

УДК 528.9

**МНОГОМЕРНЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМЛИ, АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ****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 аспекты построения экспериментальных многомерных пространственно-временных (3D растровых, временных) географических моделей Земли, Арктики и Антарктики. Обсуждается представление о многомерных пространственно-временных моделях, модифицируемая структура данных, методы формирования, пространственного анализа и визуального воспроизведения данного типа моделей. Указываются источники исходных пространственных и временных данных, и приводятся их основные типы. Описываются основные стадии проводимых авторами исследований по созданию моделей Земли и её полярных областей, и даются основные характеристики и параметры разрабатываемых моделей. Приводятся варианты визуализации построенных экспериментальных моделей Земли, Арктики и Антарктики в форме их виртуальных геоизображений с заданными свойствами. Обсуждаются перспективы описываемых исследований, и выделяется их значимость для решения научно-практических задач.

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

**MULTIDIMENSIONAL SPACE-TIME MODELS OF THE EARTH, ARCTIC AND ANTARCTIC****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 the aspects for creation of multidimensional space-time (3D raster, time) models of the Earth, the Arctic and the Antarctic. Discussed the notion of multi-dimensional space-time models, their modifiable data structures, methods of formation, spatial analysis and visual reproduction. Indicated sources of initial spatial and temporal data and provided their main types. Described the main stages of the authors conducted research on the models of the Earth and its polar regions construction and the main features of the developed models. Given options for visualization of the constructed experimental models of the Earth, the Arctic and the Antarctic in the form of their virtual geoimages with specified properties. Considered the perspectives of the reported studies, and highlighted their importance for solving scientific and practical problems.

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

В поисках новых подходов к геоинформационному моделированию в целях исследований географической оболочки Земли, её физических полей, глубинного строения и геодинамики, взаимодействия внутренних и внешних (гидросфера, биосфера, атмосфера, ионосфера) геосфер и их влияния на окружающую среду, в рамках деятельности Центра геоинформационных технологий кафедры Картографии и геоинформатики Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова проводятся исследования, направленные на разработку и развитие новых методов, алгоритмов и программных инструментов построения, анализа и визуализации многомерных пространственно-временных моделей на примерах построения экспериментальных моделей Земли и её полярных территорий высокого и сверхвысокого разрешения. Эти исследования

служат основой для разработки общей концепции создания, функционирования и использования многомерных пространственно-временных моделей окружающей среды. Исследования в целом направлены на решение фундаментальной проблемы наук о Земле – «Разработку новых методологий, технологий, технических средств и аналитических методов исследований поверхности и недр Земли, её гидросферы и атмосферы» и напрямую затрагивают такие направления фундаментальных исследований, как «Глобальные и региональные модели строения и формирования основных типов структур Земли» и «Геоинформатика, создание геоинформационных систем».

Главной задачей предпринимаемого исследования является *разработка новой методологии и комплекса технологий, средств и аналитических методов иссле-*

дований поверхности, гидросферы, атмосферы и недр Земли на базе развития методов построения, визуализации и анализа глобальной многомерной пространственно-временной модели Земли и региональных моделей её полярных областей. В рамках этой главной задачи решаются следующие основные задачи:

- разработка принципов создания, основ построения, функционирования, анализа и визуализации многомерных пространственно-временных моделей Земли, включая или её полярные регионы (далее – *моделей*);
- поиск и подбор источников исходных данных для интеграции и моделирования;

- разработка, апробирование и отладка основных методов построения, анализа и визуализации *моделей*;

- разработка принципов генерализации данных *моделей*;

- построение *моделей*, проецирование геоданных в пространство *моделей*;

- разработка вариантов визуализации и дизайна виртуальных геоизображений;

- разработка методов анализа и использования *моделей* Земли и её полярных регионов для выполнения научных и научно-практических исследований, решения актуальных глобальных и региональных экологических проблем.

