

Использование данных ДЗЗ для создания «виртуального наследия»

А.В. Леонов¹

Ключевые слова: виртуальное наследие, моделирование территории, Долина гейзеров

Application of ERS Data for Virtual Heritage

A. Leonov¹

Key words: virtual heritage, modeling of landscape, the Valley of Geysers

Виртуальное наследие — это цифровые копии, модели памятников культуры и природных объектов. Идея виртуального наследия состоит в сохранении информации об уникальных объектах, обеспечении широкого доступа к ней.

ЮНЕСКО определяет две категории всемирного наследия: культурное (Cultural Heritage) и природное (Natural Heritage), для некоторых объектов возможно сочетание обеих категорий. Такое же деление применимо в области виртуального наследия.

Цифровая копия объекта — широкое понятие. Практическое воплощение идеи «виртуального наследия» варьируется от создания цифровых фотографий до разработки детальных 3D-моделей, основанных на них информационных систем и интерактивных приложений.

С начала 2000-х гг. деятельность по созданию виртуального наследия переживает настоящий бум, что связано со стремительным развитием и выходом на массовый рынок технологий, позволяющих создавать детальные 3D-модели объектов. Основными из них являются лазерное сканирование, фотограмметрия, дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), а также разнообразное программное обеспечение для 3D-моделирования.

Virtual heritage is digital copies, models of culture monuments and objects of nature. The idea of virtual heritage consists in preservation, conservation of information about unique objects and provision of wide access to such information.

UNESCO defines two categories of global heritage: Cultural Heritage and Natural Heritage. For certain object the combination of both categories is applicable.

Digital copy of an object is a broad concept. Practical implementation of virtual heritage varies from digital photographs to detailed 3D models, information systems based on such models and interactive applications. The same division is applicable for virtual heritage.

Since the beginning of the 2000-s the trend of virtual heritage lives through a real boom caused by rash development and appearance in the broad market of technologies allowing creation of detailed 3D models of objects. The main are laser scanning, photogrammetry, Earth remote sensing (ERS), and various software for 3D modeling.

Thematic of virtual cultural heritage, mostly in the sphere of culture, architecture, archaeology, attracts the main interest of researchers. The most respectable international conferences in virtual heritage are: The International Conference on Virtual

¹К.ф.-м.н., руководитель Центра виртуальной истории науки и техники ИИЕТ РАН, e-mail: a.leonov@ihst.ru

¹Ph.D. (Physics and Mathematics), Head of the Center for Virtual History of Science and Technology at Vavilov Institute for the History of Science and Technology of the Russian Academy of Sciences, e-mail: a.leonov@ihst.ru

Особый интерес исследователей вызывает тематика виртуального культурного наследия, прежде всего в области скульптуры, архитектуры, археологии. К наиболее представительным международным конференциям в области виртуального наследия относятся The International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM), International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST), 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures (3D-ARCH). В сети существует множество архивов, коллекций с описанием выполненных проектов в этой сфере, например, CyArc (<http://archive.cyark.org/>).

Одним из наиболее представительных журналов в сфере культурного наследия является Journal of Cultural Heritage (ISSN: 1296-2074), значительная часть публикаций в котором посвящена методам, технологиям и примерам проектов виртуального культурного наследия. Публикации по тематике виртуального наследия можно также найти в журналах Virtual Reality (ISSN: 1359-4338), IEEE Computer Graphics and Applications (ISSN: 0272-1716), The Photogrammetric Record (ISSN: 0031-868X), IEEE Multimedia (ISSN: 1070-986X), Journal on Computing and Cultural Heritage (ISSN: 1556-4673), Science and Technology for Cultural Heritage (ISSN: 1121-9122), Applied Geomatics (ISSN: 1866-9298), Remote Sensing (ISSN: 2072-4292) и др.

