

Виртуальное природное наследие: 3D-модель Долины Гейзеров

Virtual Natural Heritage: 3D-model of the Valley of Geysers

УДК 004.946

Леонов Андрей Владимирович (Leonov Andrey Vladimirovich)

АНО «Институт физико-технической информатики», Московская обл, г. Протвино (ANO «Institute of Computing for Physics and Technology», Moscow region, Protvino), старший научный сотрудник, к.ф.-м.н.

Email: spanishflyer@gmail.com, телефон: (916)1827802

Серебров Александр Александрович (Serebrov Aleksandr Aleksandrovich)

АНО «Институт физико-технической информатики», Московская обл, г. Протвино (ANO «Institute of Computing for Physics and Technology», Moscow region, Protvino), научный консультант, к.ф.-м.н.

Email: serebrov@sim.ol.ru, телефон: (4967)744761

Алейников Александр Анатольевич (Aleynikov Aleksandr Anatolievich)

ООО «ИТЦ «Сканэкс», г. Москва, Россия (R&D Center ScanEx, Moscow, Russia), специалист, к.г.н.

Email: shu@scanex.ru, телефон: (495)7397385

Аникушкин Михаил Николаевич (Anikushkin Mikhail Nikolaevich)

АНО «Институт физико-технической информатики», Московская обл, г. Протвино (ANO «Institute of Computing for Physics and Technology», Moscow region, Protvino), научный сотрудник, без учёной степени

E-mail: mikhail.anikushkin@gmail.com, телефон: (4967)744761

Белосохов Дмитрий Евгеньевич (Belosokhov Dmitriy Evgenievich)

Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный Московской обл. (Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow region, Dolgoprudny), научный сотрудник, без учёной степени

E-mail: belosokhov@gmail.com, телефон: (4967)744761

Дрознин Валерий Аркадьевич (Droznin Valeriy Arkadievich)

ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский (IVaS FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky), ведущий научный сотрудник, к.т.н.

E-mail: dva@kscnet.ru, телефон: (41522)59383

Ерёмченко Евгений Николаевич (Eremchenko Evgeniy Nikolaevich)

АНО «Институт физико-технической информатики», Московская обл, г. Протвино (ANO «Institute of Computing for Physics and Technology», Moscow region, Protvino), научный сотрудник, без учёной степени

Email: eugene.ermchenko@gmail.com, телефон: (903)7165170

Казанский Илья Петрович (Kazanskiy Ilya Petrovich)

АНО «Институт физико-технической информатики», Московская обл, г. Протвино (ANO «Institute of Computing for Physics and Technology», Moscow region, Protvino), научный сотрудник, без учёной степени

Email: kazansky@icpt.su, телефон: (4967)744761

Клименко Андрей Станиславович (Klimenko Andrey Stanislavovich)

АНО «Институт физико-технической информатики», Московская обл, г. Протвино (ANO «Institute of Computing for Physics and Technology», Moscow region, Protvino), научный сотрудник, без учёной степени

Email: andy.klimenko@icpt.su, телефон: (4967)747867

Клименко Станислав Владимирович (Klimenko Stanislav Vladimirovich)

АНО «Институт физико-технической информатики», Московская обл, г. Протвино (ANO «Institute of Computing for Physics and Technology», Moscow region, Protvino), директор, д.ф.-м.н.

Email: stanislav.klimenko@gmail.com, телефон: (4967)744761

Леонов Владимир Леонидович (Leonov Vladimir Leonidovich)

ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский (IVaS FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky), учёный секретарь, к.г.-м.н.

