

ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Ст. науч. сотрудник, кандидат физ.-мат. наук **А.В. Леонов**, кандидат геол. наук **А.А. Алейников**,
А.Е. Бобков, научный сотрудник **Е.Н. Ерёмченко**, научный сотрудник **А.С. Клименко**,
ст. научный сотрудник **П.В. Фролов**

АНО «Институт физико-технической информатики», Московская обл., г. Протвино

E-mail: leonov@icpt.su

ООО «Инженерно-технологический центр «СканЭкс», г. Москва

E-mail: shu@scanex.ru

Аннотация. Описано создание 3D-модели природной территории (Долины Гейзеров на Камчатке) и информационной системы, связанной с моделью. Модель рельефа создана на основе спутниковых снимков высокого разрешения. Информационное наполнение включает научные и научно-популярные данные: тексты, фото, видео, стерео видео, векторные модели и динамические анимации. Информация отображается на модели рельефа высокого разрешения в стерео режиме, а также на модели рельефа низкого разрешения в общедоступной Интернет-версии. Модель используется для научной визуализации и эколого-просветительской деятельности.

Ключевые слова: 3D-ландшафт, моделирование территории, 3D-документ, неогеография, виртуальное природное наследие

Abstract. The article presents 3D-model of a natural area (Valley of Geysers, Kamchatka) and information system connected with the model. Landscape is modeled using high resolution satellite imagery. Content of the model includes scientific and popular data such as texts, photos, videos, 3D videos, vector models, and dynamic animations. The information is displayed on high-resolution landscape model in stereo mode, and also on low-resolution landscape model in public web-version. The model is used for scientific visualization and environmental education.

Keywords: 3D landscape, territory modeling, 3D document, neogeography, virtual natural heritage

Введение. В статье описана работа по созданию открытой виртуальной 3D-модели Долины Гейзеров на Камчатке на основе данных дистанционного зондирования (ДДЗ) с

использованием технологий неогеографии, виртуального окружения и ситуационного моделирования. В рамках работы созданы: геопривязанная цифровая модель рельефа (ЦМР) высокого разрешения, открытая база данных с информацией об основных достопримечательностях, набор геопривязанных векторных и растровых данных (в том числе геопривязанные фото и стерео видеосъёмки, векторные модели и динамические анимации). Информация доступна в двух вариантах: стерео-версия в среде Open Scene Graph/Avango с использованием ЦМР высокого разрешения, и общедоступная Интернет-версия в среде Google Earth с использованием ЦМР низкого разрешения (www.valleyofgeysers.com).

Актуальность создания виртуальной модели Долины Гейзеров обусловлена тремя факторами. Во-первых, при исключительной туристической привлекательности, возможность посещения данного района ограничена как технически — из-за крайней труднодоступности, так и организационно — из-за заповедного режима. Это делает актуальным развитие «виртуального туризма» и обеспечение свободного доступа к информации об этом объекте [1]. Во-вторых, после оползня 2007 г. активизировалось изучение района Долины Гейзеров учёными различных специальностей с общей целью прогноза оползневой опасности. Это ставит насущную задачу визуализации научных данных и интеграции результатов различных исследований в едином пространстве как для их лучшего понимания, так и для обеспечения эффективного междисциплинарного взаимодействия [2–8]. В-третьих, Долина Гейзеров, являясь объектом всемирного природного наследия, необратимо изменяется на наших глазах вследствие естественных природных процессов: меняется рельеф, исчезают и появляются термопроявления, меняется режим их работы. Желание сохранить максимально полную и наглядную информацию об эволюции этого объекта делает актуальным создание его трёхмерной, динамической, интерактивной цифровой модели по технологии «виртуального окружения» [9,10].

Таким образом, целью работы является виртуальное моделирование Долины Гейзеров в форме открытого цифрового 3D-документа (3D-модели и связанной с ней информационной системы) для целей виртуального туризма и научной визуализации, а также развитие общих подходов к виртуальному моделированию территорий и объектов природного наследия с научными и научно-популярными целями для создания «виртуального природного наследия» [11].

