



УДК 912:528.7 (470.44)

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ НА ОСНОВЕ ОДИНОЧНОГО СНИМКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИНЗОВОГО РАСТРА



А. В. Молочко, Т. В. Пятницына, А. В. Федоров,
Д. П. Хворостухин

Саратовский государственный университет
E-mail: farik26@yandex.ru

В статье описывается методика создания стереомодели местности на основе одиночного космоснимка высокого разрешения с использованием цифровой модели рельефа и последующей визуализацией полученного изображения при помощи линзового растра.

Ключевые слова: данные дистанционного зондирования Земли, трехмерная геопространственная информация, цифровая модель рельефа, стереоскопическая модель местности

Methodic of Stereoscopic Terrain Model Creation Based on a Single Satellite (Space) Imagery by Means of Lens Raster

A. V. Molochko, T. V. Pyatnizyna, A. V. Fedorov,
D. P. Khvorostukhin

Methodic of stereoscopic terrain model creation based on single high resolution space photo with using digital elevation model and following visualization this image by means of lens raster is described in the article.

Key words: remote sensing data, 3D spatial information, digital elevation model, stereoscopic terrain model.

Стереоскопические модели местности, формируемые по паре ортофотоизображений, уже более 100 лет успешно используются для решения базовой задачи фотограмметрии – определение плановых координат и высот точек местности. Совершенствовались теория, технология и методы получения и обработки аэрокосмоснимков, а также формы представления конечного продукта. Принципиальная схема использования стереомодели в практике географических исследований выглядит следующим образом: пара сопряженных ортофотоснимков → геометрическая стереомо-

дель → ортоплан, ЦМР, ЦММ → конечное картографическое произведение. С развитием новых технологий на смену традиционным топографическим картам с изолинейным изображением рельефа приходят новые геоинформационные продукты, в частности, создаваемые на основе цифровых моделей рельефа и космоснимков трехмерные видеомодели местности с реализованной возможностью 3D визуализации [1–3]. Следует отметить, что речь здесь идет именно о видеоряде, т. е. серии плоских изображений, наблюдаемых с разных точек и под разными ракурсами. Для получения действительного стереоэффекта, основанного на особенностях зрительного восприятия человеком окружающего мира, т. е. стереоскопической модели, воспринимаемой наблюдателем в качестве психологической реальности, необходимо соблюдать ряд условий [4]. Обязательным условием является наличие как минимум двух перекрывающихся изображений – стереопары – для левого и правого глаз, а также специального устройства (оптического, анаглифического, поляризационного) для совмещения изображений в соответствии с естественной конвергенцией и аккомодацией глаз. Очевидно, что использование такой стереомодели имеет ряд неудобств, первое из которых связано с организационно-материальными сложностями и затратами на приобретение стереопары цветных космоснимков высокого разрешения на интересующую территорию, второе – с обязательным наличием оборудования для просмотра. Предлагаемая данным проектом методика позволяет решить обе эти проблемы, поскольку для создания стереоскопической модели достаточно одиночного космоснимка, а для просмотра итоговой стереокосмофотокарты не требуется дополнительных устройств. Общая схема данной методики представлена на рис. 1.

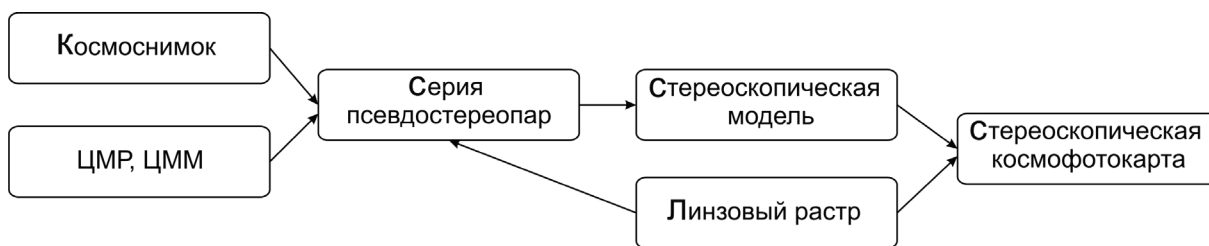


Рис. 1. Схема создания стереокосмофотокарты на основе одиночного космоснимка и ЦМР