E-mail: lvl@kscnet.ru, телефон: (41522)59007

Леонова Виктория Фёдоровна (Leonova Viktoria Fedorovna)

АНО «Институт физико-технической информатики», Московская обл, г. Протвино (ANO «Institute of Computing for Physics and Technology», Moscow region, Protvino), научный сотрудник, без учёной степени
Email: vita@lenta.ru, телефон: (4967)744761

Рашидов Андрей Владимирович (Rashidov Andrey Vladimirovich)

АНО «Институт физико-технической информатики», Московская обл, г. Протвино (ANO «Institute of Computing for Physics and Technology», Moscow region, Protvino), научный сотрудник, без учёной степени
E-mail: andrey1978@gmail.com, телефон: (4967)744761

Самойленко Сергей Борисович (Samoylenko Sergey Borisovich)

ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский (IVaS FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky), старший научный сотрудник, к.ф.-м.н.
E-mail: samsergey@kscnet.ru, телефон: (41522)59175

Уразметов Василь Фанусович (Urazmetov Vasil' Fanusovich)

АНО «Институт физико-технической информатики», Московская обл, г. Протвино (ANO «Institute of Computing for Physics and Technology», Moscow region, Protvino), научный сотрудник, без учёной степени
Email: urazmetov@mx.ihep.su, телефон: (4967)744761

Фролов Павел Владимирович (Frolov Pavel Vladimirovich)

НИИ «Теплоприбор», г. Москва (НИ «Теплоприбор», Moscow), старший научный сотрудник, без учёной степени
Email: pavel.frolov@gmail.com, телефон: (4967)744761

Шпиленок Тихон Игоревич (Shpilenok Tikhon Igorevich)

Федеральное государственное учреждение «Кроноцкий государственный природный биосферный заповедник», г. Елизово (Federal State Organization "Kronotsky state natural biosphere reserve", Elizovo), директор, без учёной степени
Email: tikhonshp@gmail.com, телефон: (41531)73905

Ключевые слова

природное наследие, виртуальная модель, визуализация, неогеография, виртуальное окружение, ситуационное моделирование, Долина Гейзеров, Камчатка

Key words

Natural Heritage, Virtual Model, Visualization, Neogeography, Virtual Environment, Situation Awareness, Valley of Geysers, Kamchatka

Аннотация

Статья посвящена виртуальной реконструкции Долины Гейзеров на Камчатке с использованием открытых технологий неогеографии, виртуального окружения и ситуационного моделирования. Создана общедоступная Интернет-модель района Долины Гейзеров в среде Google Earth с интеграцией разных типов данных (тексты, фото, видео, карты, схемы, векторные объекты). Начато создание детальной 3D-модели района Долины Гейзеров по технологии виртуального окружения в среде Open Scene Graph. Выполнена динамическая визуализация (анимация) оползня 2007 года на основе экспертных оценок, и начата разработка подходов к численному моделированию оползня с использованием цифровой модели рельефа. Предлагаемые методы могут использоваться для создания виртуальных моделей природных объектов – «виртуального природного наследия».

1. ВВЕДЕНИЕ

Статья посвящена проекту создания общедоступной виртуальной 3D-модели Долины Гейзеров на Камчатке с использованием технологий неогеографии, виртуального окружения и ситуационного моделирования [1-6]. Проект выполняется командой энтузиастов на базе Института физико-технической информатики (АНО ИФТИ, г. Протвино) при поддержке ФГУ «Кроноцкий заповедник», Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Камчатского филиала Геофизической службы РАН, Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 09-07-06042-г, 09-07-02100-э_к).

Долина Гейзеров на Камчатке - одно из крупнейших скоплений гейзеров (периодически фонтанирующих горячих источников естественного происхождения) в мире, и единственное в Евразии [7]. На небольшом участке в нижней части каньона р.Гейзерной сосредоточено несколько десятков крупных и сотни мелких гейзеров, а также множество пульсирующих источников, высоко- и низкотемпературных термальных источников, грязевых котлов и других термопроявлений. Долина Гейзеров находится на территории Кроноцкого государственного природного биосферного заповедника, который включен в Список объектов Всемирного природного наследия ЮНЕСКО в номинации "Вулканы Камчатки".