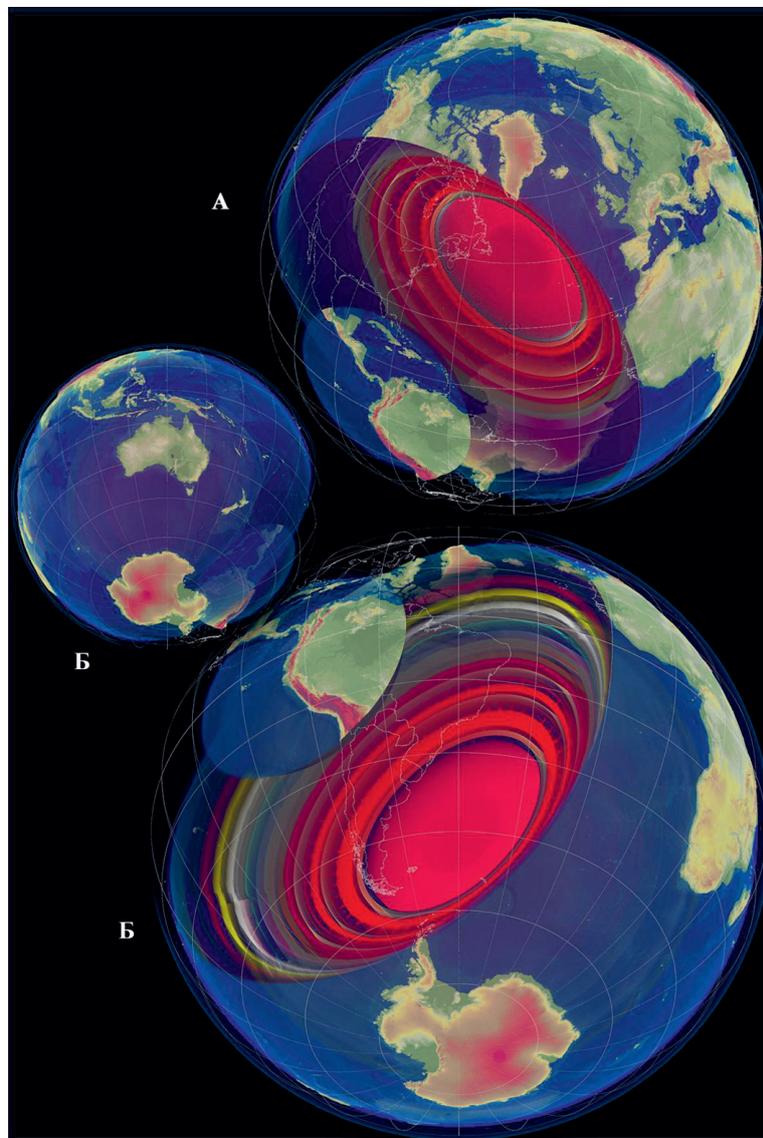


Рис. 1. Варианты визуализации экспериментальной модели Земли

В реализации данного исследования используется представление о многомерных пространственно-временных моделях, как о 4D и 3D-растровых, временных моделях, элементарные ячейки которых описывают состояния каждого заданного элементарного объёма реальной географической среды в различные моменты времени. Разрабатываемые методы построения, анализа и визуализации этих цифровых моделей опираются на модифицируемую структуру данных, позволяющую поддерживать различные категории данных, включая: *номинальные, порядковые, интервальные и соотносительные*. Среди этих категорий значения *номинальных и порядковых данных* рассматриваются в модели как *категориальные или тематические*, в то время как *интервальные и соотносительные* представляют непрерывные градации и считаются *непрерывными*. В структуре данных моделей категориальные данные могут также служить ссылками на записи баз данных, отдельные массивы данных и метаданные. Размещённые в моделях, на логическом уровне эти данные формируют объёмные временные поля значений в задаваемых *тематических признаковых пространствах* [1] с заданными свойствами. Изначально статичные, в развитии, эти модели в *признаковых пространствах* преобразуются в поддерживаемые непрерывным вычислительным процессом динамичные формы [4]. Возможность обработки больших массивов информации, содержащейся в моделях, обеспечивается использованием методов иерархического структурирования и сжатия данных. Модели формируются посредством проецирования пространственно-координированных географических данных в логически объёмное, трёхмерное пространство модели. Разработка детализированной структуры данных и начального перечня свойств географической среды, описываемых элементарными ячейками экспериментальных моделей Земли и её полярных территорий применительно к различным уровням пространственного разрешения, является одной из ключевых задач выполняемых исследований. Характер представления данных в многомерных ячейчатых пространственно-временных моделях создаёт особые условия для виртуального моделирования [5]. Специальной задачей исследования является разработка вариантов графических интерпретаций моделей в виде различных видов электронных гео-

изображений [2], среди которых ведущая роль отводится наиболее универсальной форме – виртуальным геоизображениям [6] и их дизайну, методика создания которых описана нами в [4].

В качестве исходных географических данных для построения этих моделей используются находящиеся в открытом доступе цифровые модели поверхностей Земли; данные дистанционного зондирования; базы пространственных данных; наборы тематических временных географических данных площадной, линейной и точечной локализации; векторные и растровые тематические карты. Эти наборы данных перерабатываются и проецируются в модели Земли и её полярных областей. В их состав входят данные о строении Земли, тектонике и геологии, рельефе дна мирового океана и рельефе суши, свойствах вод океана и его ледового покрова, ледниках и водах суши, почвенном покрове и растительности и другие. Для каждой из моделей – Земли, Арктики и Антарктики – эти данные проецируются в разработанные начальные, далее индивидуально модифицируемые и расширяемые, структуры данных моделей.