Работа над проектом состояла из нескольких этапов:

- подготовка космоснимка;
- построение цифровой модели местности;
- построение карты глубины и расчет параллакса;
- создание стереоскопической модели;
- создание стереокосмофотокарты и совмещение изображения с линзовым растром.

В результате работы была создана стереоскопическая космофотокарта центральной части г. Саратова с горизонтальным масштабом 1 : 6 000.

В качестве основы для создания стереоскопической модели может быть использован снимок или космофотокарта с любым пространственным разрешением. Для апробации методики был взят фрагмент мультиспектрального космоснимка на центральную часть Саратова с пространственным разрешением 2 м. Космоснимок получен в рамках наполнения геопортала НВОЦ «ГИС-Центр» Саратовского государственного университета. В дальнейшем

была осуществлена пространственная привязка и трансформация снимка в проекцию цифровой модели рельефа с использованием программы ArcGIS. Для более удобного и естественного восприятия глазом человека структуры территории, а также с учетом частичного рассеивания света линзовым растром цветовая гамма и яркость снимка были откорректированы.

Способы построения цифровых моделей рельефа могут различаться в зависимости от масштаба и структуры территорий. Так, для больших по площади участков земной поверхности можно применять готовые цифровые модели, такие как SRTM или GTOPO. В нашем же случае площадь моделируемой местности невелика, в связи с чем использование мировых трехмерных моделей не даст необходимой точности. Поэтому нами была построена подробная цифровая модель рельефа с размером ячейки 2 м (рис. 2). Для рассматриваемой территории центральной части г. Саратова площадью приблизительно 31 км² размер GRID-модели составил 3458x2246 пикселей.