Долина Гейзеров была открыта в 1941 году сотрудниками Кроноцкого заповедника геологом Татьяной Устиновой и наблюдателем Анисифором Крупениным [8]. С тех пор Долина Гейзеров является общепризнанной туристической достопримечательностью Камчатки и всего российского Дальнего Востока. В 2008 году по результатам народного голосования Долина Гейзеров вошла в список семи Чудес России, наряду с такими природными объектами как озеро Байкал, Эльбрус и столбы выветривания на плато Мань-Пупу-нёр (проект «Чудеса России», www.ruschudo.ru). Долина Гейзеров хорошо известна за рубежом, и после отмены пограничного режима на Камчатке в начале 1990-х годов неизменно притягивает туристов со всего мира.

2. АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОЕКТА

Из-за труднодоступности и заповедного режима Долину Гейзеров посещает всего несколько тысяч человек в год. Это – доли процента от числа тех людей, которые хотели бы увидеть Долину Гейзеров. Пешие маршруты с юга (из г.Петропавловска-Камчатского) и с севера (пгт. Ключи) имеют высокую категорию сложности. Пеший маршрут с побережья (кордон Жупаново), популярный в советское время, сейчас не поддерживается. В настоящее время единственным средством для туриста попасть в Долину Гейзеров является вертолёт. Технический предел посещения Долины Гейзеров вертолётными экскурсиями составляет 3-5 тысяч человек за сезон. Даже с учетом возможного восстановления массовых пеших маршрутов, посещение Долины Гейзеров ограничено по естественным причинам на уровне в несколько тысяч человек в год. В отличие от гейзеров США, Исландии и Новой Зеландии, к которым можно подъехать на автомобиле, Долина Гейзеров на Камчатке была, есть и в обозримом будущем останется труднодоступным и сравнительно мало посещаемым природным объектом. На наш взгляд, туристическое значение этого «чуда России» в сочетании с его труднодоступностью делает особенно актуальным создание общедоступной виртуальной Интернет-модели Долины Гейзеров и развитие на её основе «виртуального туризма» и «виртуальных экскурсий» [9].

Долина Гейзеров серьёзно пострадала от оползня 3 июня 2007 года. Около половины гейзеров были завалены обломочной лавиной и затоплены подпрудным озером [10]. По счастливому стечению обстоятельств, люди не пострадали. Оползень не затронул жилые постройки и центральную часть Долины Гейзеров, где находится наиболее известная гейзерная площадка Витраж и самый крупный гейзер Великан. В то же время, оползень завалил группу гейзера Тройной, которая имела наиболее крупный гейзеритовый щит; озеро затопило гейзер Малый, который имел наибольший суточный расход воды; в результате завала превратился в пульсирующий источник гейзер Первенец – первый гейзер, открытый Татьяной Устиновой в 1941 году. Обломочным потоком был завален 30-метровый водопад в устье ручья Водопадного и 30-метровые скалы «Триумфальные ворота» в нижней части каньона, известные по фильму «Земля Санникова». Таким образом, в результате природной катастрофы Долина Гейзеров лишилась не только многих туристических достопримечательностей, но и уникальных природных объектов, представлявших научный интерес. К сожалению, повторение подобных событий в геологическом масштабе времени неизбежно. Анализ оползневой опасности в районе Долины Гейзеров, выполненный специалистами ИВиС ДВО РАН, показывает, что вероятность формирования новых оползней остаётся очень высокой [11]. Это делает особенно актуальным создание виртуальной модели Долины Гейзеров для информационной поддержки научных исследований, моделирования и визуализации оползневой опасности.

