

**Миронова Ю.Н.** ©

Кандидат физико-математических наук, профессор РАЕ,  
доцент кафедры математического анализа, алгебры и геометрии,  
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Елабужский институт

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕСТНОСТИ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

### ***Аннотация***

*Одной из наиболее важных составляющих виртуальной модели местности является цифровая модель рельефа. Чем точнее и детальнее цифровая модель рельефа, тем более реалистична виртуальная модель местности. В настоящее время при создании виртуальной модели местности широко распространено «обклеивание» цифровой модели рельефа растровыми картами или космическими снимками. Использование векторных данных в виртуальных моделях требует значительных затрат машинных ресурсов.*

*В настоящее время появились виртуальные модели высокой детальности (1:10 000 – 1:1000) и сверхвысокой детальности (1:1000 – 1:100 и крупнее). Подобные модели позволяют добиться высокого эффекта присутствия на местности.*

*Виртуальные модели местности могут быть использованы в учебном процессе, в демонстрационных целях, в обеспечении проектов инвентаризационного характера или проектов по строительству крупных сооружений (в сочетании с двухмерными данными и картами).*

**Ключевые слова:** Цифровая карта; пространственные данные; атрибутивные данные; слой; виртуальная модель местности;

**Keywords:** Digital map; spatial data; attribute data; layer; virtual terrain model.

Современный человек часто сталкивается с виртуально-реальными моделями. Они очень разнообразны, и круг их использования весьма широк. Рассмотрим используемые в геоинформатике виртуальные модели местности.

Виртуальная модель местности – это математическая модель местности (содержащая информацию о рельефе земной поверхности, ее спектральных яркостях и объектах, расположенных на данной территории), предназначенная для интерактивной визуализации и обладающая эффектом присутствия на местности [9].

Для создания и визуализации виртуальной модели местности требуется применение программ, способных обрабатывать трехмерные объекты. Эти программы можно разделить на несколько типов:

- САД пакеты, предназначенные для черчения или проектирования, содержащие встроенные функции для визуализации трехмерных объектов;
- программы для создания 3D-графики и видеоэффектов;
- картографические программы.

САД пакеты, как правило, не позволяют создавать полноценные модели местности, однако, при необходимости, в них можно создать модель рельефа, обтянутую текстурой, а также добавить в модель дополнительные объекты (дома, сооружения и пр.). Основными недостатками такого способа создания виртуальной модели местности является большая трудоемкость процесса. Кроме того, подобные модели очень требовательны к ресурсам компьютера.

Программы для создания трехмерной графики и видео не так ограничены в функциях. В этих пакетах можно создать любую сколь угодно близкую к действительности модель

местности, несмотря на то, что программы этого типа не предназначены для выполнения картографических функций (не поддерживается привязка растров, проекции, послойное представление данных и пр.). К основным недостаткам этих пакетов относится невозможность облета местности в реальном времени (из-за длительного просчета каждого кадра). Также затруднительно создание обширных детальных моделей местности (из-за большой величины этих моделей). Качество графики, получаемой в результате, очень высоко.

