

**А. В. Леонов**, к. ф.-м. н. (Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН, г. Москва)  
**А. Е. Бобков** (Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный Московской области).  
**Е. Н. Ерёмченко** (Группа «Неогеография», г. Протвино Московской области).

## 3D-ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ДЛЯ СИСТЕМ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ<sup>1</sup>

*Рассмотрены подходы к организации и представлению геопространственной информации в системах виртуальной реальности на основе 3D-модели территории. Смоделирована территория с использованием виртуального глобуса, представлена концепция 3D-документа как основа научной стереовизуализации, приведён пример 3D-документирования природной территории (проект «Виртуальная Долина гейзеров»). Показано, что развитие средств негеографии и технологий стерео-отображения обеспечивает возможность широкого применения методов виртуальной реальности для демонстрации и анализа геоданных.*

*Approaches to the organization and presentation of geospatial information in virtual environments based on 3D-model of the landscape are described. Landscape modeling using virtual globe is overviewed, the concept of 3D-document is introduced as the basis of scientific stereo-visualization, an example of 3D-documentation of the natural territory is presented («Virtual Valley of Geysers» project). It is shown that the development of neogeography tools and stereo-display technologies provides an opportunity for a broad application of virtual environments for display and analysis of geo-data.*

**Ключевые слова:** 3D-документ; виртуальная реальность; негеография; модель территории; виртуальный глобус.

**Keywords:** 3D-document; Virtual environment; Neogeography; Landscape model; Virtual globe.

### Введение

Технологии фотограмметрии, позволяющие восстановить трёхмерную модель объекта по его двумерным изображениям, общеизвестны и применяются в различных областях, в том числе для восстановления рельефа поверхности земли по данным ДЗЗ. Развитие коммерческой спутниковой съёмки высокого и сверхвысокого разрешения с начала 2000-х гг. позволило в массовом порядке создавать детальные цифровые модели обширных территорий. Развитие технологий *GPS (Global Positioning System)* примерно в тот же период времени обеспечило широкому кругу желающих возможность точной привязки к географическим координатам.

Технологии негеографии [1], воплощённые в инструментарии Google Earth и аналогичных продуктах с середины 2000-х гг., обеспечили массовую возможность хранения и отображения моделей территории и их информационного наполнения в отличие от дорогостоящих профессиональных геоинформационных систем.

В 2007 г. сформулирована концепция 3D-документа [2], представившая связку «3D-модель – информационное наполнение» как новый актуальный тип электронного документа. Мировой прорыв в производстве пользовательских 3D-дисплеев в 2010 г. обеспечил долгожданную доступность стереоскопических систем виртуальной реальности для рядового пользователя, в том числе для работы с приложениями, основанными на 3D-моделях территорий.

Таким образом, сегодня массовому пользователю доступна вся технологическая цепочка по созданию модели территории высокого разрешения, её информационному наполнению и интерактивному отображению в моно или стерео режиме. В статье рассмотрена методика создания виртуальной модели природного объекта для научных и образовательных задач на примере проекта «Виртуальная Долина гейзеров».

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты 09-07-02100-э\_к, 09-07-06042-г, 10-07-00407-а, 10-07-09262-моб\_з, 11-07-09215-моб\_з, а также проекта GeoEye Foundation.

### Моделирование территории и виртуальный глобус

Модель территории высокого разрешения может быть построена с использованием исторических топокарт, космических или авиационных данных ДЗЗ, а также наземного лазерного сканирования в зависимости от технических и финансовых ограничений.

Авиационные методы (аэрофотосъёмка и авиационное лазерное сканирование) точнее, следовательно, лучше, особенно для небольших территорий. В случае, когда их применение возможно технически и экономически, результатом является высокодетализированная, точная и фотореалистичная модель территории дециметровой точности. Реконструкция ландшафта для обширных областей обычно требует использования космических данных. Методы могут комбинироваться для создания 3D-модели обширной территории с повышенной детализацией некоторых районов, представляющих особый интерес. Открытые данные, как правило, имеют низкое разрешение и могут использоваться для создания грубых моделей.

Для России типичная ситуация – отсутствие каких-либо исходных данных для создания 3D-модели территории, кроме открытых космических данных низкого разрешения и старых «генштабовских» топокарт. В этом случае детальная 3D-модель территории может быть создана на основе новой спутниковой съёмки высокого разрешения. Лучший коммерчески доступный вариант на сегодняшний день – стереопара GeoEye-1 (Geo Stereo) с разрешением 0,5 м.