Реальная возможность дальнейшего необратимого изменения Долины Гейзеров в результате естественных природных процессов делает актуальной постановку вопроса о сохранении существующего облика и динамики изменений этого уникального природного объекта в форме детальной цифровой модели (виртуальной реконструкции). По аналогии с детальными цифровыми моделями и виртуальными реконструкциями античных городов или архитектурных памятников, в отношении которых в западной литературе употребляется термин «виртуальное культурное наследие» (Virtual Cultural Heritage), этот формат сохранения информации о природном объекте можно назвать «виртуальным природным наследием» (Virtual Natural Heritage). Детальная виртуальная реконструкция Долины Гейзеров в её сегодняшнем состоянии с использованием передовых технологий (таких, как виртуальное окружение) позволит сохранить максимально полную визуальную информацию о ней. Также это позволит развить методы и технологии создания аналогичных моделей для виртуальной реконструкции других природных достопримечательностей России, которым угрожает разрушение или изменение вследствие естественных природных процессов или деятельности человека. Развитие «виртуального наследия» – свободно доступных детальных цифровых моделей памятников культуры, архитектуры или природных объектов – сегодня рассматривается многими странами как важная политическая деятельность, направленная на популяризацию собственной культуры, истории, природы, и формирование имиджа страны за рубежом.

3. ЦЕЛЬ ПРОЕКТА

Цель проекта – виртуальная реконструкция Долины Гейзеров в форме свободно доступной интерактивной трёхмерной модели для решения научных и научно-популярных задач. В настоящее время работа над проектом ведётся по трём направлениям.

1. Развитие общедоступной Интернет-модели на базе открытого формата KML и её интеграция со специализированным веб-сайтом www.valleyofgeysers.com. Это представление модели предназначено для развития массового виртуального туризма, проведения дистанционных виртуальных экскурсий, информационной поддержки эколого-просветительской деятельности на базе принципов неогеографии (neogeography) [12].
2. Развитие детальной стереоскопической 3D-модели для проекционных стереосистем и 3D-мониторов на базе открытого программного пакета Open Scene Graph (OSG). Это представление модели и предназначено для стерео визуализации района Долины Гейзеров и погружения пользователя (зрителя) в пространство модели для решения научных и научно-популярных задач с использованием технологии виртуального окружения (virtual environment) [13].
3. Разработка технологии моделирования движения оползня по поверхности на основе детальной цифровой модели рельефа и метода сглаженных частиц (smoothed particle hydrodynamics, SPH) и визуализация результатов расчёта на основе созданных 3D-моделей для прогнозирования оползневой опасности в районе Долины Гейзеров с использованием методов ситуационной осведомлённости (situation awareness) [14].

Фундаментальная научная проблема, на решение которой направлен данный проект – экологический мониторинг катастроф природного и техногенного характера на основе современных средств моделирования и визуализации геоданных, принципов неогеографии, виртуального окружения и ситуационного моделирования [15]. В технологическом плане выполнение проекта позволит развить методы создания виртуальных моделей природных объектов для информационной поддержки научных исследований, экологического мониторинга и эколого-просветительской деятельности, развить технологии моделирования и визуализации геологических объектов и процессов в географическом контексте для наглядного представления научных результатов и эффективного междисциплинарного взаимодействия исследователей из различных предметных областей.

4. МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Развитие виртуальной 3D-модели Долины Гейзеров, представление гео-данных в пространстве модели, моделирование и визуализация оползневой опасности на основе модели в нашем проекте опирается на открытые и общедоступные методы и технологии неогеографии (neogeography), виртуального окружения (virtual environment), интерактивного повествования (interactive storytelling) и ситуационной осведомлённости (situational awareness). Рассмотрим их более подробно.