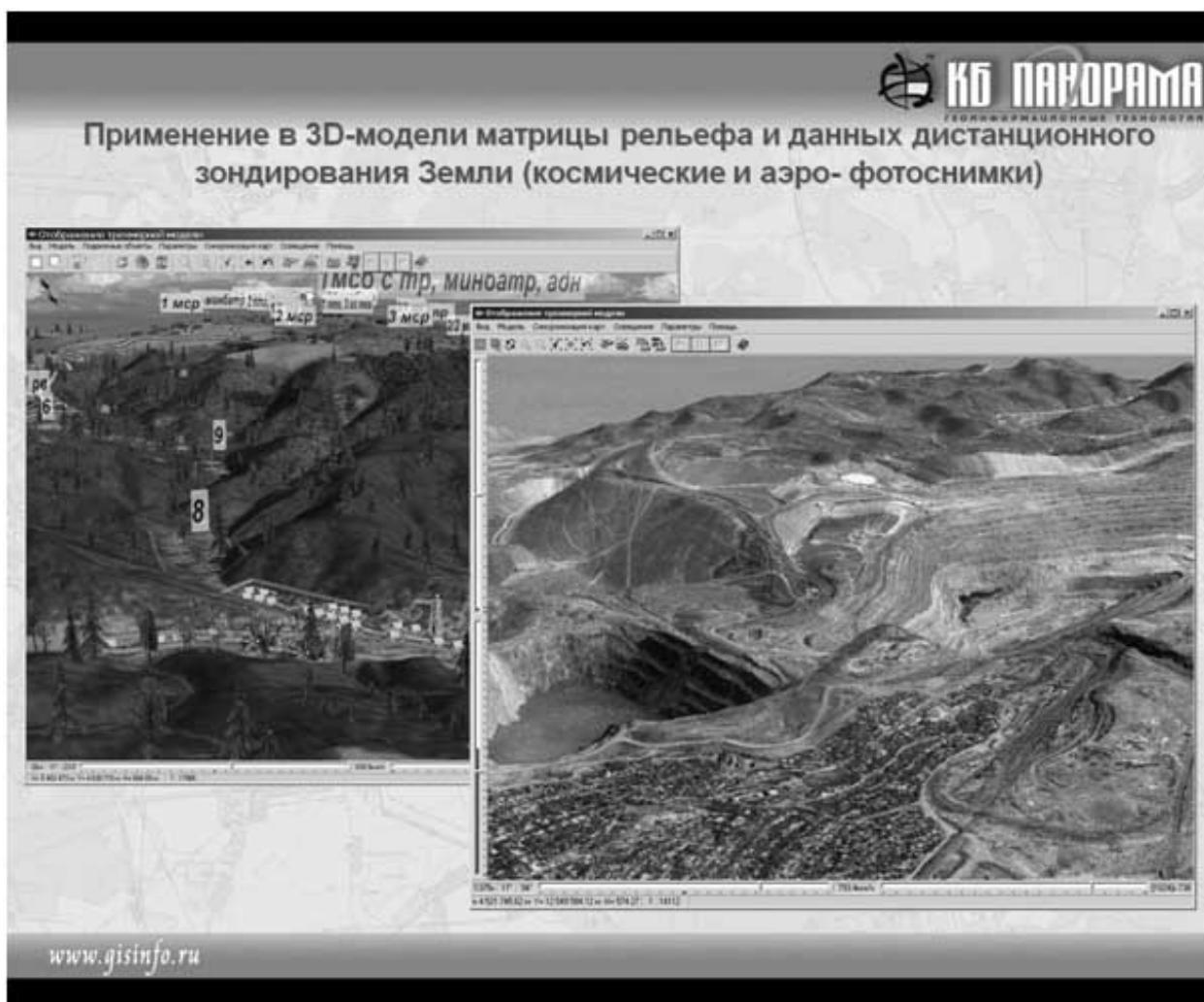
Картографических программ, способных создавать виртуальные модели местности, в настоящее время немного. К ним можно отнести Virtual GIS, Multigen, Arc View 3D Analyst, ГИС «Панорама» и др. Данные пакеты позволяют текстурировать поверхности, наносить дополнительные объекты, проводить просчет сцены в реальном времени, поддерживают картографические системы координат и проекции. В настоящее время программа Virtual GIS позволяет создавать наиболее крупные виртуальные модели местности высокого разрешения, обчитывая их в реальном времени с хорошим качеством.

Для реалистичного представления местности современная виртуальная модель должна содержать следующую информацию:

- данные о рельефе (цифровую модель рельефа);
- растровые изображения земной поверхности (сканированные карты или снимки);
- векторные данные;
- подписи;
- трехмерные объекты специального назначения (модели, импортированные из других программ);
- дополнительные растровые изображения или анимации.