Для создания модели территории в проекте «Виртуальная Долина гейзеров» использовалась стереопара CartoSat-1 с разрешением 2,5 м для создания цифровой модели рельефа и снимок GeoEye-1 с разрешением 0,5 м (в качестве текстуры поверхности). Неоценимую помощь в создании модели территории оказал *Инженерно-технологический центр (ИТЦ) «СКАНЭКС»*.

3D-модель территории высокого разрешения («Виртуальная Долина гейзеров») представлена на рис. 1 (см. обложку).

Для точной привязки космоснимка высокого разрешения к мировой системе координат требуется выполнение спутниковой геодезической съёмки и определение координат опорных точек на местности. При использовании двухчастотного геодезического GPS-приёмника в дифференциальном режиме с опорными базовыми станциями точность определения координат опорных точек на местности может составить 0,1-0,5 м даже при значительном удалении опорных станций (более 100 км) со средним временем съёмки в каждой точке 1-3 ч [3]. Таким образом, точная привязка космоснимков высокого разрешения сегодня вполне доступна для массового пользователя.

Для отображения модели территории может использоваться виртуальный глобус – 3D-модель земного шара, в которую внедрена модель интересующей территории. На сегодняшний день, существуют десятки виртуальных глобусов и приложений для визуализации данных на их основе как открытых, так и с закрытым кодом. Все они с технической точки зрения решают похожие задачи: динамическую подгрузку и выгрузку спутникового покрытия и данных о рельефе, интерактивный рендеринг и отбрасывание невидимых объектов при отрисовке сцены, переход к локальным координатам при приближении виртуальной камеры к поверхности земли, учёт высоты рельефа при отображении данных и т. д. Виртуальные глобусы, как и любые графические приложения, обычно опираются на один из двух графических интерфейсов – DirectX или OpenGL. DirectX позволяет писать приложения только под Windows, в то время как OpenGL является кросс-платформенным интерфейсом и поддерживается также на Unix- и Mac-платформах.

Один из самых известных виртуальных глобусов – Google Earth. Он имеет ряд недостатков:

- не поддерживается пользовательская детализация данных о рельефе;
- не поддерживается отображение в стерео режиме;
- не поддерживается отображение объектов под поверхностью земли.

Исходный код Google Earth закрыт, и написание собственных плагинов к нему невозможно. Для разработки развитых приложений виртуальной реальности и научной визуализации удобнее использовать виртуальный глобус с открытым исходным кодом и возможностью его доработки под возникающие задачи. В проекте «Виртуальная Долина гейзеров» используется кросс-платформенный виртуальный глобус osgEarth на базе открытого программного обеспечения OpenSceneGraph и OpenGL [4].

