

## ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И МНОГОМЕРНЫЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Косиков А.Г., Ушакова Л.А.

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,  
Москва, e-mail: anatolygk@gmail.com, la.ushakova@mail.ru

В статье рассматриваются методы виртуального моделирования в многомерных пространственно-временных (3D растровых, временных) моделях окружающей среды как варианта тематических признаков пространств. Обсуждается представление пространственной информации в многомерных пространственно-временных моделях, в которых выделяются многомерные географические модели. Рассмотрены подходы и методы виртуального моделирования для формирования статических и динамических виртуальных геоизображений многомерных географических моделей. Приведены примеры визуализации экспериментальных моделей Земли и Арктики. Рассмотрен процесс виртуального моделирования в реальном времени с использованием виртуальных аудио-видео переменных и различные подходы к виртуальному моделированию значительных по пространственному охвату многомерных пространственно-временных моделей окружающей среды для компьютерных систем различной производительности. Обсуждаются перспективы виртуального моделирования на базе новейших аппаратных средств воспроизведения.

**Ключевые слова:** виртуальное моделирование, многомерные пространственно-временные модели окружающей среды, виртуальные геоизображения, картографический дизайн, объемная визуализация

## VIRTUAL MODELLING AND MULTIDIMENSIONAL GEOGRAPHICAL MODELS

Kosikov A.G., Ushakova L.A.

Moscow State University n.a. M.V. Lomonosov, Moscow,  
e-mail: anatolygk@gmail.com, la.ushakova@mail.ru

The article discusses methods for virtual modelling in multidimensional space-time (3D raster, time) environmental models. The authors focus attention on the approach to the representation of 3D and 4D spatial information in multidimensional, volumetric, space-time digital model, each cell describes the state of the real space elementary volume at a time. This model is seen by them as the basis for an automated, self organizing, modeling computational process. The article presents a common algorithm for the generation of multidimensional space-time environmental model virtual geoimages and provides some examples for the Earth and its polar areas models, built as a part of the authors experimental work. The article describes the features of the real time virtual modeling with the use of virtual audio and video variables in a program-controlled environment and proposes some different approaches to the large multidimensional models visualization. The authors note the progress of 3D volumetric visualization methods and devices, and conclude what the global multidimensional space-time environmental virtual model development will require to create intelligent volumetric visualizing virtual geoimages.

**Keywords:** volumetric visualization, multidimensional space-time environmental models, virtual modelling, map design, virtual geoimages

Виртуальное моделирование позволяет выполнять построение различных тематических признаков пространств [1] и воспроизводить их изменение во времени, а также способно передавать и перемещение наблюдателя внутри этих виртуальных пространств, отображая изменения свойств объектов реального пространства-времени. В качестве таких *тематических признаков пространств* можно рассматривать **многомерные пространственно-временные модели**, представляющие множественную информацию в элементарных пространственно-фиксированных и временно-определённых объёмных ячейках. Пробразами таких моделей можно считать **воксельные** модели [6], представляющие статичную информацию в элементарных ячейках объёма (вокселях, voxels) [7], и **доксельные** модели, представляющие изменя-

ющуюся во времени информацию в своих объёмно-временных ячейках (докселях, doxels) [8]. В числе многомерных пространственно-временных моделей можно выделить **многомерные географические модели**, представляющие в элементарных ячейках пространства-времени свойства географической среды.

Среди множества подходов к представлению пространственной информации в данном случае рассматривается подход, при котором многомерная, объёмная на логическом уровне, 3D растровая, временная цифровая модель каждой своей элементарной ячейкой (докселем) описывает состояние всякого заданного элементарного объёма реального пространства в заданные моменты времени. В цифровой записи такой модели каждой её элементарной ячейке соответствует цифровой код, составленный

из множества ссылок, указывающих на конкретные значения свойств элементарного объёма реального пространства в заданные моменты времени. На начальном этапе такая модель формируется в виде статичной цифровой записи, описывающей временные состояния объёмных ячеек пространства. Эта запись и становится основой для построения автоматизированного, настраиваемого и самонастраивающегося, развивающегося моделирующего вычислительного процесса, непрерывно её уточняющего, детализирующего и расширяющего [4]. Модель формируется посредством проецирования пространственно-координированных географических данных в логически объёмное, трёхмерное пространство модели. Каждой отдельной модели соответствует своя детализированная структура данных, описываемых элементарной ячейкой модели свойств географической среды.