Одной из наиболее важных составляющих виртуальной модели местности является цифровая модель рельефа. Чем точнее и детальнее цифровая модель рельефа, тем более реалистична виртуальная модель местности. Степень подробности рельефа зависит от целей и возможностей создателя виртуальной модели местности. При визуализации трехмерных сцен на обсчет цифровой модели рельефа может уходить от 50% до 98% вычислительных мощностей компьютера.

В настоящее время при создании виртуальной модели местности широко распространено «обклеивание» цифровой модели рельефа растровыми картами или космическими снимками. Обклеивание модели картами встречается чаще, так как карты дешевле, их проще обрабатывать и вносить в модель. Использование космических снимков требует больших затрат на их закупку, сшивку и различные виды коррекции. Однако реалистичность модели, обтянутой аэро- или космическими снимками, выше, чем модели, в которой применялись топографические карты (см. рис. 1).



**Рис. 1. Применение данных дистанционного зондирования Земли при создании виртуальной модели местности (ГИС «Панорама»)**

Как правило, в обтягивании модели используется несколько растровых изображений, которые необходимо привязать к избранной системе координат, после чего изображения объединяются в одну или несколько мозаик более мелких снимков. Сканирование бумажных карт должно вестись с разрешением не менее 300 точек на дюйм.

Использование векторных данных в виртуальных моделях требует значительных затрат машинных ресурсов. Внесение векторных данных в модель может происходить следующим образом:

1. данные могут быть «натянуты» на поверхность рельефа;
2. данные могут быть «вытянуты» над поверхностью рельефа пропорционально некоторой характеристике в таблице атрибутов (например, на карте города имеются здания с высотой, близкой реальной).

После нанесения векторных данных полученные объекты могут быть отображены в модели с использованием различных изобразительных средств: цвета, заливки, штриховок и пр. Наиболее часто внесение векторных данных в виртуальную модель местности используется для показа населенных пунктов, далее следуют озера, реки, трубопроводы, дороги и т. п.

В настоящее время популярными являются следующие способы визуализации трехмерных моделей местности (см. [9]):

1. Трехмерная статическая сцена (3D-вид).

2. Облет в реальном времени.
3. Объезд в реальном времени.
4. Запись полета по траектории с возможностью смены направления движения в любой момент.
5. Запись полета в видеофайл.

Рассмотрим их более подробно.

1. Трехмерная статическая сцена (3D-вид).

Наиболее распространенный вариант визуализации. Не требует большой вычислительной мощности компьютера, может выполняться в течение нескольких минут (3D Studio MAX).

Вариант трехмерной визуализации показан на рис. 2.



*Рис. 2. Отображение трехмерной модели в ГИС «Панорама»*

2. Облет в реальном времени.

Облет местности осуществляется по аналогии с полетом на вертолете (Erdas Imagine Virtual GIS). Данный вид визуализации наиболее требователен к ресурсам компьютера, так как требует просчета 15-25 кадров в секунду. Поэтому требуется прибегать к приемам, позволяющим не просчитывать несущественно влияющие на сцены данные. Основными методами увеличения скорости обработки моделей являются следующие:

- а) ограничение радиуса видимости;
- б) понижение степени детализации;
- в) уменьшение размера кадра;
- г) сегментация;

д) применение TIN моделей.

Рассмотрим эти методы подробнее.

а) ограничение радиуса видимости.

Предлагается не анализировать все данные модели, а ограничиваться частью, увеличивая скорость счета в несколько раз.

б) понижение степени детализации.

В ряде случаев степень детализации может оказаться излишне подробной. Такая ситуация возможна при облете местности на большой высоте. Уменьшая ее, мы увеличиваем скорость просчета модели.

в) уменьшение размера кадра.

Изменение размера кадра с 800 на 600 пикселей до 1024 на 768 замедляет работу в 1,63 раза. Таким образом, разрешение сильно влияет на скорость обработки модели.