Обзор литературы. Одна из основных тенденций развития электронных информационных систем в последние годы – это массовое создание и использование 3D-моделей. Конечно, трёхмерные модели создавались и раньше (и продолжают создаваться) вручную с использованием программных пакетов для 3D-моделирования. Однако по-настоящему массовый характер эта тенденция приобрела с развитием космических и авиационных технологий ДЗЗ и лазерного 3D-сканирования, которые обеспечили «взрывное» наполнение информационных систем объёмными моделями реальных объектов, создаваемыми полуавтоматически или автоматически.

Огромные объёмы информации, поступающие сегодня в электронные информационные системы в виде 3D-моделей и связанной с ними семантической «разметки», привели к появлению термина «3D-документ» [12]. 3D-документы стали очередным этапом развития технологий электронной документации, сменив динамические документы, и обозначили магистральное направление эволюции цифровых хранилищ информации в ближайшие годы. Создание 3D-моделей природных и рукотворных объектов с характерным размером в несколько километров («километровый» масштаб) является одной из наиболее сложных задач в сфере 3D-документации. Разрешение космических данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в этом случае, как правило, недостаточно для создания объёмной модели приемлемой точности, применение аэрофотосъёмки и авиационного лазерного сканирования бывает затруднено по техническим

и экономическим причинам, а для наземных 3D-сканеров этот масштаб слишком велик.

Оптимальным методом для создания детальной 3D-модели «километрового» масштаба является применение авиационных технологий ДЗЗ: аэрофотосъёмки и авиационного лазерного сканирования. В случае, когда это возможно технически и экономически, результатом является высоко детализированная, точная и фотореалистичная модель территории дециметровой точности. Например, описано автоматизированное создание 3D-модели центральной части Берлина площадью 6,2 км² на основе матрицы высот с разрешением 7 см [13]. Интересен пример 3D-моделирования каньона на о. Шпицберген (Норвегия) размерами 7×3×0,8 км с разрешением 10–15 см с использованием лазерного сканера, размещённого на лёгком вертолёте [14]. В случае, когда применение авиационных технологий ДЗЗ невозможно, более экономичной альтернативой является использование космических данных ДЗЗ для моделирования рельефа методами фотограмметрии (либо оцифровка топографических карт, созданных ранее теми же методами), и 3D-моделирование зданий и сооружений с использованием специализированного программного обеспечения. Например, таким методом выполнено виртуальное моделирование кампуса Гонконгского университета [15], виртуальное моделирование участков Великого китайского канала [16, 17]. Общим недостатком описанных методов является сложность организации массового доступа к модели, прежде всего, из-за большого объёма, который занимают детальные и фотореалистичные 3D-модели. В общем случае, для этого требуется установка выделенного сервера или набора серверов, обеспечивающих многопользовательский доступ.

Наиболее экономичный способ – использование в качестве основы модели открытых данных ДЗЗ типа Google Earth. Например, описано создание на базе сервиса Google Mars открытого веб-портала для посетителей Олимпийских Игр 2008 г. в Пекине [18]. По такой же технологии создана первая в России

3D-модель города — «Виртуальное Протвино» [19]. При этом легко решается задача массового доступа к модели, так же как и задача организации распределённой и дистанционной работы по развитию модели. Недостаток этого способа — грубая 3D-модель рельефа, используемая в Google Earth для большей части территории Земли (разрешение в плане 90 м, точность по высоте 20 м), и невозможность уточнения модели рельефа. Следует отметить, что для популярных приложений модель территории может создаваться в условном, «игровом» виде, без привязки к реальному рельефу и мировым координатам. Например, так выполнена игровая реконструкция Великого китайского канала [20].

Работа, описанная в данной статье, посвящена 3D-моделированию природного объекта с характерным размером в несколько километров и представляет собой поиск компромисса между высокой точностью и массовой доступностью модели. Набор геопривязанных данных отображается на двух моделях рельефа: локальная версия использует модель ландшафта с разрешением 2,5 м, созданную на основе данных ДЗЗ высокого разрешения, а Интернет-версия основана на сервисе Google Earth.