#### **Виртуальное моделирование в многомерных моделях**

Характер представления данных в многомерной ячеистой модели создаёт особые условия для виртуального моделирования, т.е. создания и использования виртуальных геоизображений и виртуальной окружающей среды [1]. Многомерная пространственно-временная модель выступает при этом в качестве упорядоченной по 4D пространственно-временным ячейкам базы данных для виртуального моделирования, в том числе моделирования в реальном времени. В общем случае, как при создании одиночной модели, так и при виртуальном моделировании в реальном времени, при создании двухмерного изображения трёхмерной сцены реализуется определённый пространственно-временной атрибутивный запрос, генерирующий выборку из модели конкретных пространственно-временных ячеек и значений требуемых свойств (признаков), ассоциированных с данными ячейками. Эта выборка может визуализироваться на лету и может быть сохранена в производную, упрощённую, виртуальную модель, подлежащую визуализации в дальнейшем.

Виртуальное моделирование в многомерных моделях предполагает наличие программно-управляемой среды, в которой, посредством особого интерфейса, в формируемых виртуальных сценах обеспечивается интерактивное взаимодействие пользователя с моделируемым пространством и его отдельными объектами, их зрительное, слу-

ховое и осязательное восприятие, а также управление свойствами их отображения. Это взаимодействие осуществляется с применением виртуальных аудио-видео переменных, определяющих графические, анимационные, объёмные, звуковые и прочие эффекты окружающей среды, с помощью которых формируется отображаемое виртуальное геоизображение [1]. Этот интерфейс может включать и инструменты интерактивного редактирования моделей.

Процесс виртуального моделирования в реальном времени на базе значительных по пространственному охвату многомерных моделей высокого пространственного и временного разрешения требует от компьютерных систем высочайшей производительности. Поскольку на современных компьютерах этот процесс может занимать значительное время, то в зависимости от целей виртуального моделирования и определяемых ими свойств отображения результатов этого моделирования может быть рассмотрено несколько подходов.

Первый подход предполагает предварительное создание набора двумерных изображений «облёта» модели, снятых по заданной траектории с различных задаваемых ракурсов и позиций условного наблюдателя. Это обеспечивает при просмотре возможность быстрого, управляемого пользователем, перемещения между 3D виртуальными сценами. Недостаток этого подхода состоит в ограниченности возможностей перемещения внутри виртуальной модели числом отснятых 3D сцен и исходными условиями их формирования.

Другой возможный подход состоит в формировании и сохранении дочерней виртуальной 3D модели, производной от исходной многомерной пространственно-временной модели. В этом случае в окне визуализации выполняется просмотр сохранённой виртуальной модели, и перемещение между виртуальными 3D сценами может осуществляться в произвольном порядке по любой выбранной траектории и с любого ракурса, так как 3D сцены в этом случае формируются «на лету». При этом подходе возможно изменение *виртуальных аудио-видео переменных* и параметров воспроизведения виртуальной 3D сцены в реальном времени. Однако возможности варьирования вариантов визуализации модели в данном случае ограничены пределами конкретной выборки из исходной многомерной пространственно-временной модели в воспроизводимую виртуальную

3D модель. Настройке поддаются только свойства отображения выбранных значений характеристик окружающей среды, а также пространственная протяжённость и временной охват в пределах выбранной части исходной модели.

Более универсальный подход предполагает виртуальное моделирование при генерации моделей из исходной многомерной пространственно-временной модели в реальном времени и их воспроизведение «на лету». В этом случае пользователь может не только настраивать свойства воспроизведения виртуальной модели и *виртуальные аудио-видео переменные*, но и изменять пространственно-временной атрибутивный запрос на формирование текущей воспроизводимой виртуальной 3D модели в реальном времени. При этом подходе возможен не только просмотр виртуальных изображений исходной многомерной модели, но и возможность её прямого редактирования.

Центром геоинформационных технологий кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова разрабатывается общая концепция создания, функционирования и использования многомерных пространственно-временных моделей окружающей среды. В обоснование концепции проводятся работы по созданию и развитию методов, алгоритмов и программных инструментов построения, пространственного анализа и объёмной визуализации моделей описанного типа, включая: проецирование и геометрические преобразования в пространстве моделей различных видов географических данных (ЦМР, ДДЗ, данных баз временных пространственных данных и пр.), выполнение операций над моделями (пространственных, логических, арифметических, условных и пр.), выполнение видов пространственного и статистического анализа модели, визуализацию многомерных моделей и пр. Экспериментальными приложениями данных исследований являются построения многомерных, пространственно-временных моделей Земли и её полярных территорий с высоким разрешением. В качестве исходных географических данных для построения этих моделей используются цифровые модели поверхностей, данные дистанционного зондирования Земли, а также разнообразные наборы тематических географических данных площадной, линейной и точечной локализации, в том числе наборы временных данных. В этих приложениях отрабатываются методы и алгоритмы создания информационно-