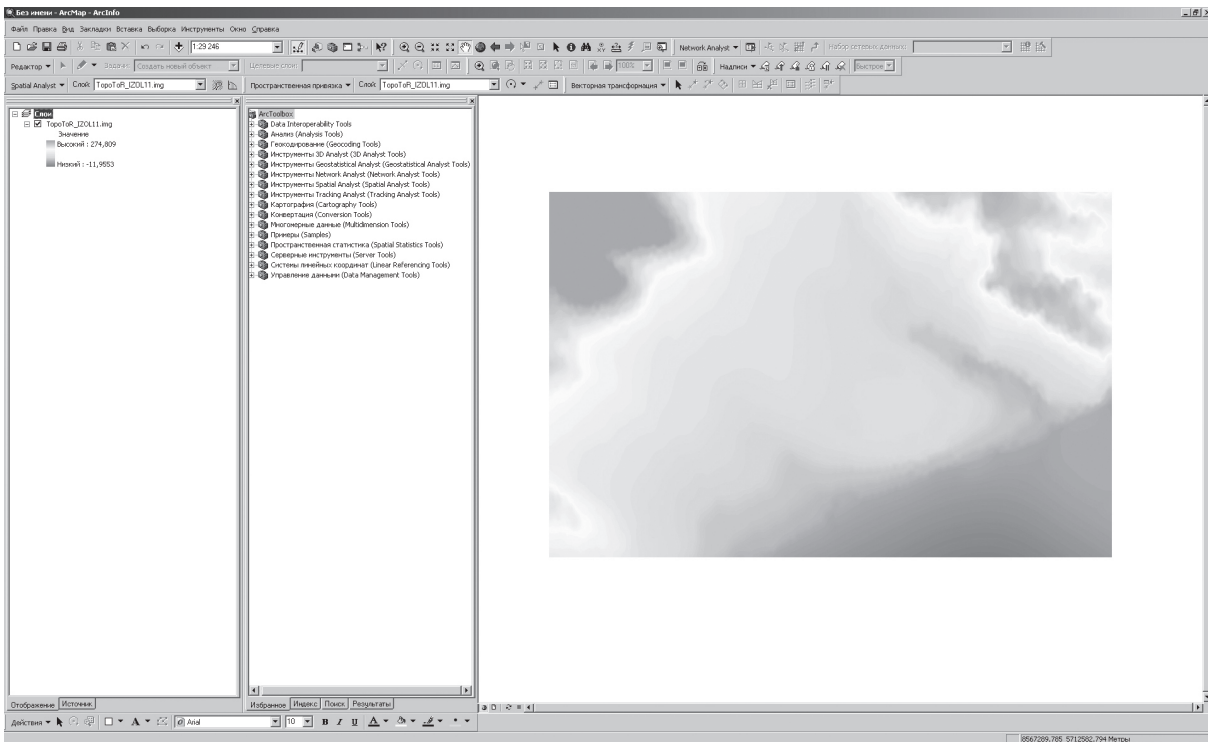


Рис. 2. Цифровая модель рельефа центральной части г. Саратов

Особенностью создания стереомodelей на территорию города является необходимость учитывать наличие высотных зданий, которые зачастую сопоставимы с высотой крупных форм рельефа. Именно поэтому использование цифровых моделей рельефа без дополнительной обработки не позволяет создать стереомodelь, в полной мере отражающую реальный вид местности. Для устранения подобных неточностей авторами данной статьи была создана цифровая модель местности с учетом высоты зданий. Для

этого использовалась цифровая карта Саратова, а именно слой «Строения». При помощи программного комплекса ArcGIS все объекты слоя были преобразованы в растровое изображение (рис. 3). Для того чтобы избежать пустых значений в растре, в модель был добавлен полигон с вырезанными строениями, покрывающий всю область моделирования. В растр были записаны значения высоты зданий, рассчитанные согласно этажности. Созданная таким образом ЦММ послужила основой карты глубины.