г) сегментация.

В настоящее время сегментация дает наиболее значительный прирост скорости. Суть метода заключается в разбиении цифровой модели рельефа на фактически независимые сегменты (512x512, 1024x1024 пикселей и т. д.). Для каждого сегмента записываются исходные данные с начальным разрешением, а также их копии с разрешением, уменьшенным в 2, 4, 8, 16, ... раз. При визуализации сцены сегменты, находящиеся близко от наблюдателя, визуализируются с полным разрешением, а сегменты, находящиеся дальше, - со всё понижающейся детальностью. Таким образом, изначальный объем данных затрагивается лишь частично (Erdas Imagine Virtual GIS, Multigen).

д) применение TIN моделей.

Применение TIN моделей дает неоднозначный результат, зависящий от типа местности. Изначальная регулярная модель данных разделяется на сеть мелких треугольников, после чего грани, угол между которыми меньше некоторой величины, сливаются в одну плоскость. Однако в ряде случаев метод не дает ощутимой экономии, либо приводит к вырождению рельефа.

3. Обезд в реальном времени.

Функция обезда в реальном времени отличается от облета в реальном времени только высотой наблюдения. Этот режим позволяет имитировать нахождение наблюдателя на земле.

4. Запись полета по траектории с возможностью смены направления движения в любой момент.

Применяется при демонстрационных показах для многократного повторения сложной трассы полета. Для этого записывается линия траектории полета, причем для каждого узла ломаной задаются необходимые атрибуты.

5. Запись полета в видеофайл.

Запись полета производится в AVI-файл, или в последовательность отдельных кадров (TIF, BMP). Положительными свойствами этого способа визуализации является его нетребовательность к машинным ресурсам и практическая неограниченность времени обработки. Отрицательная сторона заключается в невозможности изменить один раз записанную траекторию полета и увидеть что-либо дополнительно.

При создании виртуальной модели местности возникает необходимость в отображении специальных объектов, таких, как дома, деревья и пр. Это ведет к повышению реалистичности модели. Просчет специальных объектов очень требователен к ресурсам компьютера.

Часто используются специальные эффекты, такие, как туман (Fog) – эффект сильного тумана или воздушной дымки. Он может быть использован для повышения реалистичности сцены, уменьшает использование ресурсов компьютера при просчете сцены.

Поскольку виртуальная модель местности и карта выглядят по-разному, пользователь, привыкший ориентироваться по карте, с трудом ориентируется в трехмерном виртуальном пространстве. Для облегчения этой задачи практически во всех программах трехмерного

моделирования положение наблюдателя на модели показывается координатами  $x, y, z$ , а также указываются азимут и вертикальный угол обзора. В некоторых программах существует возможность произвести «связывание» окон визуализации виртуальной модели местности и обычного окна с привычными картами той же местности.

Наиболее доступным методом создания виртуальных моделей в настоящее время являются виртуальные модели на основе топографических карт. Это обусловлено доступностью картографического обеспечения средних и мелких масштабов (1:200 000 – 1:1 000 000) и космических снимков среднего и низкого разрешения (до 30 м.) в конце XX – начале XXI вв. Поэтому большинство таких моделей имели невысокую детальность.

После 2000 года произошло изменение ситуации с доступностью данных:

1) запуск семейства сканеров космического базирования метрового и субметрового разрешения (до 60 см.);

2) запуск сканеров космического базирования, данные которых распространяются на бесплатной основе;

3) появление бесплатных интернет-порталов, предоставляющих свободный доступ к данным среднего и высокого разрешения (например, GOOGLE EARTH – <http://maps.google.com>);

4) рост производительности персональных компьютеров и объемов дисковых накопителей;

5) быстрый рост обмена информацией;

6) быстрое распространение цифровой фотографии разрешающей способности матриц цифровых фотоаппаратов;

7) появление новых методов сбора информации:

- воздушное лазерное сканирование;

- наземное лазерное сканирование;

- цифровая аэрофотосъемка с борта сверхлёгких летательных аппаратов.