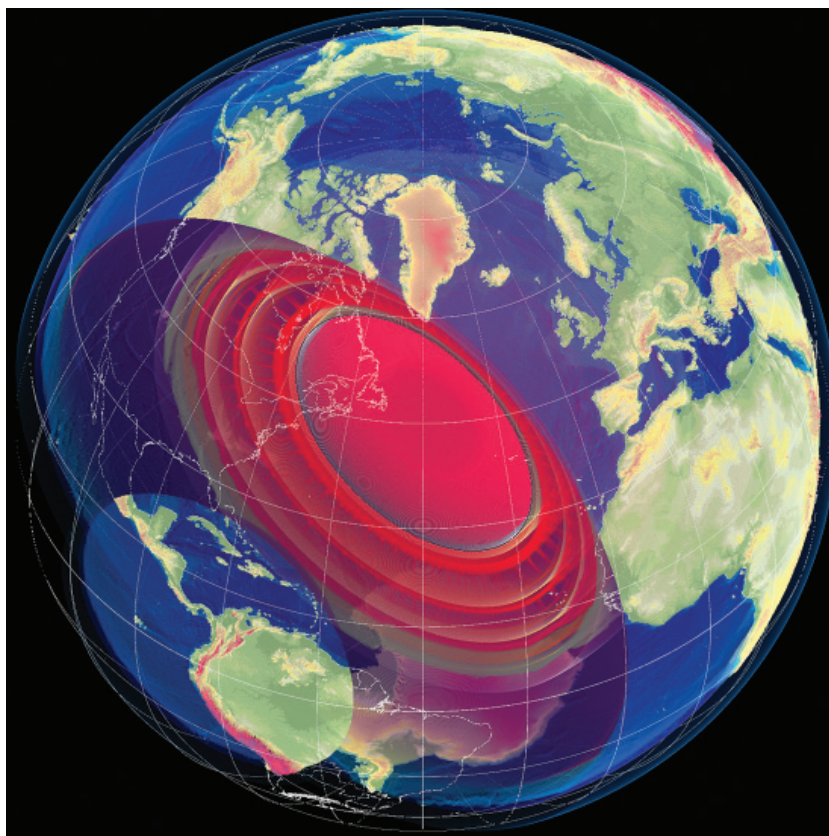
ёмких, наглядных и легких для восприятия виртуальных геоизображений, отображающие закодированные в многомерной модели свойства объектов или явлений географической среды с использованием приёмов картографического дизайна [5].

На рис. 1 представлено виртуальное геоизображение, полученное как вариант визуализации многомерной модели Земли в форме *виртуального глобуса* [2], который можно вращать в окне визуализации в произвольном направлении для просмотра модели с различных ракурсов. Оно сформировано посредством визуализации выборки 3D растровых ячеек экспериментальной модели Земли, коды которых соответствуют заданным кодам поверхностей суши, океана и дна океана, а также кодам некоторых условных форм областей объёма Земли.

Поверхности суши и дна океана в данном изображении окрашены соответственно уровням высоты и глубины в заданные оттенки цветов гипсометрической и батиметрической шкал, а ядро и некоторые, условно определённые полости в строении Земли выделены оттенками красного цвета. При визуализации, по пространственному запросу, выполнен фигурный «срез» модели заданной формы, проходящий через центр Земли, для показа её внутреннего строения. Остальные реальные и условные закодированные слои внутреннего строения Земли оставлены прозрачными, и в разрезе видна только часть срезанных условных слоёв строения и «ядра» Земли. Также отображены закодированные на уровне поверхности суши контуры материков и границы государств, отчётливо заметные на месте среза модели, и сетка географических координат.