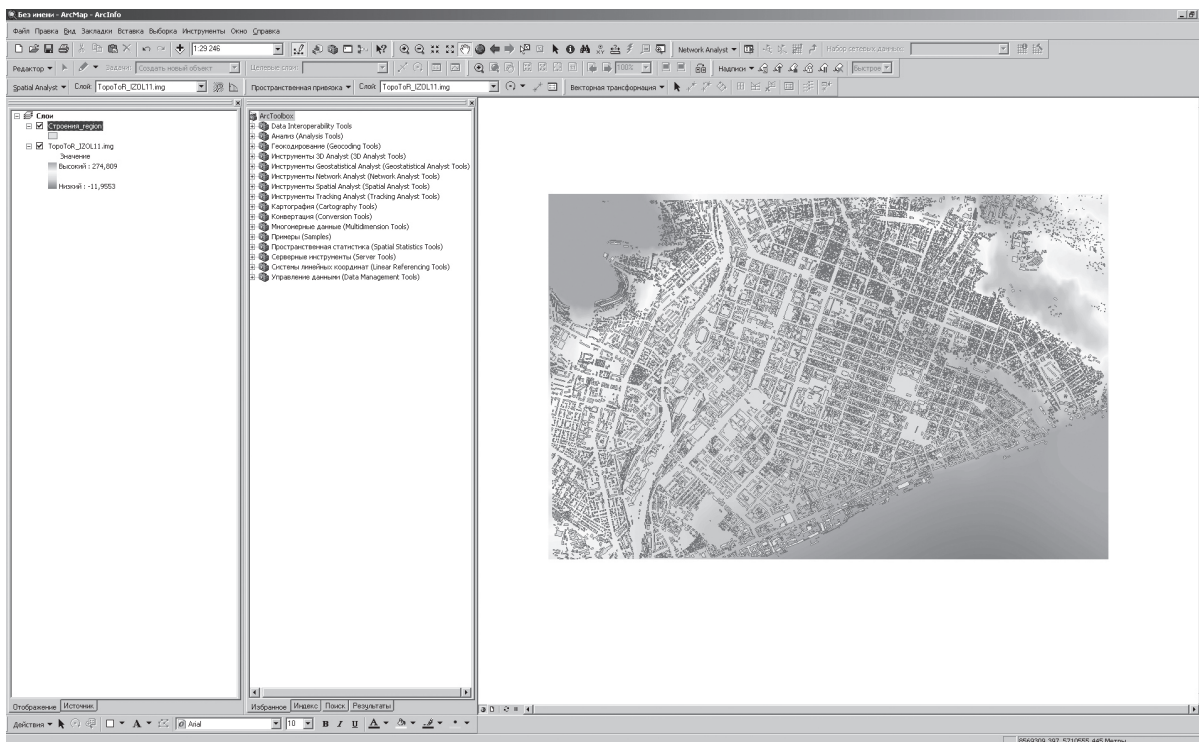


Рис. 3. Карта центральной части г. Саратов, совмещенная с ЦМР

Карта глубины представляет собой серую маску, которая при помощи градаций яркости отражает глубину расположения точек исходного изображения в пространстве стереомодели, а также определяет положение плана фокусировки (стереоокна). При этом точки переднего плана изображаются белым цветом, заднего – черным, промежуточные – серым цветом разной интенсивности в зависимости от глубины их расположения. Таким образом все точки изображения имеют яркостную характеристику, значения которой могут варьировать от 0 (черный) до 255 (белый) в палитре RGB, либо от 0 до 100% черного цвета в палитре CMYK. Расположение стереоокна между передним и задним планами имитирует конвергентную съемку с фокусировкой на средний уровень рельефа, что в нашем случае соответствует приблизительно уровню десятиэтажных зданий в центральной равнинной части города. Рельеф рассматриваемой территории имеет не слишком значительный перепад высот от 15 (зеркало водохранилища) до 250 м (Лысогорское плато), поэтому при создании карты глубины применялись средние градации яркости – от 40 до 60 % черного в палитре CMYK. Фактически карта глубины представляет собой растровую ЦММ, построенную с учетом этажности и оформленную по черно-белой цветовой схеме в заданных градациях яркости (рис. 4, 5). На основании карты глубины рассчитывается параллакс каждой точки исходного космоснимка при построении кадров псевдостереопар.

Обязательным условием корректного построения кадров псевдостереопар путем трансформации исходного изображения является точное соответствие размеров карты глубины размерам этого изображения. Для соблюдения данного условия оба растра совмещались в одном окне карты в программе MapInfo. Средствами программы карту глубины можно слегка откорректировать с целью более четкого отображения в пространстве создаваемой стереомодели отдельных элементов инженерной инфраструктуры (мостов, дорожных развязок) путем их дополнительной оцифровки с присвоением полученным полигонам нужного значения яркости. Впоследствии исходное изображение и карта глубины с наложенным на нее слоем корректировочной оцифровки поочередно экспортировались в растровый формат непосредственно из окна карты, что позволило обеспечить точное соответствие их пиксельных размеров.