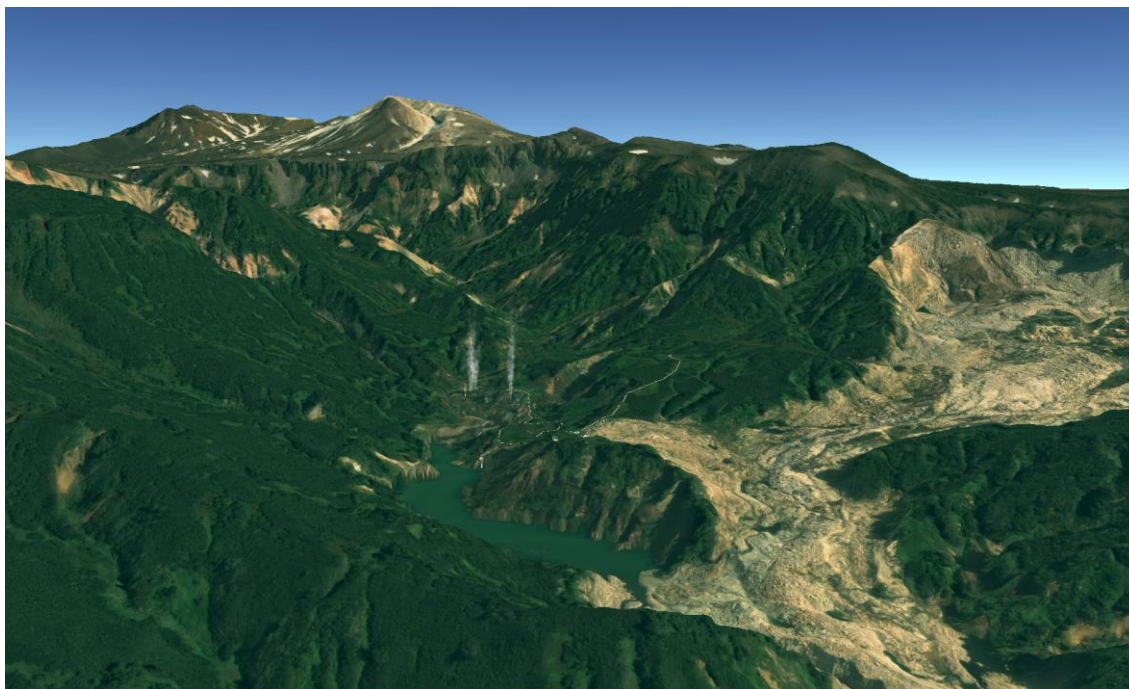


Рис. 1. 3D-модель территории высокого разрешения («Виртуальная Долина гейзеров»)

### **Представление 3D-модели в виртуальной реальности**

Детальная, фотореалистичная модель территории нуждается в адекватном способе её представления пользователю, обеспечивающем эффективное восприятие большого объёма визуальной информации. Такой способ хорошо известен – технология интерактивного стереоскопического отображения (виртуальной реальности), которая обеспечивает погружение пользователя в трёхмерную виртуальную модель исследуемого объекта [5].

Техническая реализация виртуальной реальности менялась вслед за развитием компьютеров и средств отображения. На смену экспериментальным приложениям 1980-х гг. пришли сложные программно-аппаратные комплексы 1990-х гг. для военных, промышленных и исследовательских задач. К рубежу тысячелетий сформировался устойчивый образ системы виртуальной реальности как штучной, дорогостоящей установки для узкоспециального применения.

Однако с 2000-х гг. рост производительности бытовых компьютеров, особенно графических процессоров, обеспечил неуклонную миграцию технологий виртуальной реальности к экономичным, массовым, общедоступным приложениям. Неслучайно один из пионеров технологии виртуальной реальности Ярон Ланье в середине 2000-х гг. стал консультантом Linden Labs по разработке многопользовательской виртуальной среды Second Life, а также одним из разработчиков бесконтактного интерфейса управления Kinect для игровой приставки Xbox360 компании Microsoft.

Последнее препятствие для массового применения технологий виртуальной реальности – отсутствие доступных средств стереоскопического отображения. Этот рубеж был взят в 2010 г. с появлением бытовых стереомониторов и технологии nVidia 3D Vision. Эту «революцию экранов» можно сравнить с переходом от чёрно-белого кино к цветному

или от LCD-кинескопов и стандарта «625 строк» к плоским экранам и телевидению высокой чёткости (FullHD).

В 2010-2011 гг. ведущие производители электроники выпустили на рынок бытовые стерео-телевизоры, видеокамеры и фотоаппараты, производители компьютерных игр представили игры с поддержкой стерео-режима. Очевидно, что применение стереотехники будет расширяться в ближайшие годы. Для научных и образовательных учреждений это означает повышение доступности технологий виртуальной реальности, возможность их широкого использования для своих целей.



Рис. 2. Приложение «виртуальной реальности» на основе 3D-модели территории с дополнительными интерактивными элементами («Виртуальная Долина гейзеров»)

Так, уже сегодня возможно широкое применение технологий виртуальной реальности для представления 3D-моделей территорий. Интерактивное стереоотображение позволяет интуитивным, естественным образом изучать территорию и расположенные на ней объекты по принципу совмещения развлечения и образования. При этом дополнительные интерактивные элементы способны существенно усилить эмоциональную вовлечённость пользователя. Приложение виртуальной реальности на основе 3D-модели территории с дополнительными интерактивными элементами («Виртуальная Долина гейзеров») представлено на рис. 2.

### **3D-документ как основа научной стереовизуализации**

В основу создания интерактивных приложений виртуальной реальности для науки и образования может быть положена концепция 3D-документа, предложенная рядом европейских исследователей в 2007 г. [2].

*3D-документ* – 3D-модель и связанная с ней информационная система, которая может включать как традиционную базу данных, так и слабоструктурированную информацию. Принципиальная схема 3D-документа изображена на рис. 3.

