

УДК 528.9

ФОРМИРОВАНИЕ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ МНОГОМЕРНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ МОДЕЛЕЙ

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 формирования, анализа и визуального воспроизведения многомерных пространственно-временных (3D растровых) моделей окружающей среды, а также структуры представления данных в этих моделях. Рассмотрены основы воспроизведения многомерных географических моделей в форме статических и динамических виртуальных геоизображений, в том числе на базе аппаратных средств объёмного воспроизведения. В качестве иллюстраций приведены примеры виртуальных геоизображений многомерных экспериментальных моделей Земли, Арктики и Антарктики высокого пространственного разрешения. Выделены основные подходы к организации пользовательского интерфейса с многомерными пространственно-временными моделями окружающей среды, обеспечивающие различные степени свободы и широту возможностей для исследователя в управлении отображением формируемых на базе этих моделей виртуальных геоизображений и интерактивному взаимодействию с этими моделями.

Ключевые слова: многомерные пространственно-временные модели окружающей среды, тематические признаковые пространства, виртуальные геоизображения, виртуальное моделирование

FORMATION AND REPRODUCTION OF MULTIDIMENSIONAL SPACE-TIME 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 of formation, analysis and visual playback of multi-dimensional space-time (3D raster) model of the environment, as well as the data presentation structure of these models. Considered the foundation reproduction of multidimensional geographical models in the form of static and dynamic virtual geoimages, including hardware-based volumetric playback. As illustrations are examples of virtual geoimages of multidimensional experimental models of the Earth, Arctic and Antarctic of high spatial resolution. Highlighted the main approaches to the organization of the user interface with multi-dimensional space-time models of the environment, providing different degrees of freedom and the breadth of opportunities for researchers in the management of the virtual geoimages display, formed on the basis of these models, and interact with these models.

Keywords: multi-dimensional space-time models of the environment, thematic feature spaces, virtual geoimages, virtual modelling

Методы формирования, анализа и визуального воспроизведения той или иной цифровой модели опираются в первую очередь на структуру данных модели. Многомерные пространственно-временные модели представляющие информацию, привязанную к объёмным ячейкам пространства-времени, позволяют, в общем случае, поддерживать произвольную структуру и разные категории данных, включая: *номинальные данные*, являющиеся категоризированными или поименованными значениями, в которых фактическое значение, используемое для каждой категории, не имеет собственной, присущей ему значимости, а означает просто значение класса; *порядковые данные*, которые аналогичны номинальным, за исключением того, что значения файла упорядочивают классы в определенную систему, т.е. нумерованных и поименованных классов, представляющих, например, порядковую систему данных; *интервальные данные*, организованные в определенном

порядке, для которых интервалы между значениями являются значимыми, но для которых необязательно иметь абсолютный нуль; *соотносительные данные*, которые измеряют условие, которое имеет естественный нуль, как-то: электромагнитное излучение, осадки или наклон местности. Среди этих категорий *номинальные и порядковые* определяются как *категориальные или тематические*, в то время как интервальные и соотносительные данные представляют непрерывные градации и определяются как *непрерывные*. В структуре данных моделей категориальные данные служат также ссылками на записи внешних баз данных, отдельные массивы данных и метаданные.

Содержание многомерных пространственно-временных ячеистых моделей, в своих элементарных ячейках, включающих описания состояний заданного элементарного объёма реального пространства в определённые, избранные моменты времени, формируется посредством про-

ецирования пространственно-координированных временных данных в логически объёмное, трёхмерное пространство модели [3]. Группа методов, ответственная за формирование и наполнение моделей, включает методы проецирования и геометрического преобразования различных видов географических данных в многомерном, логически объёмном пространстве моделей. Исходные географические данные, которые могут быть интегрированы в модель, включают: цифровые модели различных поверхностей многих типов; многие виды данных дистанционного зондирования, в том числе: панхроматические и мультиспектральные космические снимки, гиперспектральные данные, аэроснимки, радиолокационные (радарные) данные, данные лидарной съёмки и др.; базы пространственных данных; временные геоданные; векторные и растровые тематические карты и прочие цифровые геоизображения. Данные проецируются в пространство цифровой модели с заданной системой либо условных трёхмерных координат, либо конкретной системой небесных сферических координат, с заданным пространственным экстендом и разрешением.