Расчет параллакса и построение кадров псевдостереопар производились средствами программы Deep Matrix программного комплекса «Вариограф», разработанного сибирским инновационно-технологическим центром «Прогресс», для создания стерео- и вариоизображений и предназначенного для изготовления индивидуальных стерео- и вариофотографий и производства рекламной продукции. При вычислении параллакса и последующем построении (морфинге) ряда кадров программа учитывает карту глубины (отражающую диапазон изменения параллакса в пределах одного кадра) и заданное значение мак-



Рис. 4. Фрагмент космоснимка



Рис. 5. Фрагмент карты глубины

симального параллакса. Максимальный параллакс между кадрами стереопар, позволяющий сохранить устойчивый стереоэффект, связан с физиологическими характеристиками глаза (в частности, с остротой стереоскопического зрения и глазным базисом) и зависит от расстояния просмотра. В общем случае его модульное значение не должно превышать величины $0,03 R$, где R – расстояние от глаз зрителя до плоскости экрана (в нашем случае линзового растра) [5]. При ширине итогового изображения 910 мм (центральная часть города в масштабе 1 : 6 000) и расстоянии просмотра 2 м максимальный параллакс составит 60 мм, т.е. около 6% ширины изображения. Опытным путем было установлено, что для сохранения устойчивого стереоэффекта без потери глубины достаточно задать значение параллакса равное 4%.

Для создания стереомодели в принципе достаточно двух кадров, однако в этом случае стереоэффект сохраняется лишь при просмотре изображения под прямым углом. Применение линзового растра позволяет использовать несколько стереопар, переходящих друг в друга по цепочке, что значительно расширяет зону стереовидения. Максимальное количество стереопар зависит от угла конвергенции, определяемого расстоянием просмотра, и угла обзора растра, который рассчитывается исходя из шага растра и его толщины. Принимая, что $\alpha = 2 \arctg(b/2r)$, где r – расстояние просмотра, а b – глазной базис (65 мм), получаем, что при просмотре изображения с расстояния 2 м угол конвергенции глаз (α) составит приблизительно 2. Угол обзора линзового растра (β) можно рассчитать по формуле $\beta = 2 \arctg(d/2(t-d/2))$, где t – толщина растра, а d – его шаг (т.е. ширина одной линзы). Таким образом, растр толщиной 2,08 мм с шагом 0,635 мм (40 LPI в международной классификации) имеет угол обзора равный 20. Учитывая обе эти величины (угол конвергенции глаз и угол обзора растра), получим, что с расстояния 2 м наблюдатель способен воспринять $20^\circ/2^\circ = 10$ раз-

личных ракурсов изображения, создаваемых линзовым растром с данными характеристиками, т.е. 10 стереопар, составленных из 20 кадров. Однако количество стереопар, закодированных в единое изображение, ограничено разрешающей способностью печатающего устройства, иными словами, тем, какое количество точек изображения может быть воспроизведено под каждой линзой растра. Таким образом, расчет количества стереопар корректируется формулой $N \text{ dpi}/n \text{ lpi}$, где N – разрешение принтера, n – линейатура растра. При максимальном разрешении принтера 720 dpi получим $720/40 = 18$ кадров.

Построение серии стереопар путем трансформации исходного космоснимка происходит на этапе морфинга, при котором каждый пиксел исходного ортофотоизображения при переходе от одного кадра к другому смещается на рассчитанную величину параллакса. При сдвиге пробелы в изображении достраиваются шлейфом пикселей того же цвета, что и исходные. В результате морфинга из одиночного снимка получаем 19 кадров (9 левых, 9 правых + исходный центральный), составляющих серию псевдостереопар. Полученные таким образом кадры в программе «Вариограф» совмещаются и кодируются в единое изображение, которое может быть экспортировано в один из растровых форматов.

Оформление итоговой космофотокарты производилось в программе Adobe Photoshop, где на кодированное растровое изображение были наложены подписи названий улиц, водохранилища, название карты и обозначение масштаба. При наложении линзового растра происходит оптическая трансформация полученного изображения и возникает стереоэффект, который благодаря использованию абсолютных значений высот (с учетом высоты зданий) для расчета глубины расположения объектов приближен к реальному восприятию вида местности.