В последнее время развивается также область виртуального природного наследия, в основе которой лежит 3D-моделирование и документирование уникальных природных объектов, ландшафтов, регионов. Природные объекты могут меняться со временем, находиться под угрозой разрушения — как вследствие деятельности человека, так и в силу естественных природных процессов. Фиксация информации, обеспечение доступа к ней в данном случае необходимы точно так же, как и для памятников культуры.

При этом следует понимать, что 3D-модель объекта нужно не только создать, но и показать пользователю. Поэтому важную роль в развитии направления виртуального наследия играют технологии визуализации цифрового 3D-контента, как онлайн, так и на стационарных системах виртуальной реальности. Рост скоростей доступа к Интернету, развитие 3D-движков и форматов трехмерных данных, появление в 2010 г. бытовых стереоэкранов способствуют развитию рынка сопутствующих технологий и программного обеспечения, а значит, и массовому распространению приложений «виртуального наследия».

Спрос на приложения «виртуального наследия», безусловно, не сравним с популярностью компьютерных игр. Соотношение здесь такое же, как между музеем и кинотеатром.

Systems and Multimedia (VSMM), International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST), 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures (3D-ARCH). There are lots of archives and collections in the web describing the completed projects in this sphere, for example CyArc (<http://archive.cyark.org/>).

One of the most respectable magazines in cultural heritage is the Journal of Cultural Heritage (ISSN: 1296-2074), the considerable part of publications of which are dedicated to methods, technologies and examples of the virtual cultural heritage projects. Publications on virtual heritage can also be found in such magazines as Virtual Reality (ISSN: 1359-4338), IEEE Computer Graphics and Applications (ISSN: 0272-1716), The Photogrammetric Record (ISSN: 0031-868X), IEEE Multimedia (ISSN: 1070-986X), Journal on Computing and Cultural Heritage (ISSN: 1556-4673), Science and Technology for Cultural Heritage (ISSN: 1121-9122), Applied Geomatics (ISSN: 1866-9298), Remote Sensing (ISSN: 2072-4292) and others.

Lately there also develops the sphere of virtual natural heritage. It is based on 3D modeling and documenting of unique natural objects, landscapes, regions. Natural objects can change with time, be under threat of destruction due to human activity or natural phenomena. Conservation of information, provision of access to it are often necessary same as for cultural monuments.

3D model of the object should not only be created but also shown to the user. That is why technologies of 3D content visualization play an important part in the development of the virtual heritage trend. This is applicable both to on-line content and standalone systems of virtual reality. Increasing speeds of access to the Internet, development of 3D engines and formats of 3D data, appearing of household stereo screens in 2010 contribute to the development of the market of related technologies and software, and, therefore, to worldwide implementation of virtual heritage applications.

Demand for virtual heritage applications, for sure, is not comparable with the popularity of computer games. The ratio here is same as between a museum and a cinema. Popular cinema, computer game are dedicated to entertainment; museum or virtual heritage application are intended to save information and give a possibility to use it for the study, education or self-education, including of game-like methods (“edutainment”, or “gamification”).

Any object of cultural or natural heritage exists in certain context. For example, for an outstanding sculpture or painting the context is other sculptures or paintings created by predecessors, successors and contemporaries of the author. That is why the development of virtual cultural heritage in

тром. Массовое кино, компьютерная игра нацелены на развлечение; музей или приложение «виртуального наследия» призваны сохранить информацию и дать возможность ее использования для изучения, образования, самообразования — в том числе посредством игры.

Любой объект культурного или природного наследия существует в некотором контексте. Например, для скульптуры или картины, обладающей большой эстетической и культурной ценностью, контекстом являются другие скульптуры или картины, созданные предшественниками, последователями, современниками автора. Поэтому развитие приложений «виртуального наследия» естественным образом приводит к созданию набора виртуальных 3D-моделей, 3D-коллекции. Условно говоря, виртуальная «Джоконда» — это лишь первый этап в создании виртуального Лувра, где она займет свое почетное место.