Соотношение информационной ценности 3D-модели и связанных с ней данных может быть разным. Если основную информацию несёт 3D-модель, то можно рассматривать 3D-документ как *3D-модель с дополнительным описанием*. Если же основной объём информации содержится в связанных данных, то можно рассматривать 3D-документ как *базу данных с интерфейсом на основе 3D-модели*. В любом случае, пользователь взаимодействует

с информационной системой преимущественно через 3D-модель, а наиболее глубокое погружение в виртуальное пространство 3D-модели достигается в интерактивном стереорежиме.

Научная стереовизуализация, как правило, опирается на массив исходных данных и связанные с ним (или построенные на его основе) 3D-модели исследуемых объектов, процессов или явлений. Поэтому идея 3D-документа может рассматриваться как основа для создания приложений виртуальной реальности в науке и образовании.

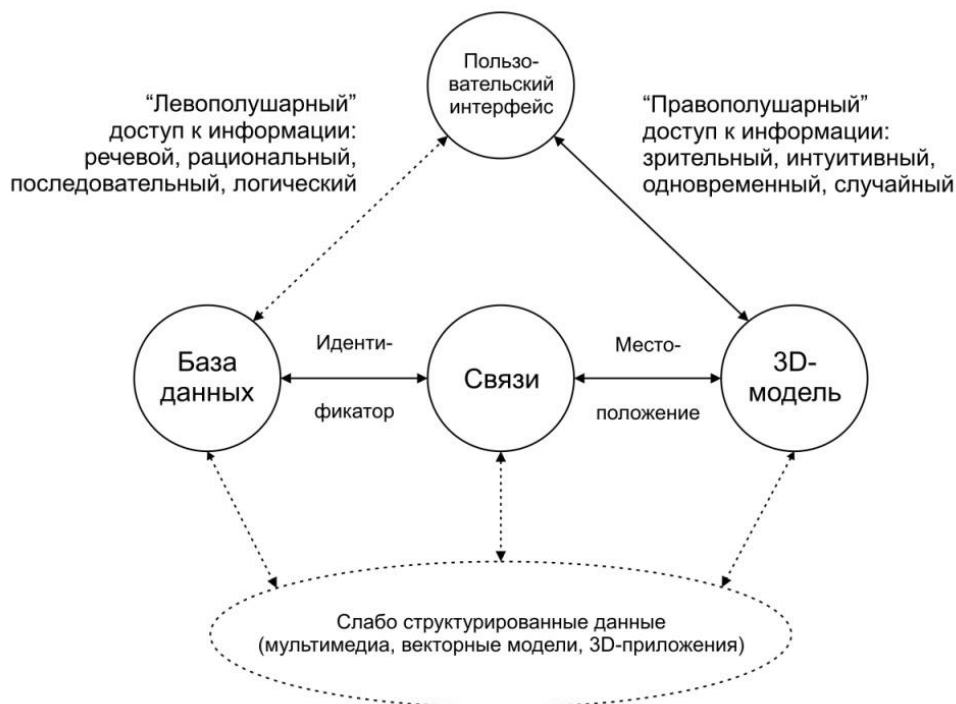


Рис. 3. Принципиальная схема 3D-документа

Важное условие погружения пользователя в виртуальное пространство 3D-модели – точность и визуальная реалистичность модели. Однако высокое пространственное разрешение означает большой объём данных и, соответственно, более сложный доступ через Интернет. Чем реалистичнее, детальнее 3D-модель, тем она более объёмна и менее доступна массовому пользователю. Пропускная способность каналов связи постоянно растёт, но растут и запросы пользователей к визуальному качеству моделей. Это базовое противоречие при 3D-документировании сложных объектов для массового пользователя.

Одно из предлагаемых решений этого противоречия заключается в использовании двух вариантов представления 3D-документа. Для системы виртуальной реальности используется модель высокого разрешения, а для веб-приложений – упрощённая модель, оптимизированная для загрузки через каналы связи. Обе модели применяют единую систему координат, что позволяет корректно привязывать к ним данные из общей информационной системы.

Например, в проекте «Виртуальная Долина гейзеров» используется модель территории высокого разрешения для систем виртуальной реальности и приложение Google Earth с моделью территории низкого разрешения для интернет-версии. В обоих случаях используется система координат WGS84 и общепринятый формат геопривязки данных *KML* (*Keyhole Markup Language*). Пример 3D-документа с двумя вариантами представления приведён на рис. 4. Такая структура 3D-документа обеспечивает также возможность распределённой коллективной работы над его развитием.