Таким образом, появились виртуальные модели высокой детальности (1:10 000 – 1:1000) и сверхвысокой детальности (1:1000 – 1:100 и крупнее). Подобные модели позволяют добиться высокого эффекта присутствия на местности, однако возникают проблемы иного рода:

– проблема секретности.

Ограничения по точности координат (30 м.) и разрешение космических и аэрофотоснимков (2 м.) в нашей стране существуют до настоящего времени и не позволяют считать открытыми картографические материалы большой детальности. То есть модели высокой и сверхвысокой детальности переходят в разряд секретных материалов.

– проблема получения цифровых моделей рельефа.

Данные высокой точности приходится создавать самостоятельно.

– необходимость насыщения модели специальными объектами.

Повышенная детализация вызывает увеличение затрат на производство виртуальной модели.

– необходимость повышения качества визуализации.

Методика и способы расчета усложняются при повышении реальности моделей и требуют использования всё более совершенного программного обеспечения для виртуального моделирования, а также компьютерных ресурсов.

Дальнейший рост охвата, детальности и реализма моделей может быть сдержан их стоимостью.

Виртуальные модели местности могут быть использованы в учебном процессе, в демонстрационных целях, в обеспечении проектов инвентаризационного характера или проектов по строительству крупных сооружений (в сочетании с двухмерными данными и картами).

## Литература

1. Бабенко Л.К. Защита данных геоинформационных систем: учеб. пособие для студентов вузов. / [Бабенко Л.К., Басан А.С, Журкин И.Г. и др.] Под ред. И.Г. Журкина. – М.:Гелиос АРВ, 2010. – 336 с. – 400 экз. - ISBN 978-5-85438-198-7.
2. Капралов Е.Г. Геоинформатика: в 2 кн. Кн. 1: учебник для студ. высш. учеб. заведений. / [Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарёв, В.С. Тикунов и др.]; под ред. В.С. Тикунова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: : Издательский центр «Академия», 2010. – 400 с. - 2500 экз. -ISBN 978-5-7695-6468-0.
3. Капралов Е.Г. Геоинформатика: в 2 кн. Кн. 2: учебник для студ. высш. учеб. заведений. / [Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарёв, В.С. Тикунов и др.]; под ред. В.С. Тикунова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 432 с. – 2500 экз. - ISBN 978-5-7695-6820-6.
4. Миронова Ю.Н. Состав геоинформационной системы. // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. №4 (75) 2015 г. Ч.1., с. 88–90.
5. Миронова Ю.Н. Геоинформационные системы. // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук №03 (62) 2014 Ч.1., Москва, с. 63–65.
6. Миронова Ю.Н. Применение систем глобального позиционирования в геоинформационных системах. // Теоретические и прикладные проблемы географии: Материалы международной научно-практической конференции (Астана, 9-10 июня 2014 г.). – Астана, 2014, часть II, с. 307-309.
7. Миронова Ю.Н. Математические аспекты геоинформатики // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/93TVN515.pdf> (доступ свободный).
8. Сарычев Д.С., Скворцов А.В., Слюсаренко С.Г. Применение графовых моделей для анализа инженерных сетей. // Вестник Томского государственного университета. 2002. № 275. с. 70-74.
9. Сборник задач и упражнений по геоинформатике: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Е.Г. Капралов, В.С. Тикунов, А.В. Заварзин и др.; под ред. В.С. Тикунова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 512 с. ISBN 978-5-7695-4247-3.
10. Скворцов А.В., Сарычев Д.С. Технология построения и анализа топологических структур для геоинформационных систем и систем автоматизированного проектирования. // Вестник Томского государственного университета. 2002. № 275. с. 60-63.
11. Интернет-ресурс КБ «Панорама» <http://www.gisinfo.ru>.