Для архитектурных комплексов, археологических раскопок контекстом является территория, на которой они находятся. Городской район, храмовый комплекс и даже отдельно стоящее интересное здание зачастую не могут быть адекватно представлены в форме цифровой 3D-модели без моделирования их окружения. В случае сложного рельефа сам архитектурный объект невозможно смоделировать без учета рельефа местности (например, греческий Парфенон, многие европейские замки).

В еще большей степени 3D-моделирование территории необходимо в задачах цифровой фиксации объектов природного наследия. Безусловно, природное наследие не сводится к ландшафту, форме рельефа (за относительно редкими исключениями). Но в большинстве случаев невозможно создать адекватную виртуальную модель объекта природного наследия без 3D-модели рельефа, вне контекста окружающей местности, региона.

Для моделирования небольших территорий или отдельных форм рельефа могут применяться методы лазерного сканирования или фотограмметрии с использованием наземной фотосъемки — так же, как и для крупных архитектурных или археологических комплексов. Сложность и стоимость их применения возрастает пропорционально площади. Если на объект площадью 1 га, условно говоря, требуется примерно 1 месяц полевых работ и 1 год камеральной обработки, то 3D-моделирование объекта площадью 1 кв. км (и тем более 100 кв. км) наземными методами, очевидно, практически невозможно.

Моделирование обширных территорий в задачах создания «виртуального наследия» требует привлечения данных ДЗЗ: спутниковой съемки высокого разрешения, аэрофотосъемки, радарной съемки и др. Эти данные могут ис-

a natural way leads to creation of a set of virtual 3D models, a 3D collections. Relatively speaking, virtual Mona Lisa is just the first stage in creation of a virtual Louvre, where it will occupy its place of honor.

For architectural complexes, archaeological excavations the context is the territory where they are located. Town district, temple complex and even separately standing notable building quite often cannot be presented adequately in a 3D model format without modeling the surroundings. In case of a complicated relief the architectural object itself cannot be modeled without taking the terrain into consideration (for example, Greek Parthenon, many European castles).

To even greater extent 3D modeling of the territory is necessary for the task of digital preservation of natural heritage objects. No doubt, natural heritage is not reduced to landscape, relief (but for very rare situations). But in majority of cases it is impossible to create an adequate virtual model of a natural heritage object without a 3D model of terrain, without the context of surrounding territory and the region.

Methods of laser scanning or photogrammetry with application of ground imaging can be used for modeling of small territories and certain forms of relief as well as for large architectural or archaeological complexes. The complexity and cost of their application grows in proportion to the area. If for an object of 1 ha in area we need, generally speaking, 1 month of field works and 1 year of cameral processing, 3D modeling of an object of 1 square km in area (to say nothing of objects of more than 100 square km) by ground methods practically impossible, evidently. Modeling of vast territories for the purpose of virtual heritage requires application of ERS data: highly detailed satellite-based imaging, aerial photography, radar imagery and others. These data can be used directly (for example, as the model texture) or serve as the basis for creation of a 3D model of the relief (for example, by methods of photogrammetry on the basis of a pair of satellite images).

Satellite imagery can be used for modeling not only of natural territories but of urban territories as well. For example, CityEngine software allows rapid modeling of urban development on the basis of satellite images (and other two dimension data) with the application of generalized 3D models of buildings and structures. For the historical reconstruction of facades the database is used that contains information about typical facades of buildings for different periods of construction. The first commercial version of this product was released in 2008, and already in 2011 the Procedural Inc. manufacturing company was bought by ESRI. The ability of automated 3D-modeling of urban territories presents in such software as Google Building Maker, Agisoft PhotoScan Pro etc..



Рис. 1. Реалистичная виртуальная модель района Долины гейзеров, созданная на основе спутниковой съемки высокого разрешения
 Fig. 1. Realistic virtual model of the Valley of Geysers region created on the basis of high resolution satellite imagery

пользоваться непосредственно (например, как текстура модели) или служить основой для создания 3D-модели рельефа (например, методами фотограмметрии по паре спутниковых снимков).