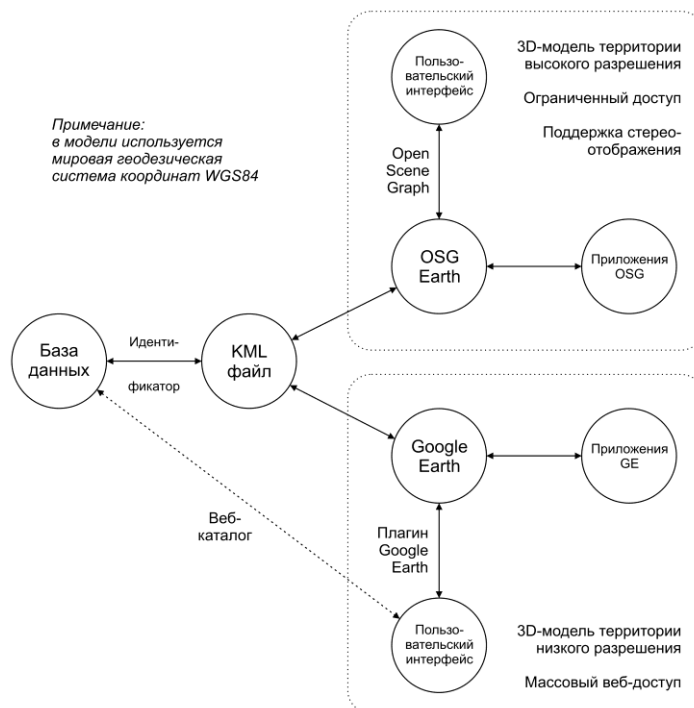


Рис. 4. Пример 3D-документа с двумя вариантами представления:  
OSG – Open Scene Graph

### Пример 3D-документирования территории – «Виртуальная Долина гейзеров»

3D-документирование объектов культурного наследия активно ведётся в Европе с начала 2000-х гг. – создание 3D-моделей архитектурных памятников и прилегающих территорий методами фотограмметрии и лазерного сканирования, иногда дополненное семантическим наполнением моделей, и т. д. Одним из активных исследователей в этой области является Фабио Ремондино [6]. Аналогичные методы могут применяться для 3D-документирования объектов природного наследия.

Долина гейзеров, расположенная в Кроноцком заповеднике на Камчатке, активно изучается исследователями из разных областей науки. Очередная активизация исследований в этом районе началась после катастрофического оползня в 2007 г. С 2009 года выполняется проект по созданию виртуальной 3D-модели Долины гейзеров для задач научной визуализации, экологического просвещения и виртуального туризма [7].

Моделирование территории, структура 3D-документа и его представление в системах виртуальной реальности и сети Интернет рассмотрены ранее. Примеры информационного наполнения и научной визуализации приведены на рис. 5-7 (см. обложку).

Одним из достижений проекта стала систематизация названий основных объектов в районе Долины гейзеров [8]. База данных с каталогом объектов доступна на веб-сайте проекта, взаимосвязана с 3D-моделью территории как в Интернет-версии модели, так и в приложении виртуальной реальности. Пример каталога основных объектов Долины гейзеров (центральная часть) представлен на рис. 5 (см. обложку). Описание наиболее известных гейзеров дополнено стереовидеосъемкой в формате FullHD, выполненной в 2011 году.

Для целей экологического просвещения реализована интерактивная модель принципиального устройства геотермальной системы, принципиальная схема которой представлена на рис. 6, см. обложку. В пространстве 3D-модели представлены результаты исследований локальной сейсмичности в районе Долины гейзеров (рис. 7, см. обложку) в 2008-2009 гг. по данным Камчатского филиала Геофизической службы РАН [9].

Ведётся постоянная работа над развитием модели территории и информационного наполнения, а также над повышением реалистичности и улучшением интерфейса интерактивного приложения виртуальной реальности.





Стереоскопическое отображение гео-данных на основе 3D-модели территории повышает эффективность представления научных результатов, помогает исследователям воспринимать и анализировать большие объёмы геопространственной информации. Открытый виртуальный глобус с возможностью отображения подземных структур может стать эффективной графической оболочкой для геологов и геофизиков.

Авторы благодарят за поддержку всех своих друзей и коллег – участников проекта «Виртуальная Долина гейзеров».