Принципы построения модели. Обзор доступных методов обнаруживает противоречие между двумя требуемыми характеристиками модели — точностью и доступностью. С одной стороны, поставленные цели требуют обеспечить массовую доступность модели, а с другой стороны, — как можно более высокую точность и реалистичность. Максимальная доступность означает свободный веб-доступ на базе традиционных веб-приложений. Максимальная точность и реалистичность достигается в системах «виртуального окружения», которые обеспечивают стереоскопическую визуализацию и эффект «погружения» в пространство модели. Кроме того, структура модели должна обеспечивать возможность распределённой коллективной работы над развитием модели, что означает необходимость использования единой стандартной системы координат и открытого формата представления данных.

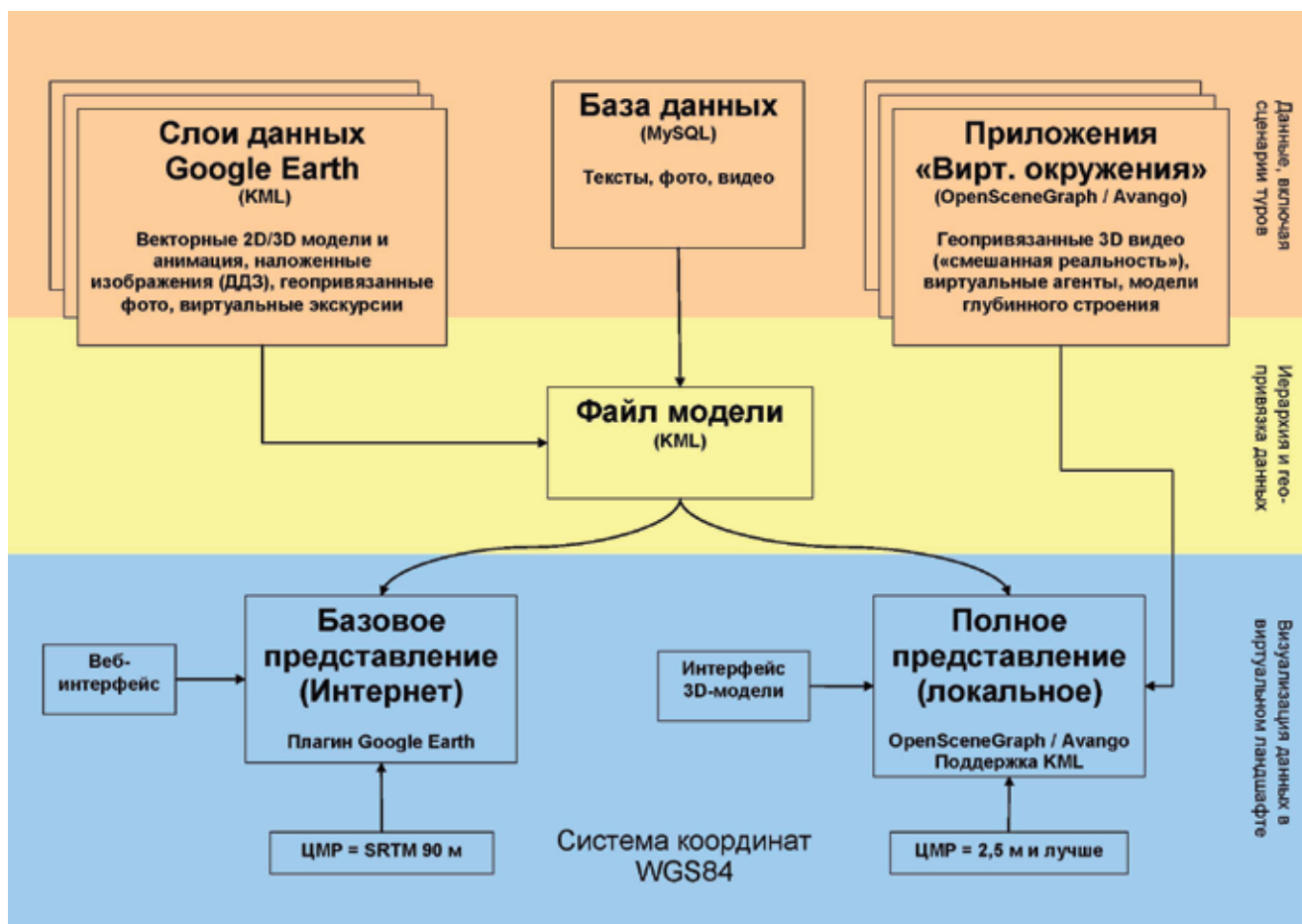


Рис. 1. Принципы построения модели

Поиск компромисса при решении указанного противоречия обусловил принципы построения модели, представленные на рис. 1. Информация хранится в двух форматах – частично в базе данных MySQL с веб-доступом, частично в виде отдельных KML файлов с веб-доступом. Географическая привязка осуществляется в системе координат WGS84 с использованием открытого формата KML. Для отображения геопривязанной информации используется два варианта виртуального рельефа: с разрешением 90 и 2,5 м. Таким образом, реализован принцип «одна модель – два представления».