Очевидно, что спутниковая съемка может применяться для моделирования не только природных, но и городских территорий. Например, с помощью программного обеспечения CityEngine на основе спутниковых снимков (и других двумерных данных) можно быстро моделировать городскую застройку с использованием обобщенных 3D-моделей зданий и сооружений. Для исторической реконструкции фасадов используется база данных типовых фасадов зданий разных периодов постройки. Первая коммерческая версия этого продукта была выпущена в 2008 г., а уже в 2011 г. производящая его компания Procedural Inc. была купена ESRI. Возможности автоматизированного 3D-моделирования городской застройки есть в таких программах, как Google Building Maker, Agisoft PhotoScan Pro и др.

Как и прочие методы, моделирование территории по данным ДЗЗ имеет свои ограничения. Точность цифровой модели рельефа, построенной методом фотограмметрии по паре космоснимков, не превышает пространственного разрешения самих снимков; дополнительную погрешность вносит растительность, рукотворные объекты. Ручная коррекция моделей многократно усложняет работу, поэтому возможна лишь для ограниченных участков и может уступать по эффективности альтернативным методам.



Рис. 2. Модель территории может быть дополнена интерактивными элементами, усиливающими эффект «погружения»
 Fig. 2. Model of the territory can be supplemented with interactive elements enhancing the effect of "immersion"

Like other methods, modeling of the territory by ERS data has its limitations. Accuracy of the digital model of the relief built by methods of photogrammetry on the basis of a pair of satellite images is not better than spatial resolution of images themselves; additional error is introduced by vegetation, man-made objects. Manual correction of models complicates the work manifold that is why it is possible only for limited land blocks and may be inferior in efficiency than alternative methods.

In practice for the task of virtual heritage it is necessary to combine several 3D models of the territory of different spatial resolution and built by different methods. For example, model of a vast territory built by ERS data may be added by more detailed models of certain land blocks which are of particular interest and are built by aerial photography data, ground measurements or ground laser scanning results.

Enlargement of geographic context into which the object is submerged eventually brings to idea of a virtual globe: depiction of 3D content on the basis of the earth's virtual model. The first globally known virtual globe became Google earth released for public in 2005. Later there appeared a whole series of analogous products. In 2006 Andrew Turner suggested the concept of "neo geography" as theoretic reasoning of this tendency.

Satellite imagery and other ERS data acquire even bigger importance for the development of virtual heritage applications, both natural and cultural. As an example of satellite data application for creation of a virtual model of a territory we

На практике в целях создания «виртуального наследия» приходится объединять несколько 3D-моделей территории с разной степенью детализации, построенных разными методами. Например, модель обширной территории, построенная по данным спутниковой съемки, может быть дополнена в случае необходимости более детальными моделями отдельных участков местности, построенными по данным аэросъемки, наземных обмеров или по результатам наземного лазерного сканирования.

Расширение географического контекста, в который погружен объект, естественным образом приводит к идее создания виртуального глобуса — отображению трехмерного контента на основе виртуальной модели Земли. Первым всемирно известным виртуальным глобусом стал Google Earth, выпущенный в свободный доступ в 2005 г. Позже появился целый ряд аналогичных продуктов. В 2006 г. Andrew Turner предложил концепцию «неогеографии» как теоретическое осмысление этой тенденции.

Итак, спутниковая съемка и другие данные ДЗЗ приобретают все большую важность для развития приложений виртуального наследия — как природного, так и культурного. В качестве примера использования спутниковых данных для создания виртуальной модели территории можно рассмотреть проект «Виртуальная Долина гейзеров»¹, который выполняется в том числе при поддержке ИТЦ «СКАНЭКС» [1–3].

Цифровая модель рельефа района Долины гейзеров была создана специалистом ИТЦ «СКАНЭКС» к.г.н. А.А. Алейниковым по паре космоснимков CartoSat-1 с разрешением 2.5 м. Эта модель была дополнена текстурой и внедрена на виртуальный глобус с поддержкой эффектов солнечного освещения и атмосферы. В качестве текстуры использовался космоснимок GeoEye-1 с разрешением 0.5 м. Таким образом, была создана реалистичная виртуальная модель территории площадью более 200 кв. км (рис. 1).