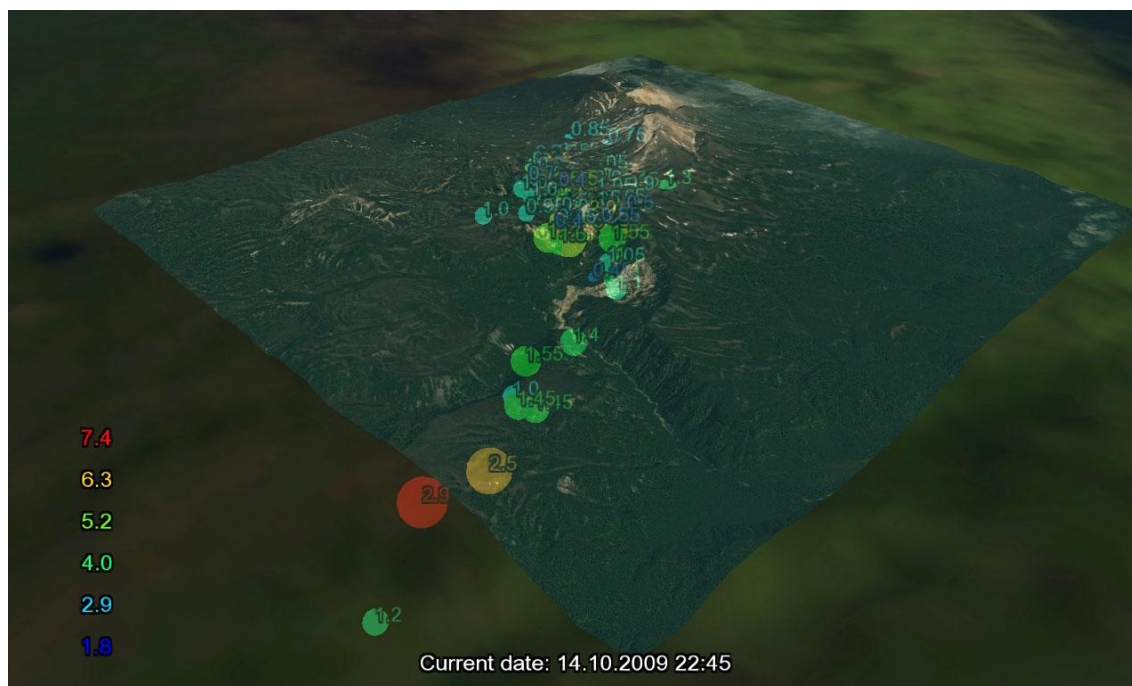


Рис. 7. Локальная сейсмичность в районе Долины гейзеров

### Библиографический список

1. Turner, A. J. Introduction to Neogeography. USA: O'Reilly Media, 2006. 54 p.
2. Fellner, D. W. et al. Guest Editors' Introduction: 3D documents // IEEE Computer Graphics and Applications. – 2007. – Vol. 27. – No. 4. – P. 20-21.
3. Леонов А. В. и др. Виртуальное моделирование территории на основе данных дистанционного зондирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъёмка. – М.: МИИГАиК, 2011. – № 2. – С. 46-52.
4. Бобков А. Е. и др. Исследование и разработка методов создания и изменения интерактивных трехмерных геоцентрических моделей рельефа в системах виртуального окружения // Труды 53-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук»: Часть VII. Управление и прикладная математика. Том 2. — М.: МФТИ, 2010. — с. 108-110.
5. Клименко С. В., Никитин И. Н., Никитина Л. Д. Аванго – система разработки виртуальных окружений. Москва-Протвино, ИФТИ, 2006. – 252 с. – ISBN 5-88835-017-6.
6. Remondino, F. and Rizzi, A. Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites — techniques, problems, and examples // Applied Geomatics. 2010. Vol. 2. No. 3. P. 85-100.
7. Алейников А. А., Бобков А. Е., Дрознин В. А. и др. Интерактивное 3D-приложение «Виртуальная Долина гейзеров» // Компьютерные инструменты в образовании. – 2011. – №4. – С. 41-49.
8. Леонов А. В. Систематизация названий основных объектов в районе Долины гейзеров (Кроноцкий заповедник, Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2012. – № 1. – Вып. № 19. – С. 231-246.
9. Кугаенко Ю. А. и др. Локальная сейсмичность района Долины Гейзеров по данным полевых наблюдений 2008-2009 гг. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2010. – № 1. – Вып. № 15. – С. 90-99.