#### **Визуализация виртуальных моделей**

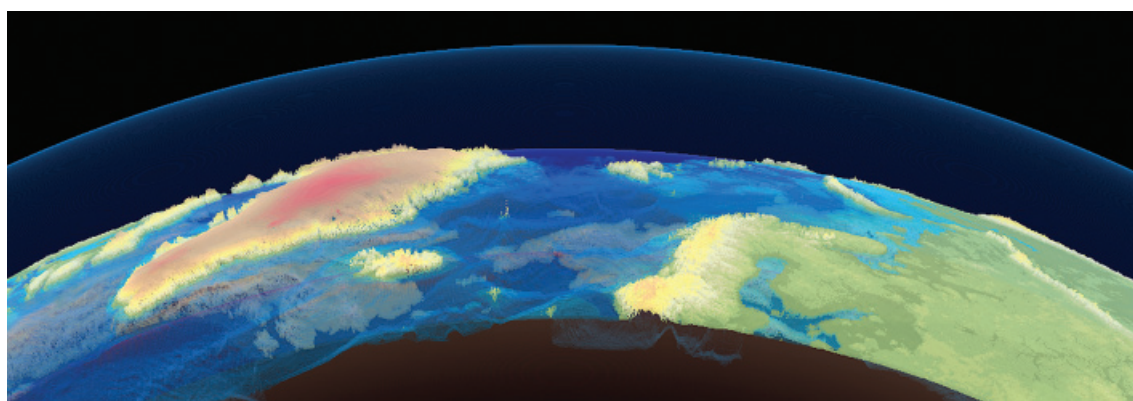
Процесс виртуального моделирования в многомерной пространственно-временной модели может быть одномоментным и иметь результатом статичное цифровое геоизображение, но может быть и длительным, в том числе интерактивным, процессом при воспроизведении последовательностей геоизображений в окне визуализации. При визуализации многомерных моделей в виде статичных геоизображений, как и при воспроизведении динамических виртуальных геоизображений модели, в окне визуализации должны параллельно отображаться графические элементы, определяющие пространственную, в том числе географическую, и временную привязку, ориентацию и масштаб геоизображения, а также временной отчёт.



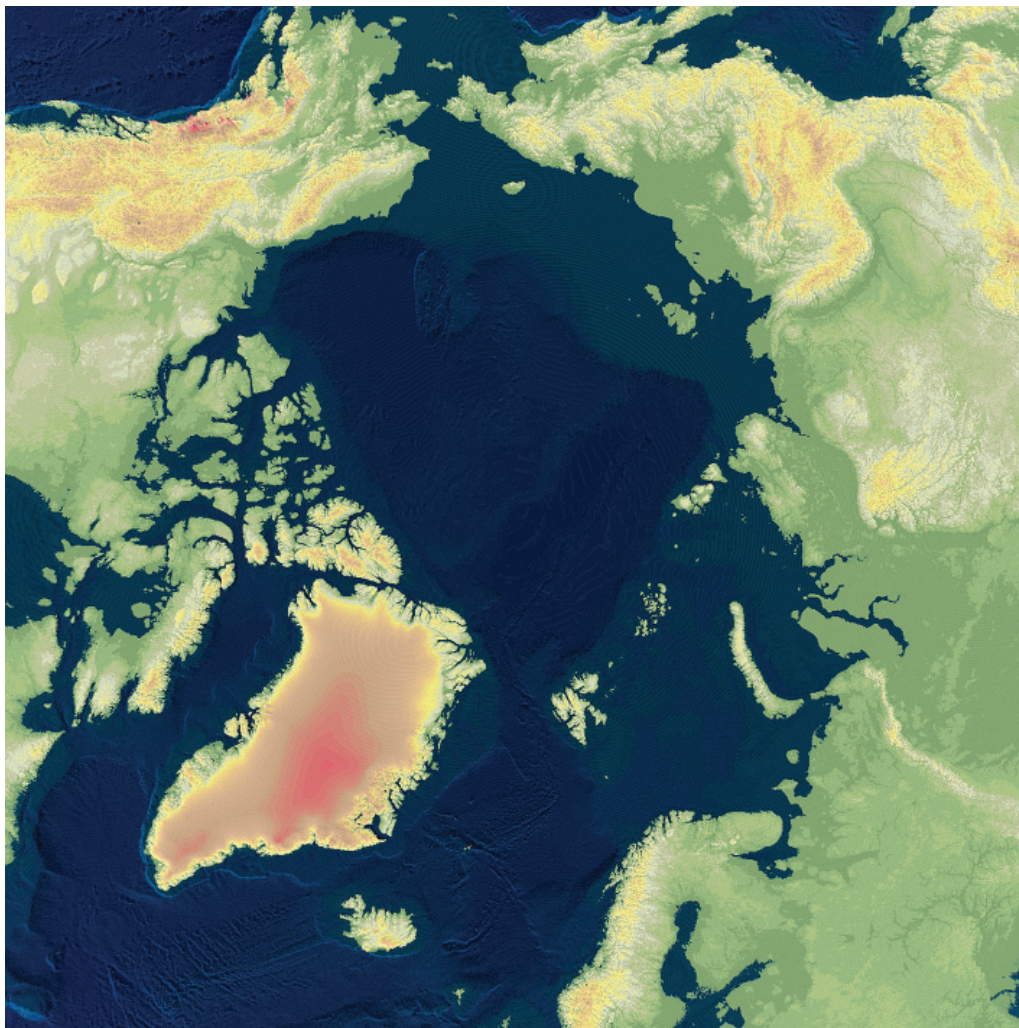
*Рис. 1. Вариант визуализации пространственно-временной модели Земли*