Методы построения и визуализации 3D растровых, воксельных моделей [7], которых можно считать в определенной мере прообразами многомерных пространственно-временных моделей, к настоящему времени широко применяются в медицине, кинопроизводстве и компьютерных играх, но лишь немногие из современных геоинформационных систем используют подобные методы. Так, геоинформационная система GRASS (GRASS Development Team, GNU General Public License) реализует отдельные возможности построения и визуализации 3D растровых моделей в рамках собственного графического интерфейса [8], а ряд программных пакетов 3D-компьютерной графики общего назначения, как, например, *Paraview*, предоставляют инструменты визуализации воксельных моделей, построенных в том числе по географическим данным [5]. Ряд технологий, например технология *Voxel Assisted Layered Earth Modeling* (VALEM, Geosoft Inc., Canada), позволяют генерировать 3D-воксельные геофизические модели на основе надземных и поверхностных данных гравитационного и магнитного поля Земли для детализации представлений о геологических особенностях отдельных регионов [9]. Используется гибридный подход, который позволяет

совмещать гриды, географические поверхности и 3D-растровые воксельные модели в едином виртуальном геоизображении. Выразительные результаты доказывают перспективность исследований в области разработки гибридного подхода в технологиях виртуального моделирования для различных направлений пространственных исследований.

Воспроизведение многомерной модели может быть одномоментным процессом и иметь результатом визуализацию одиночного статичного цифрового геоизображения, но может быть и длительным, в том числе интерактивным, процессом управляемого воспроизведения последовательно-стем двумерных геоизображений в окне визуализации 2D-дисплея, или управляемой 3D-сцены или голограммы с использованием устройств объёмного воспроизведения. Цифровые пространственные модели, вне зависимости от типа реализации конкретной модели, визуализируются в образной графической форме в огромном числе вариантов электронных геоизображений [2], которые могут быть представлены: плоскими или двумерными геоизображениями (карты, планы, аэро- и космические снимки, фотокарты, космофотокарты, анаморфозы и др.); объёмными или трёхмерными геоизображениями (3D-карты, стереомодели, панорамы, анаглифы, голограммы и др.); динамическими объёмными трёхмерными и четырёхмерными геоизображениями (анимации, фильмы, атласы и *виртуальные геоизображения*). Дизайн виртуальных геоизображений, которые наследуют свойства практически всех перечисленных выше классов, основан на синтезе графических средств создания плоских карт, объёмных моделей, фотоизображений, анимаций, внешних эффектов окружающей среды и звуковых эффектов [1]. Виртуальные геоизображения можно рассматривать как наиболее удачную и универсальную форму воспроизведения цифровых пространственно-временных моделей, что актуализирует разработку методов визуализации и свойств дизайна [4] реальных и абстрактных виртуальных геоизображений для их зрительной интерпретации и интерактивного визуально-инструментального анализа.

Появление 3D-дисплеев, способных отображать информацию не на плоскости, а в реальном трёхмерном пространстве, определяет новые требования к наглядности и информативности представления географических данных при воспроизведении

многомерных пространственно-временных моделей. Наиболее перспективные модели этих устройств, которые воспроизводят воспринимаемое объемным изображением без использования дополнительных приспособлений, только начинают появляться [4]. Значительная часть технологий данных устройств зафиксирована пока только в виде отдельных патентов и описаний, и лишь немногие из них реализованы в виде серийных аппаратов. Серийно выпускаемые в настоящее время, как на базе LCD-панелей, так и на базе плазменных панелей, *стереоскопические дисплеи* воспроизводят два ракурса объемной сцены, которые формируют только иллюзию объемного – стереоскопического изображения. В анонсах и обзорных статьях, содержащих описания экспериментальных образцов, описываются *многовидовые 3D-дисплеи*, которые отображают несколько последовательных ракурсов объемной сцены, из которых каждые два составляют стереопару и воспроизводят широкую зону стереоэффекта, обеспечивая большую глубину объема воспроизведения. *Волюметрические дисплеи* визуализируют изображение в виде вокселей в некотором фиксированном объеме воспроизведения, обеспечивая создание реального объемного изображения и возможность его наблюдения под большими