При создании моделей Земли и её полярных регионов развиваются уже ранее сформированные методы и алгоритмы построения, пространственного анализа и визуализации данного типа моделей. Эти методы включают:

- методы проецирования данных, привязанных к цифровым моделям поверхностей, базам временных пространственных и других видов географических пространственно-координированных данных в логическое пространство цифровой записи модели;
- методы выполнения логических и арифметических операций над задаваемыми типами данных одной или многих областей (полостей) многомерных временных данных задаваемой формы;
- методы вычленения областей модели задаваемой формы в производные частные модели, получения параметрических срезов модели;
- методы выполнения пространственного и статистического анализа географических данных применительно к многомерным временным моделям;
- методы объёмной визуализации модели для получения как статических, так и динамических изображений по задаваемым параметрам и другие разработанные методы.

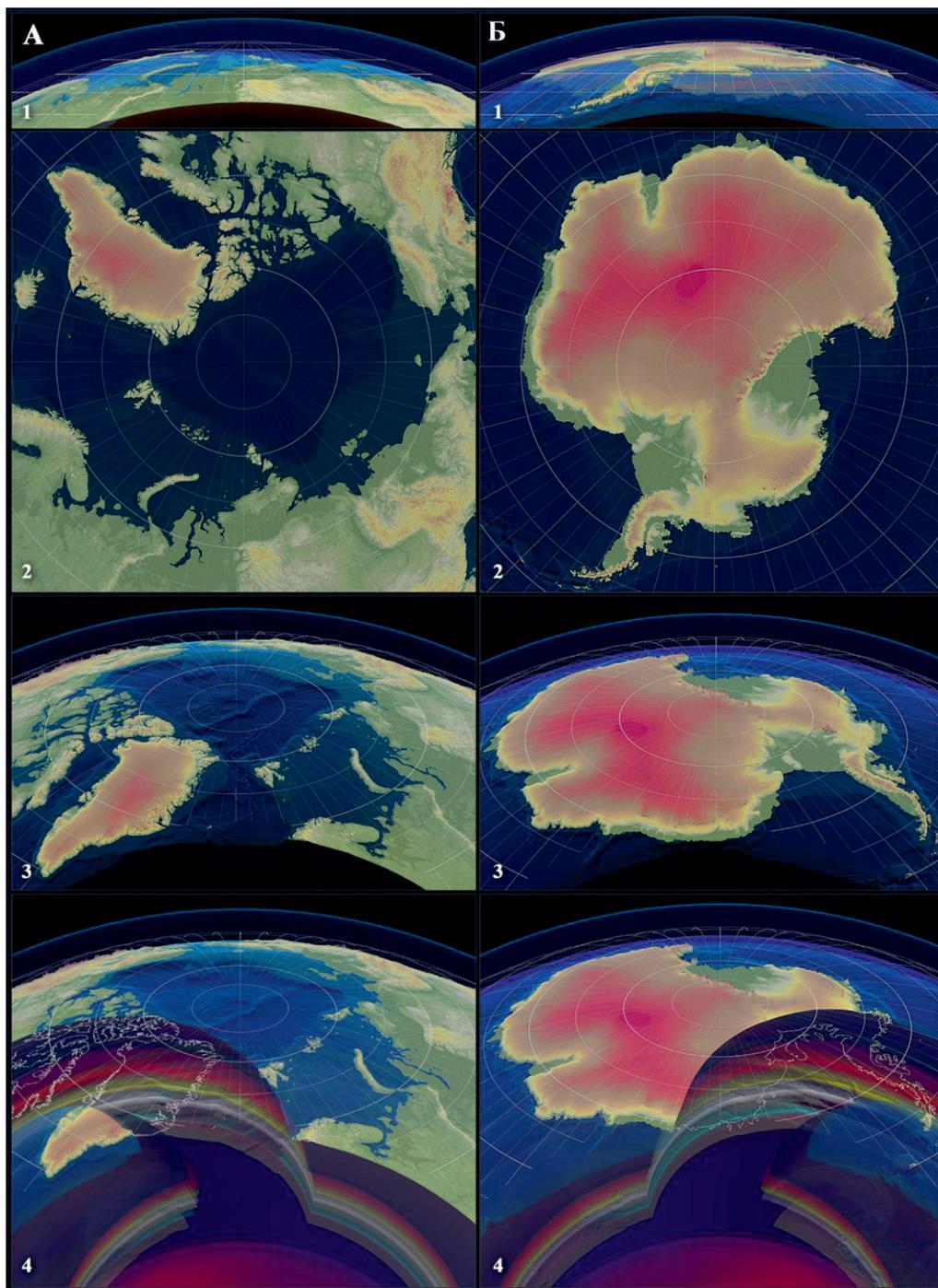


Рис. 2. Варианты визуализации моделей Арктики и Антарктики

В рамках исследования разрабатываются и апробируются новые методы и инструменты, необходимые для построения моделей, выполнения комплексного анализа моделей и их визуализации. Как структура данных, так и развиваемые методы построения, анализа и визуализации

многомерной модели описанного типа, являются новыми и до сих пор в мире не используются.