Для обеспечения массовой доступности используется «базовое» представление — просмотр KML-файла модели, свободно доступного на веб-сайте проекта, через плагин Google Earth в любом традиционном веб-браузере. Платформа Google Earth является бесплатной и свободно доступной, но имеет закры-

тый исходный код. Недостатками «базового» представления является грубая ЦМР, используемая программой Google Earth, которую невозможно уточнить, отсутствие стереорежима воспроизведения, а также невозможность визуализации данных, расположенных ниже поверхности земли.

Для обеспечения высокой точности и реалистичности KML-файл модели отображается в среде OpenSceneGraph/Avango на базе ЦМР высокого разрешения. Платформа OpenSceneGraph/Avango является бесплатным программным обеспечением с открытым исходным кодом, предназначенным для разработки приложений «виртуальной реальности» с режимом стерео визуализации. Недостатком стерео представления модели является сложность организации веб-доступа (необходимость установки выделенного сервера и использования специализированной программы-клиента).

Модель рельефа высокого разрешения.

ЦМР высокого разрешения, точно позиционированная в мировой геодезической системе координат, является основой для виртуального моделирования территории. Она обеспечивает фотореалистичную визуализацию ландшафта, а также точное позиционирование объектов, расположенных на территории. Кроме того, ЦМР высокого разрешения может использоваться для численного моделирования геодинамических процессов.