Точная привязка модели к мировой системе координат была выполнена при помощи спутниковой геодезической съемки. Для определения координат опорных точек на местности использовался двухчастотный геодезический GPS-приемник в дифференциальном режиме с опорными базовыми станциями геофизической сети. Точность определения координат опорных точек на местности составила

can review the “Virtual Valley of Geysers” project¹ which is being brought into life with the support of ScanEx RDC, among others [1–3].

Digital model of the Valley of Geysers region was created by Aleinikov. A., Ph.D (Geography), ScanEx RDC specialist, on the basis of the pair of CartoSat-1 space images with 2.5 m resolution. This model was added with texture and introduced into virtual globe with support of sunlight and atmosphere effects. GeoEye-1 of 0.5 m resolution was used as the texture. Therefore, realistic virtual model of the territory of more than 200 square km was created, fig. 1.

Accurate referencing of the model to the global coordinate system was performed with the help of satellite geodetic survey. Two-band geodetic GPS-receiver in differential mode with reference base stations of geophysics network was used for definition of control points coordinates. Accuracy of definition of control points coordinates on the surface was 0.1–0.5 m. Thus, the model of the territory was accurately referenced in WGS-84 system.

Cross-platform “virtual globe” osgEarth on the basis of open software OpenSceneGraph and OpenGL was used for realistic representation of territory model in geographic context. Unlike the majority of analogous products (Google Earth, etc.) osgEarth supports the possibility to refine models of relief, to show the model in stereo mode, to depict objects under the Earth surface, to implement interactive elements (fig. 2).



Рис. 3. Каталог основных объектов Долины гейзеров, центральная часть / Fig. 3. Catalogue of main objects in the Valley of Geysers, central part

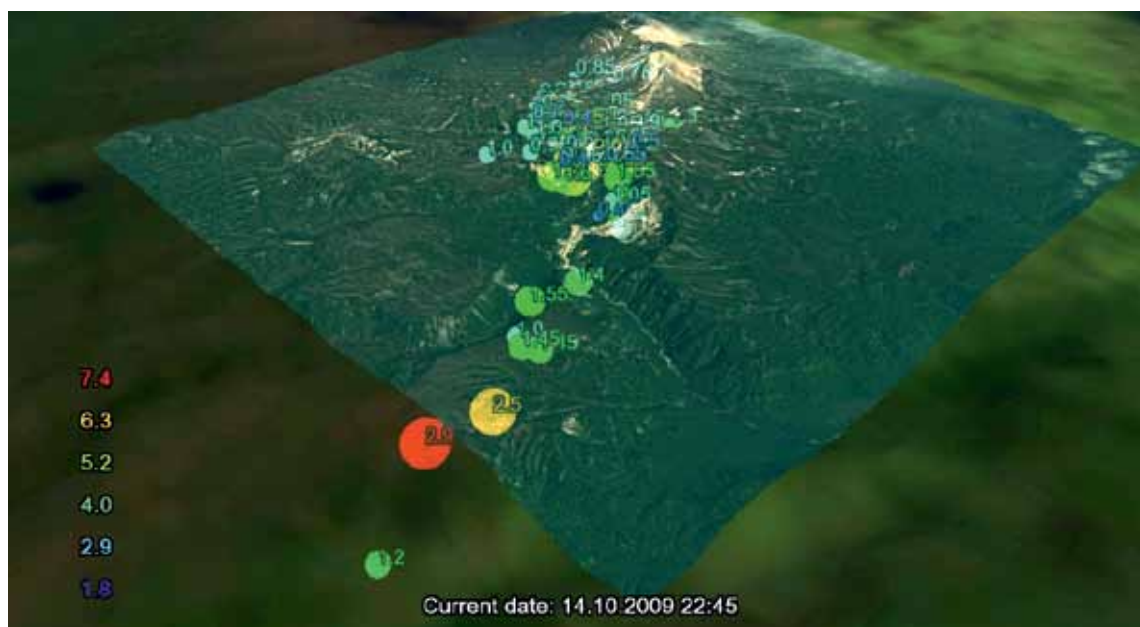


Рис. 4. Локальная сейсмичность в районе Долины гейзеров, по данным Ю.А. Кугаенко и др., КФ ГС РАН