Одиночным двумерным геоизображением модели может быть отдельная виртуальная сцена или снимок модели, снятые с заданного ракурса. Такое геоизображение может быть получено в результате выполнения условного атрибутивного запроса, которым должно определяться, будет ли отображаться та или иная ячейка 3D растра в итоговой сцене, какое из значений свойств будет принимать участие в формировании изображения и каким образом это значение будет отображаться на изображении. На основе полученной по запросу выборки, с учётом заданных параметров ви-

зуализации, а также условий общей освещённости сцены и дополнительных эффектов, может быть выполнена операция перебора всех выбранных ячеек, находящихся на линии взгляда условного наблюдателя с заданного ракурсом сцены местоположения в логическом 3D пространстве модели для формирования итогового значения цвета элемента растра итогового двумерного изображения. На рис. 2 представлен пример геоизображения, полученный таким способом визуализации для многомерной пространственно-временной модели Арктики.



*Рис. 2. Вариант визуализации модели Арктики*



*Рис. 3. Геоизображение модели Арктики с точки над Северным полюсом*

Итоговое изображение, таким образом, формируется как бы «просвечиванием» пространства модели. Посредством выполнения пространственно-атрибутивного запроса к многомерной модели могут быть получены 3D изображения фрагментов модели задаваемой формы, 3D изображения со срезами модели задаваемой формы, 3D и 2D изображения задаваемой формы поверхностей, 2D изображения срезов, 2D карты, снимки и другие варианты двумерных и трехмерных геоизображений модели.

На рис. 3 представлен вариант виртуального геоизображения модели Арктики, полученный с точки взгляда, расположенной над Северным полюсом Земли.

При визуализации многомерной пространственно-временной модели, помимо её собственных данных, могут также использоваться векторные и растровые

геоданные из иных источников пространственной информации. В процессе визуализации формируется совмещённое, гибридное геоизображение, в создании которого могут участвовать 2D и 3D растры и поверхности; 2D и 3D площадные, линейные и точечные векторные покрытия; временные данные; космические и аэрофотоснимки. Изображение этих данных должно генерироваться одновременно с изображением данных многомерной модели в единой системе координат итоговой 3D виртуальной сцены. Использование цвета, прозрачности, вспомогательных эффектов и прочих элементов картографического и художественного дизайна при отображении всех указанных компонентов 3D виртуальной сцены должно обеспечивать читаемость и наглядность сложного, комбинированного изображения.

Особые перспективы для виртуального моделирования, визуализации и построения интеллектуального интерфейса виртуальных моделей окружающей среды открываются с появлением аппаратных средств объёмного воспроизведения, способных отображать информацию не на плоскости, а в объёмах реального пространства, и воспроизводить воспринимаемое объёмным изображением.

Разработка методов и алгоритмов виртуального моделирования с целью получения новых видов интеллектуальных геоизображений объёмного воспроизведения, подобно цифровому зеркалу, отражающих пространство, время и свойства окружающей среды, уже в скором времени должна установить новую планку для уровня информативности и степени выразительности дизайна виртуальных геоизображений.

#### Список литературы

1. Берлянт А.М. Виртуальные геоизображения. – М.: Научный мир, 2001. – 54 с.
2. Берлянт А. М. Глобусы. – М.: ГЕОС, 2006. – 79 с.
3. Берлянт А. М. Теория геоизображений. – М.: ГЕОС, 2006. – 261 с.
4. Косиков А. Идеальные модели реальности для географических исследований // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 5. – С. 81–87.
5. Ушакова Л., Косиков А. Картографический дизайн многомерных географических моделей // Геодезия и картография. – 2014. – № 12. – С. 29–37.
6. Volume Graphics / A. Kaufman, D. Cohen, R. Yagel // IEEE Computer. – July 1993. – Vol. 26, № 7. – P. 51–64.
7. Towards Real Time Volume Rendering / R. Yagel // Proceedings of GRAPHICON 1996 Saint-Petersburg, Russia. – July 1996. – Vol. 1, P. 230–241.
8. Ray Casting Architectures for Volume Visualization / H. Ray, H. Pfister, D. Silver, and T. Cook // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. – September 1999. – Vol. 5, № 3. – P. 210–223.