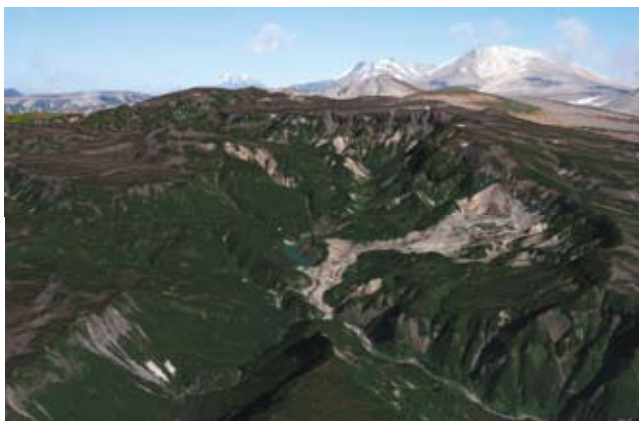


Рис. 2. Цифровая модель рельефа высокого разрешения



Рис. 3. Кадр стереокино в анаглифном формате



Рис. 4. Геопривязанная фотография

Для создания детальной ЦМР в нашей модели использовался цветной спутниковый снимок GeoEye-1 от 06.09.2009 с разрешением 0,5 м и монохромная спутниковая стереопара Cartosat от 19.09.2007 с разрешением 2,5 м. Для точной привязки ЦМР была проведена спутниковая геодезическая съёмка на местности в сентябре 2009 г. Для измерения координат использовался двухчастотный геодезический GPS-приёмник Trimble 5700, расчет результатов измерений производился в дифференциальном режиме с базовыми станциями GPS опорной геофизической сети. В результате были определены с дециметровой точностью координаты 12 точек, надёжно дешифруемых на снимке GeoEye-1 и на местности, и ЦМР была привязана в координатах ITRF/WGS84 с точностью порядка разрешения ЦМР.

Фотореалистичность полученной модели рельефа можно оценить по рис. 2. На переднем плане — ЦМР, на заднем — фотография.

Информационное наполнение. Наиболее интересными слоями данных как с точки зрения новизны подходов, так и с точки зрения достижения эффекта «погружения» пользователя в пространство модели являются: геопривязанные фото и стерео видеосъёмки, 3D-модели зданий, и анимация оползня.

Стерео видеосъёмка была выполнена с использованием двух синхронизированных цифровых HDTV-видеокамер Canon XH G1 в формате HDV 1920×1080 50i. Стерео клипы по отдельным объектам внедрены в виртуальную модель по технологии «смешанной реальности» (mixed reality). В веб-представлении модели 3D-клипы доступны в анаглифном формате (рис. 3). Панорамная фотосъёмка выполнена вдоль экскурсионных настильных троп и по маршрутам основных туристических троп из Долины Гейзеров. На этой основе создан набор геопривязанных фотографий и круговых панорам (рис. 4). 3D-модели зданий созданы в программной среде SketchUp (рис. 5). Анимация оползня 2007 г. выполнена на основе экспертных оценок [8]. Набор полигонов представляет последовательные положения тел оползня и обломочно-гряжевого потока с интервалом 15 с (рис. 6).

Два представления модели. Модель свободно доступна на веб-сайте www.valleyofgeysers.com через плагин Google Earth, подключаемый к любому традиционному веб-браузеру (рис. 7). Для управления отображением слоёв данных и отдельных объектов разработан Java-скрипт, обеспечивающий автоматическое построение меню управления моделью на веб-странице с окном плагина.

Для стерео отображения по технологии «виртуальной реальности» используется ЦМР высокого разрешения, внедрённая на виртуальный глобус (рис. 8). Перемещение в пространстве модели осуществляется с помощью 3D-джойстика с шестью степенями свободы. Модель в стерео режиме на основе ЦМР высокого разрешения демонстрируется на проекционной стерео системе в музее Кроноцкого заповедника.

Заключение. Статья демонстрирует возможности применения современных открытых геосервисов и бесплатных программных платформ с открытым исходным кодом для виртуального моделирования территорий на основе ДДЗ высокого разрешения. Описано создание виртуальной модели природного объекта – Долины Гейзеров на Камчатке – для информационной поддержки научных исследований и эколого-просветительской деятельности. Рассмотренные подходы могут использоваться для решения разных задач в области научной и научно-популярной визуализации геоданных.

Основные результаты работы:

1) предложена схема построения 3D-модели территории, которая позволяет отображать информацию как в стерео режиме с эффектом «погружения», так и в общедоступной Интернет-версии;

2) создан 3D-документ «Виртуальная Долина Гейзеров» в открытой программной среде, точность и реалистичность которого пригодны как для научной визуализации, так и для популярных приложений;

3) обеспечена возможность свободного развития модели за счет использования стандартного формата данных (KML) и мировой системы координат (WGS84).

