наблюдениях снимков противоречия в подсознательно согласованном взаимодействии зрительной конвергенции и аккомодации [3]. Восприятие же стереомодели при дивергировании зрительных осей объясняется разнонаправленным поворотом глазных яблок, удерживающим наблюдаемый объект в фовеальных (находящихся в центре сетчатки) зонах обоих глаз, которые, как известно, являются корреспондирующими точками сетчаток [1].

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Валюс Н.А.* Стереоскопия. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 379 с.  
 2. *Книжников Ю.Ф.* Основы стереоскопического гео-моделирования. М.: Научный мир, 2013. 196 с.

**Выводы:**  
 — стереоскопическую модель можно формировать по космическим снимкам сверхвысокого разрешения на экране персонального компьютера традиционными способами — оптико-бинокулярным, анаглифическим, светозатворным, поляризационным и безочковым, наблюдая ее при конвергентных, параллельных и дивергентных зрительных осях;  
 — равномерно деформированная по высоте космическая стереомодель местности, которую можно располагать в заэкранном или предэкранном пространстве, при перемещении наблюдателя “движется” за ним или в противоположном направлении, изменяясь в некоторых пределах.

3. *Миллер В., Миллер К.* Аэрофотогеология. М.: Мир, 1964. 292 с.  
 4. *Скиридов А.С.* Стереофотограмметрия. М.: Геодиздат, 1959. 540 с.

Поступила в редакцию  
 21.05.2013

**Yu.F. Knizhnikov, E.A. Baldina**

**SPECIFIC FEATURES OF THE AEROSPACE STEREO MODEL PERCEPTION AT THE PC MONITOR**

Particular features of a stereo model observed at the PC monitor depend both on the properties of original stereo images and the human vision system and the position of images in the process of viewing. From the geometrical point of view the stereo model observed by an interpreter is lesser than the reality and its shape is regularly deformed. Both aspects should be taken into account during visual interpretation process.

*Key words:* aerospace images, human vision system, deformation of a stereo model of the territory.