Зная параллакс кадров псевдостереопар,



перепад высот на местности и расстояние просмотра, можно рассчитать полученную глубину изображения и вертикальный масштаб стереомодели. Глубина изображения (Δ_1), параллакс (p_1) и расстояние просмотра (r) связаны соотношением:

$$\Delta_1/(r-\Delta_1)=p_1/B,$$

где B – глазной базис [5]. Путем простых преобразований получим:

$$\Delta_1=p_1R/(B+p_1).$$

В нашем случае параллакс кадров в стереопаре составил 4 мм (910:0,04/9). При расстоянии просмотра 2000 мм и глазном базисе 65 мм получим глубину изображения относительно стереоокна равную 115 мм. Принимая во внимание центральное положение стереоокна, перепад высот на местности составил $(250-15)/2 = 117,5$ м. Таким образом получим вертикальный масштаб модели приблизительно равный 1 : 1 000. Следует, однако, отметить, что подобные расчеты несут приблизительный характер, поскольку восприятие стереомодели во многом зависит от индивидуальных особенностей зрителя.

Разработанная методика может быть использована для создания и визуализации стереоскопических моделей местности в целях:

– визуальной оценки современного состояния и использования территории;

– предварительной оценки территории при проектировании;

– представления проекта застройки.

Кроме того, созданные модели могут быть использованы в качестве наглядного пособия в образовательных учреждениях.

Библиографический список

1. Аккерманн Ф. Современная техника и университетское образование // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2011. № 2. С. 8–13.
2. Тюфлин Ю. С. Информационные технологии с применением фотограмметрии // Геодезия и картография. 2002. № 2. С. 39–45.
3. Тюфлин Ю. С. Фотограмметрия – вчера, сегодня и завтра // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2011. № 2. С. 3–8.
4. Цифровая стереоскопическая модель местности: экспериментальные исследования / Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцова, Е. А. Балдина [и др.]. М. : Научный мир, 2004. 244 с.
5. Валюс Н. А. Стереоскопия. М. : АН СССР, 1962. 380 с.

УДК 551.589

О ВЛИЯНИИ ПЛАНЕТАРНОЙ ВЫСОТНОЙ ФРОНТАЛЬНОЙ ЗОНЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛИМАТИЧЕСКОГО РЕЖИМА НА СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ

С. В. Морозова

Саратовский государственный университет
E-mail: swetwl@yandex.ru

В настоящей статье рассматриваются вопросы влияния планетарной высотной фронтальной зоны (ПВФЗ) на климатический режим Северного полушария. Показана динамика площадей ПВФЗ относительно естественных климатических периодов состояния земной климатической системы (ЗКС). Найдена связь динамики площадей ПВФЗ с изменением ветрового режима на полушарии.

Ключевые слова: глобальный климат, планетарная высотная фронтальная зона, климатические изменения, ветровой режим.

On the Influence of the Planetary Front High-Rise Zone to Change Some Characteristics of the Climatic Regime in the Northern Hemisphere

S. V. Morozova

This article considers the questions of influence of the planetary high-rise frontal zones (PVFS) on the climatic regime of the Northern hemisphere. Shows the dynamics of the areas PVFS relatively natural climatic periods state the earth's climate system. The connection of the



speakers areas PVFS with the wind regime change in the hemisphere.
Key words: global climate, planetary high-rise frontal zone, climatic changes, wind regime.

Известно, что региональные климатические изменения в первую очередь вызываются аномалиями режима общей циркуляции атмосферы (ОЦА). Климатические гребни и ложбины формируются в течение десятилетий, участвуя в формировании циркуляционных эпох [1–3]. Однако спорным до сих пор остаётся вопрос о влиянии циркуляции на глобальный климат. Автором данной статьи опубликованы некоторые [4] результаты исследований влияния общей циркуляции атмосферы на глобальный климат. Настоящая статья является продолжением исследований возможности влияния глобальных объектов циркуляции на климатические процессы в масштабах полушария.

В качестве исследуемой характеристики глобального объекта циркуляции – планетарной высотной фронтальной зоны – выбрана её площадь,