В сравнении с результатами аналогичных работ следует отметить, прежде всего, возмож-

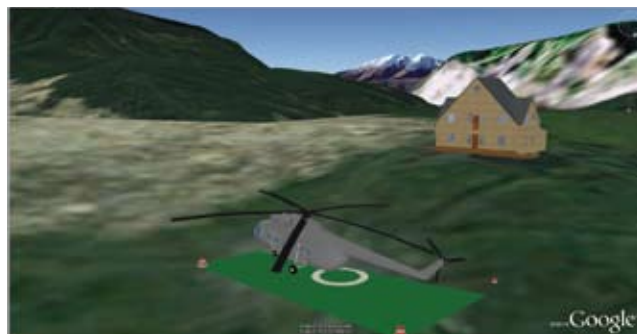


Рис. 5. 3D-модели зданий и техники



Рис. 6. Анимация оползня 2007 г.



Рис. 7. Интернет-представление модели

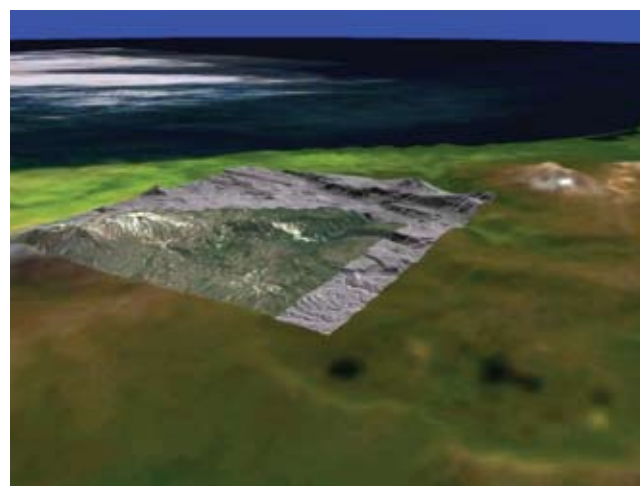


Рис. 8. ЦМР высокого разрешения на виртуальном глобусе

ность демонстрации модели на проекционной стерео системе, а также открытый веб-доступ к упрощённой версии модели.

Дальнейшие планы по развитию модели включают: уточнение ЦМР на центральную часть территории; повышение фотореалистичности виртуального ландшафта в стерео представлении; визуализацию глубинного строения, геологической истории и современных процессов; разработку виртуальных экскурсий с использованием виртуальных агентов; численное моделирование геодинамических процессов на основе ЦМР.

Благодарности. Проект «Виртуальная Долина Гейзеров» выполняется на базе Института физико-технической информатики при поддержке Кроноцкого заповедника, Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Камчатского филиала Геофизической службы РАН, Инженерно-технологического центра «СканЭкс». Проект поддержан грантами РФФИ (09-07-06042-г, 09-07-02100-э_к, 10-07-00407-а) и грантом GeoEye Foundation. Мы хотим поблагодарить всех людей, которые принимают участие в проекте и поддерживают нас. Формат статьи не позволяет перечислить всех поименно, полный список доступен на сайте www.valleyofgeysers.com в разд. «О проекте».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Жемчужина Камчатки — Долина Гейзеров* / Сугробов В.М., Сугрובה Н.Г., Дрознин В.А. и др. —П.-Камчатский: Камчатпресс, 2009. —108 с.
2. *Камчатская Долина Гейзеров* после катастрофы 3 июня 2007 г. / Пинегина Т.К., Делемень И.Ф., Дрознин В.А. и др. // Вестник ДВО РАН. —2008. —№ 1. —С. 33–44.
3. *Геологические предпосылки и возможность прогноза оползня, произошедшего 3 июня 2007 г. в Долине Гейзеров, Камчатка* / Леонов В.Л. // Труды конференции «Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России». —П.-Камчатский: ГС РАН, 2008. —Том 1. —С. 91–95.
4. *Экологические последствия оползня, произошедшего в Долине Гейзеров 3 июня 2007 г. (первый сезон после природной катастрофы)* / Лобков Е.Г., Лобкова Л.Е. // Труды конференции «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей». —П.-Камчатский, КФ ТИГ ДВО РАН, 2008. —С. 114–140.
5. *Геолого-геоморфологические последствия катастрофических обвальных и обвально-оползневых процессов в камчатской Долине Гейзеров (по данным аэрофотограмметрии)* /

Двигало В.Н., Мелекесцев И.В. // Вулканология и сейсмология. —2009. —№ 5. —С. 24–37.