углами зрения. Наиболее перспективными в ряду данных устройств можно признать *голографические дисплеи*, воспроизводящие подобие традиционной голограммы. Они отображают световое поле реальной объемной сцены через множество воспроизводимых ракурсов и обеспечивают максимально реалистичное 3D-изображение, обладающее всеми оптическими свойствами отображаемых реальных объектов. Так, *технология создания голографических изображений ZScape* (Zebra Imaging Inc., USA) [10] позволяет строить объемные географические карты, переносить 3D-объекты на плоскость и визуализировать их в виде высокого качества голограмм.

При визуализации многомерных моделей в виде статичных геоизображений, как и при воспроизведении динамических виртуальных геоизображений модели, необходимо параллельное отображение ориентирующих и управляющих элементов пользовательского графического интерфейса устройства или системы, определяющие пространственную, в том числе географическую, привязку, ориентацию и масштаб геоизображения, а также временной отчёт, и позволяющих изменять параметры и настройки отображения 2D, 3D и 4D электронных геоизображений.

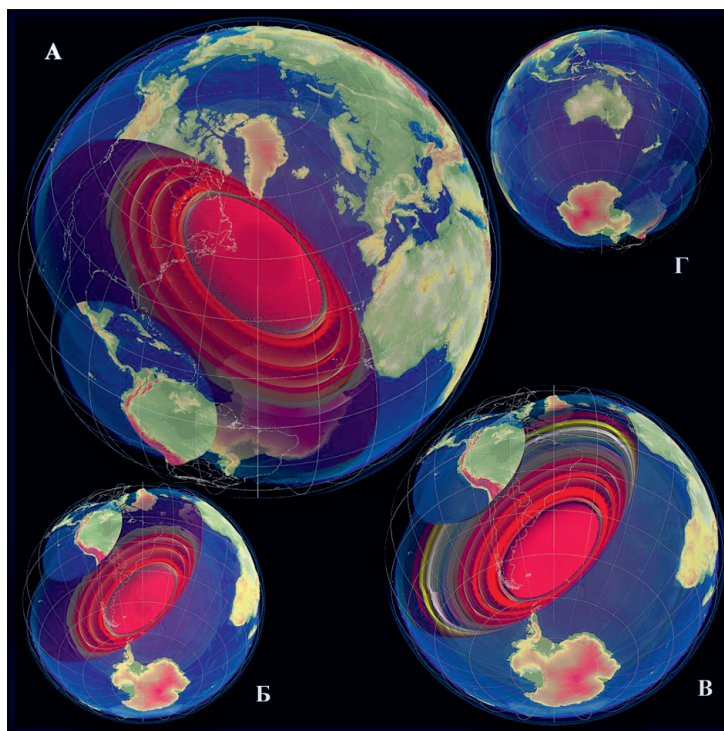


Рис. 1. Варианты визуализации экспериментальной отладочной модели Земли

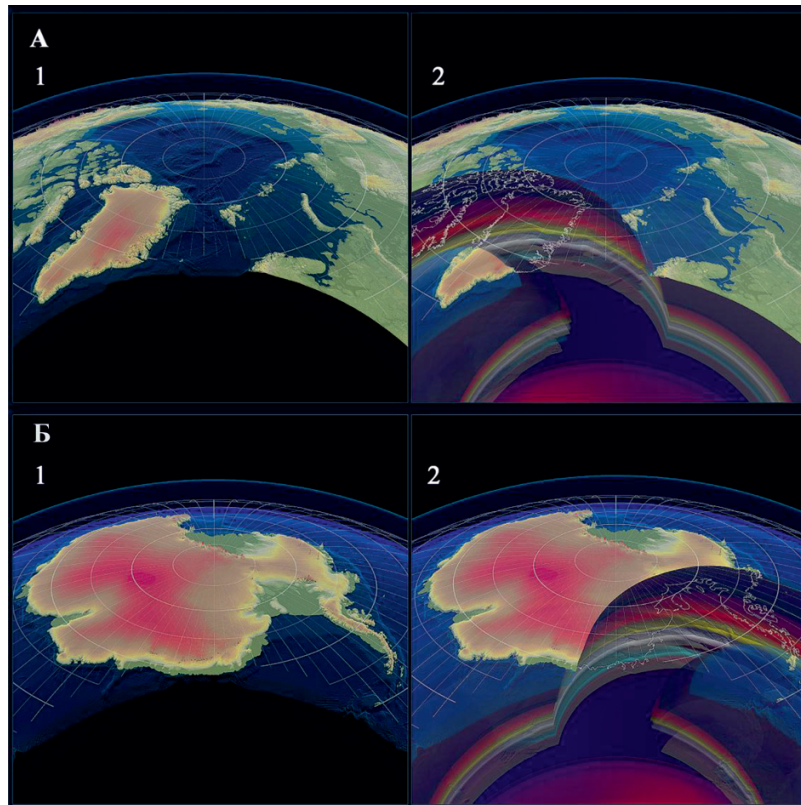


Рис. 2. Варианты визуализации экспериментальных моделей Арктики и Антарктики

Одинокое двумерное виртуальное геоизображение многомерной пространственно-временной модели, например отдельная виртуальная сцена или снимок модели, снятые с заданного ракурса, 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 в итоговом изображении. На основе полученной по запросу выборки, с учётом заданных параметров визуализации, 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 выбранным ракурсом сцены местоположения в логическом 3D-пространстве модели для формирования итогового значения цвета элемента растра итогового двумерного изображения. Таким образом, итоговое

изображение формируется посредством как бы «просвечивания» логического пространства многомерной модели [6].