Fig. 4. Local seismic activity in the area of the Valley of Geysers. Data by Kugaenko. Yu. et al, Kamchatka Branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences

0.1–0.5 м. Таким образом, модель территории была точно привязана в системе WGS-84.

Для реалистичного отображения модели территории в географическом контексте был применен кросс-платформенный «виртуальный глобус» osgEarth на базе открытого программного обеспечения OpenSceneGraph и OpenGL. В отличие от большинства аналогичных продуктов (Google Earth и т.п.), в osgEarth реализована возможность детализации модели рельефа, показ в стереорежиме, отображение объектов под поверхностью Земли, внедрение интерактивных элементов (рис. 2).

Модель территории служит трехмерной геопривязанной основой, 3D-интерфейсом для показа различной информации, связанной с данной территорией и расположенными на ней объектами. Данные могут отображаться непосредственно в пространстве модели либо модель может содержать ссылки на внешние ресурсы (локальные или сетевые). Выбор способа связи дополнительной информации с 3D-моделью определяется задачами, для которых используется приложение, и типом данных.

Например, виртуальная модель района Долины гейзеров служит основой для отображения каталога объектов (гейзеров, источников и др., рис. 3) [4]. Маркер объекта в виртуальной сцене позволяет просмотреть дополнительные стереоскопические, трехмерные данные в пространстве модели (например, стереофильм с извержением гейзера или 3D-анимацию принципиальной схемы работы гейзера) либо перейти на веб-сайт проекта (www.valleyofgeysers.com) и получить дополнительную

Model of the territory serves as 3D geo referenced basis, 3D interface for showing various information related to this territory and objects located on it. Data can be displayed directly in the model space or the model can contain references to external resources (local or web). Selection of the method to connect additional information and the 3D model is determined by the tasks for which application is used and the type of data.

For example, virtual model of the Valley of Geysers is used as a basis for depicting the catalogue of objects (geysers, springs, etc., fig.3) [4]. Marker of the object in virtual environment allows viewing additional stereoscopic 3D data in the model space (for example, stereo film with geyser eruption or 3D animation of geyser functioning) or follow the link to the web-site of the project (www.valleyofgeysers.com) and get additional information about the object (texts, photo, video) from the on-line data base.

High definition virtual model of the territory complete with the tools for its information content and interactive visualization provides ample possibilities for demonstration and analysis of scientific data. For example, virtual globe with support of stereo visualization can effectively be used for presenting seismic data both for certain regions and for the Earth in general (fig.4) [5]. Therefore, the sphere of virtual natural heritage happens to be closely connected to the tasks of scientific visualization and scientific education.

Application of ERS data for the tasks of virtual heritage, non-commercial in point of fact, depends on the support of

информацию об объекте (тексты, фото, видео) из онлайн базы данных.

Виртуальная модель территории высокого разрешения, дополненная инструментарием ее информационного наполнения и интерактивной визуализации, обеспечивает широкие возможности для демонстрации и анализа научных данных. Например, виртуальный глобус с поддержкой стереовизуализации может эффективно использоваться для показа сейсмических данных как для отдельных регионов, так и для всей Земли (рис. 4) [5]. Таким образом, сфера виртуального природного наследия оказывается тесно связана с задачами научной визуализации и научного образования.

Применение данных ДЗЗ для задач создания «виртуального наследия», некоммерческих по своей сути, во многом зависит от поддержки правообладателей, собственников данных. Успех проекта «Виртуальная Долина гейзеров» во многом обусловлен тем, что ИТЦ «СКАНЭКС» и GeoEye Foundation нашли возможность предоставить создателям проекта данные ДЗЗ, необходимые для его развития, безвозмездно, в виде гранта, спонсорской помощи. Пользуясь случаем, хотелось бы выразить им за это глубокую признательность.