6. *Разработка виртуальной модели Долины Гейзеров на Камчатке в Google Earth и визуализация оползневой опасности* / Леонов А.В. // Доклад на международной конференции GeysersValley2009 / АНО ИФТИ, ИВиС ДВО РАН, ФГУ «Кроноцкий заповедник». —П.-Камчатский, 2009.

7. *Локальная сейсмичность района Долины Гейзеров по данным полевых наблюдений 2008-2009 гг.* / Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Коновалова А.А. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. —2010. —№ 1. —Вып. № 15. —С. 90–99.

8. *Глубинная структура района Узон-Гейзерной вулканотектонической депрессии по данным микросейсмического зондирования* / Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Горбатилов А.В., Степанова М.Ю. // Доклады Академии наук. —2010. —Том 435. —№ 1. —С. 96–101.

9. *Интерактивное повествование в виртуальном окружении: обучающая система «Виртуальный Планетарий»* / Байгозин Д.А., Батурин Ю.М., Гёбель М. и др. // Вычислительные методы и программирование. —2004. —Т. 5. —№ 2. С. 192–205.

10. *Virtual story in cyberspace: Valley of Geysers, Kamchatka* / Andrey Leonov et al. // Proc. of 2010 International Conference on Cyberworlds. —IEEE CS CPS, 2010. —pp. 247–253.

11. *Виртуальное природное наследие: 3D-модель Долины Гейзеров* / Леонов А.В., Серебров А.А., Алейников А.А. и др. // Вопросы электромеханики, Труды НПП ВНИИЭМ. —М., 2010. —принята к печати.

12. *Guest Editors' Introduction: 3D documents* / Dieter W. Fellner, Dietmar Saupe, Harald Krottmair // IEEE Computer Graphics and Applications. —July/August 2007. —Vol. 27. —No 4. —pp. 20–21.

13. *Out-of-core topologically constrained simplification for city modeling from digital surface models* / Sebastian Möser, Roland Wahl, Reinhard Klein // Archives of ISPRS. Volume XXXVIII/5/W1. Trento 2009.

14. *Oblique helicopter-based laser scanning for digital terrain modeling and visualisation of geological outcrops* / S. J. Buckley, J. Vallet, A. Braathen, W. Wheeler // Archives of ISPRS. Vol. XXXVII. Part B4. Beijing 2008. —pp. 493–498.

15. *VCUHK: integrating the real into a 3D campus in networked virtual worlds* / Bin Chen, Fengru Huang, Hui Lin, Mingyuan Hu // Proc. of 2010 International Conference on Cyberworlds. —IEEE CS CPS, 2010. —pp. 302–308.

16. *Remote sensing analysis of the status of the Beijing-Hangzhou Grand Canal* / B. Deng, H. Guo, C. Wang, Y. Nie // Archives of ISPRS. Vol. XXXVII. Part B5. Beijing 2008. —pp. 231–236.

17. *The research and application of spatial information technology in cultural heritage conservation — case study on Grand Canal of China* / Feng Mao, Ze Liu, Wensheng Zhou, Jianxi Huang, Qiang Li // Archives of ISPRS. Vol. XXXVII. Part B5. Beijing 2008. —pp. 999–1005.

18. *Design and implementation of a portal site for the Olympic Games 2008 in Beijing using Google Maps* / Yuan Ying, Franz-Josef Behr, Hui Li // Archives of ISPRS. Vol. XXXVII. Part B4. Beijing 2008. —pp. 1793–1798.

19. *Протвино: цифровая модель города* (www.vprotvino.ru).

20. *Animations, Games, and Virtual Reality for the Jing-Hang Grand Canal* / Wenzhi Chen et al. // IEEE Computer Graphics and Applications. —May/June 2010. —pp. 84–88.