На рис. 1 показаны варианты визуализации экспериментальной отладочной модели Земли, содержащей 16 777 216 000 ячеек, с фигурным срезом заданной формы (А – вид со стороны Северного полюса, Б, В, Г – вид со стороны Южного полюса, где визуализируемая модель Земли включает различные условные слои внутреннего строения и отображена с различных ракурсов 3D-сцены; поверхности суши и дна океана отображены оттенками гипсометрической и батиметрической шкал; условные слои внутреннего строения Земли показаны в заданных цветах).

Посредством выполнения пространственно-атрибутивных запросов к многомерной модели могут быть получены 3D изображения фрагментов модели задаваемой формы, 3D изображения со срезами модели задаваемой формы, 3D и 2D изображения задаваемых поверхностей, 2D изображения срезов, 2D карты, снимки и другие варианты двумерных и трехмерных

геоизображений модели. В гибридном подходе, при воспроизведении многомерной пространственно-временной модели, помимо её собственных данных, могут также использоваться векторные и растровые гео-данные иных источников пространственной информации. В процессе воспроизведения формируется совмещённое, гибридное геоизображение, в создании которого участвуют 2D и 3D растры и поверхности; 2D и 3D площадные, линейные и точечные векторные покрытия; временные данные; цифровые космические снимки и аэроснимки. Изображение этих данных генерируется одновременно с изображением данных многомерной модели в единой системе либо условных трехмерных координат, либо небесных сферических координат итоговой 3D виртуальной сцены, с заданным пространственным экстендом и разрешением. 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.

На рис. 2 показаны варианты визуализации экспериментальных моделей Арктики и Антарктики, каждая из которых содержит по 32 768 000 000 ячеек, где поверхности суши и дна океана отображены оттенками гипсометрической и батиметрической шкал и представлены: А – модель Арктики (1 – вид модели с произвольно заданного ракурса сцены, 2 – с фигурным срезом заданной формы, с отображением условных слоёв внутреннего строения Земли в заданных цветах); Б – модель Антарктики (1 – вид модели с произвольно заданного ракурса сцены, 2 – с фигурным срезом заданной формы).