Виртуальная 3D-модель территории, которая поначалу воспринималась как игрушка, всё чаще становится одним из основных элементов информационной системы, эффективным средством организации пользовательского интерфейса. Эту тенденцию прекрасно иллюстрируют примеры проектов в области «виртуального наследия».

Литература:

- [1]. 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.
- [2]. Andrey Leonov, Alexander Aleynikov, Dmitriy Belosokhov et al. 3D Documentation of Natural Heritage for Virtual Environments and Web — Case Study: Valley of Geysers, Kamchatka // Proc. of the IADIS International Conference CGVCVIP 2011. — IADIS Press, 2011. ISBN: 978-972-8939-48-9. P. 255–259.
- [3]. Satellite Imagery Used To Create A Virtual Model Of Russia's Famous Valley Of Geysers In The Kronotsky Reserve / GeoEye Foundation Case Study, 29.08.2012. Web link: http://geoeye.mediaroom.com/file.php/195226/Valley_of_Geysers_8_29_12.pdf
- [4]. Леонов А.В. Систематизация названий основных объектов в районе Долины гейзеров (Кроноцкий заповедник, Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. № 1. Вып. № 19. С. 215–230.
- [5]. Бобков А. Е., Леонов А. В., Чебров В. Н. Визуализация сейсмических данных на виртуальном глобусе // // ГрафиКон'2012: 22-я Международная конференция по компьютерной графике и зрению: Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 01–05 октября 2012 г.: Труды конференции. — М.: МАКС Пресс, 2012. — С. 163–168.

¹Проект выполнен при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 10-07-00407-а.

copyright holders, data owners. The success of “Virtual Valley of Geysers” project is based to great extent on the fact that ScanEx RDC and GeoEye Foundation found a possibility to provide free ERS data required for the project as a grant, sponsor support. On this occasion we would like to express our gratitude to them for help.

Virtual 3D model of territory which initially was treated as a toy become more often one of the main elements of information system, an efficient tool for organization of user interface. Virtual heritage projects are a vivid example of this tendency.

References:

- [1]. Aleinikov A. A., Bobkov A. E., Droznin V. A. i dr. Interaktivnoe 3D-prilozhenie "Virtual'naya Dolina geizerov" // Komp'yuternye instrumenty v obrazovanii. — 2011. № 4. — S. 41–49.
- [2]. Andrey Leonov, Alexander Aleynikov, Dmitriy Belosokhov et al. 3D Documentation of Natural Heritage for Virtual Environments and Web — Case Study: Valley of Geysers, Kamchatka// Proc. of the IADIS International Conference CGVCVIP 2011.— IADIS Press, 2011. — ISBN: 978-972-8939-48-9 — P. 255–259.
- [3]. Satellite Imagery Used To Create A Virtual Model Of Russia's Famous Valley Of Geysers In The Kronotsky Reserve / GeoEye Foundation Case Study, 29.08.2012. Web link: http://geoeye.mediaroom.com/file.php/195226/Valley_of_Geysers_8_29_12.pdf
- [4]. Leonov A. V.Sistematizaciya nazvanii osnovnyh ob'ektov v raione Doliny geizerov (Kronockii zapovednik, Kamchatka) // Vestnik KRAUNC. Nauki o Zemle. — 2012. — № 1. — Vyp. № 19. — S. 215–230.
- [5]. Bobkov A.E., Leonov A.V., Chebrev V.N. Vizualizaciya sejsmicheskikh dannyh na virtual'nom globuse // GraphiCon'2012: 22-nd International Conference on Computer Graphics and Vision: October 1–5, 2012, Moscow State University: Conference proceedings. — M.: MAKS Press, 2012. — S. 163–168.

¹The project was partially supported by RFBR, research project No. 10-07-00407-a.