Выполняемые исследования имеют следующие последовательные основные стадии и частично перекрывающиеся этапы, которые включают следующие:

I. Разработка методов построения, поддержки функционирования, редактирования, анализа и визуализации многомерных моделей Земли, Арктики и Антарктики в базовом 3D-пространственном разрешении – 1 воксел к 500x500x500 м, включая разработку и детализацию структур представления данных.

II. Поиск, подбор и оценка источников геоданных для интеграции в модели, предварительная обработка данных, разработка методов необходимой генерализации, формирование баз данных *моделей*.

III. Построение моделей Земли, Арктики и Антарктики в базовом пространственном разрешении, проектирование геоданных в пространственно *моделей*.

IV. Аprobирование экспериментальных вариантов анализа и визуализации, получение экспериментальных статических и динамических изображений *моделей*.

V. Разработка методов построения, анализа и визуализации *моделей* в высоком и сверхвысоком 3D-пространственном разрешении (1 воксел = 10x10x10 м и более высоких).

VI. Построение *моделей* Земли и её полярных регионов высокого и сверхвысокого пространственно-временного разрешения.

VII. Разработка методов анализа и использования *моделей* сверхвысокого разрешения для выполнения научных и научно-практических исследований, решения актуальных глобальных и региональных экологических проблем.

В представляемом исследовании создаются цифровые многомерные модели Земли и её полярных регионов. Для общей модели Земли область модели определяется кубом с ребром 12986 км с центром в центре Земли.

На рис. 1 представлены варианты визуализации экспериментальной отладочной модели Земли с фигурным срезом заданной формы, на которых поверхности суши и дна океана отображены оттенками гипсометрической и батиметрической шкал, а условные слои внутреннего строения Земли показаны в заданных цветах:

А – вид со стороны Северного полюса,

Б – вид со стороны Южного полюса.

В качестве полярных регионов принимаются области Земли, расположенные:

А – севернее 60 градуса с. ш. – Арктический регион,

Б – южнее 60 градусов ю. ш. – Антарктический регион.

Для этих полярных территорий, кодируемые области реального пространства опре-

деляются параллелепипедами с размерами 7500x7500x1500 км, и включают части атмосферы, гидросферы и литосферы.

Сформированы начальные методы, базовые алгоритмы и программные инструменты, необходимые для построения, пространственного анализа и визуализации многомерных пространственно-временных моделей Земли, Арктики и Антарктики. Выполнены многочисленные построения экспериментальных вариантов этих моделей в различных пространственных разрешениях.

В приводимых иллюстрациях показываются разработанные в рамках проводимых изысканий различные, с разных ракурсов и различного отобранного содержания варианты визуализации экспериментальных отладочных моделей Земли и её полярных территорий разных уровней 3D-пространственного разрешения, содержащие от 1 728 000 000 до 175 616 000 000 ячеек.

На рис. 2 показаны варианты визуализации экспериментальных моделей Арктики и Антарктики, где поверхности суши и дна океана отображены оттенками гипсометрической и батиметрической шкал и представлены:

А – модель Арктики

(1 – вид с точки над Экватором, 2 – вид с точки над Северным полюсом, 3 и 4 – виды в произвольно заданном ракурсе сцены, 4 – с фигурным срезом заданной формы, с отображением условных слоёв внутреннего строения Земли в заданных цветах);

Б – модель Антарктики

(1 – вид с точки над Экватором, 2 – вид с точки над Южным полюсом, 3 и 4 – виды в произвольно заданном ракурсе сцены, 4 – с фигурным срезом заданной формы, с отображением условных слоёв внутреннего строения Земли в заданных цветах).

Результаты данных исследований должны заложить основы подходов и методов к созданию и использованию моделирующих процессов отражающих происходящие в географической оболочке процессы и явления для решения прикладных и фундаментальных задач науки. На этой основе в дальнейшем могут быть созданы действующие модели Земли и её полярных регионов, которые уже на современном этапе развития технологии могут использоваться для решения многих глобальных и региональных научных и научно-практических задач, в том числе задач освоения и хозяйственного использования Арктического и Антарктического регионов и их природных ресурсов.

Текущие результаты, среди которых – экспериментальные модели Земли, Арктики и Антарктики, а также набор методов, алгоритмов и инструментов, обеспечивающий их построение и функционирование, являются первыми шагами к решению перспективной задачи исследований – построению интеллектуального интерфейса виртуальных многомерных пространственно-временных моделей окружающей среды со сверхвысоким разрешением.

#### 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/](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>.