Более сложным представляется воспроизведение многомерных пространственно-временных моделей в виде динамических виртуальных геоизображений, которое может осуществляться посредством особого интерфейса в программно-управляемой среде, в формируемых виртуальных сценах которой обеспечивается интерактивное взаимодействие пользователя с моделируемым пространством и его отдельными объектами, их зрительное, слуховое и осязательное восприятие [5]; а также, с применением виртуальных аудио-видео переменных графических, анимационных, объёмных, звуковых и прочих эффектов, реализуется управление свойствами ото-

бражения моделируемых объектов. Этот интерфейс может включать и инструменты интерактивного редактирования моделей. Динамические виртуальные геоизображения могут отображать различные временные состояния отобранных свойств пространственно-временной модели и быть реализованы в подобие видеofilма или анимации. Наиболее перспективный вариант воспроизведения свойств модели в рамках программно-управляемой среде, предоставляющий исследователю возможность взаимодействия с самой моделью, предусматривает возможность визуализации модели в режиме реального времени, что требует от компьютерных систем наличия значительных объёмов оперативной памяти и высочайшего быстродействия. Возможно создание предварительной записи 3D-сцен модели, снятых с множества ракурсов для отображения в заданных условных знаках отобранных свойств модели, что даёт при просмотре во вьюере возможность быстрого, управляемого пользователем перемещения между 3D виртуальными сценами, но ограничивает возможности перемещения внутри виртуальной модели числом отснятых 3D сцен и исходными условиями их формирования. Подход, состоящий в формировании и сохранении дочерней, упрощённой по свойствам, пространственному и/или временному охвату, и/или пространственному разрешению от исходной пространственно-временной модели, при визуализации в соответствующей программно-управляемой среде, предусматривает формирование 3D-сцен модели на лету, а следовательно, обеспечивает возможность перемещения наблюдателя между любого ракурса виртуальными 3D-сценами в произвольном порядке по любой выбранной траектории и настройку *виртуальных аудио-видео переменных* и параметров воспроизведения виртуальной 3D сцены в реальном времени. Вариант, предполагающий воспроизведение виртуальных геоизображений на базе исходной, полной пространственно-временной модели в реальном времени в программно-управляемой среде, даёт исследователю максимальную свободу и возможности управления свойствами и *виртуальными аудио-видео переменными* отображения модели, обеспечивает возможность прямого редактирования и обработки модели и/или её, задаваемых пространственными и/или временными границами, областей.

Список литературы

1. Берлянт А.М. Виртуальные геоизображения. – М.: Научный мир, 2001. – 54 с.
2. Берлянт А.М. Теория геоизображений. – М.: ГЕОС, 2006. – 261 с.
3. Косиков А. Идеальные модели реальности для географических исследований // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 5. – С. 81–87. http://journal.miiigaik.ru/arhiv_zhurnalov/2014/.
4. Ушакова Л., Косиков А. Картографический дизайн многомерных географических моделей // Геодезия и картография. – 2014. – № 12. – С. 29–37. <http://journal.cgkipd.ru/archive/2014-december>.
5. Косиков А., Ушакова Л. Виртуальное моделирование и многомерные географические модели // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 2. – С. 164–169.
6. Косиков А., Ушакова Л. Виртуальные геоизображения пространственно-временных моделей окружающей среды // Геодезия и картография. – 2016. – № 5. – С. 43–51. <http://journal.cgkipd.ru/archive/2016-may>.
7. Volume Graphics / A. Kaufman, D. Cohen, R. Yagel // IEEE Computer. – July 1993. – Vol. 26, № 7. – P. 51–64.
8. GRASS – 3D raster data in GRASS GIS // [Электронный ресурс]: URL: <https://grass.osgeo.org/grass71/manuals/raster3dintro.html> (дата обращения: 10.11.2015).
9. G. Chandler. A hybrid solution worth its salt // Earth Explorer. – March 25, 2015. [Электронный ресурс]: URL: http://www.earthexplorer.com/2015/A_Hybrid_Solution_Worth_its_Salt.asp (дата обращения: 10.11.2015).
10. Zebra Imaging // [Электронный ресурс]: URL: <http://www.zebraimagingstore.com/default.asp> (дата обращения: 10.08.2014).