Неогеография (neogeography). Термин «неогеография» используется для обозначения новых подходов в географии, новых возможностей представления геопространственной информации, которые появились в последнее время, в отличие от традиционных карт. По сути, имеются в виду те принципы, которые были впервые реализованы компанией Google в виде открытого и общедоступного сервиса Google Earth. Перечислим их. 1. Отображение информации в реальных географических координатах, а не в картографических проекциях. 2. Использование в качестве основы геопривязанных растровых космоснимков высокого разрешения, которые стали массово доступны для гражданских лиц, и открытых цифровых моделей рельефа. 3. Бесплатные, открытые, свободно доступные технологии (в отличие от традиционных ГИС), открытый формат описания данных KML, ставший в настоящее время стандартом де-факто, открытое сообщество пользователей. 4. Объектный подход. Основной элемент при построении геоинформационной системы по принципам неогеографии - индивидуальный объект, а не генерализованный слой данных. 5. Мультимасштабность. Один продукт может сочетать объекты совершенно разных масштабов - от дома до континента. Приложения нео-гео не ограничены «рамкой», как традиционная ГИС или карта. Объекты отображаются без отрыва от общегеографического контекста, в едином «пространстве» с другими, сколь угодно удалёнными объектами, интересующими пользователя. 6. Интерактивность, гиперссылки на сторонние информационные ресурсы (пример - Викимапия). 7. Возможность отображения геопространственной информации в 3D виде. Возможность создания объёмных моделей зданий и сооружений, природных объектов, геопространственных данных разного вида. 8. Возможность использования временной динамики, так называемое 4D – то есть 3D плюс время. Демонстрация гео-данных в их динамике – как реальных, так и гипотетических или потенциально возможных. 9. Возможность коллективной работы заинтересованных специалистов над созданием тематических открытых геоинформационных ресурсов. 10. Возможность постоянного развития и актуализации геоинформационного ресурса по принципу «живого документа» (alive document).

Виртуальное окружение (virtual environment). Одно из популярных определений гласит: «виртуальная реальность – это синтезированное компьютером, интерактивное, трёхмерное окружение, в которое погружен человек». Это определение выделяет три основных характеристики виртуальной реальности. Во-первых, виртуальная реальность представляет собой трёхмерное окружение (сцену, модель), сформированное (синтезированное) компьютером. Во-вторых, виртуальная реальность интерактивна: взаимодействие пользователя с системой происходит в режиме реального времени, обработка реакции пользователя и формирование ответа системы происходит незаметно для пользователя. В-третьих, пользователь погружен в виртуальную реальность, то есть, восприятие человеком реального мира частично или полностью блокируется. Погружение также означает, что взаимодействие пользователя с системой происходит в удобной, естественной для человека форме, с максимальным приближением к характерным для человека поведенческим стереотипам. Это позволяет пользователю отвлечься от задачи трансляции своих реакций и воздействий на «компьютерный язык» и вести себя непосредственно, так же, как в реальной жизни. Выражение

«виртуальная реальность» широко распространено в популярной литературе, однако оно плохо подходит для использования в качестве научного термина. Мы отдаем предпочтение термину «виртуальное окружение», который в специальной литературе употребляется как более точный синоним «виртуальной реальности». Поскольку виртуальное окружение – это, прежде всего, технология взаимодействия человека и компьютерной системы, мы придерживаемся более строгого определения этого термина, чем приведенное выше. *Виртуальное окружение* – это технология человеко-машинного взаимодействия, которая обеспечивает погружение пользователя в трехмерную интерактивную модель изучаемого явления или предметной области и предоставляет естественный интуитивный интерфейс для взаимодействия с этой моделью. На практике системами «виртуального окружения» называют широкий спектр приложений с разным соотношением реальных и виртуальных объектов и разной степенью погружения пользователя. Между системами «чистого» виртуального окружения и реальным миром располагается целый ряд приложений, в отношении которых Пол Милграм (Paul Milgram) предложил использовать термин *смешанное окружение* (mixed reality). С одной стороны, это приложения, где реальные объекты дополнены трехмерными компьютерными моделями – *дополненная реальность* (augmented reality). С другой стороны, это системы виртуального окружения, в которые внедрены объекты или элементы реального мира – *дополненная виртуальность* (augmented virtuality). Термин «дополненная виртуальность» получил широкое распространение в таких приложениях виртуального окружения, где в синтезированную компьютером трехмерную модель внедрены видеозображения реальных людей или объектов (теле присутствие, кооперативная работа).

Интерактивное повествование (interactive storytelling). Также можно перевести как «интерактивная история». Под интерактивной системой (interactive), или системой реального времени (real time) понимается такая система, где пользователь не замечает время обработки компьютером своих действий. Освоение возможностей виртуального окружения привело к качественному изменению способа организации потока информации, получаемого пользователем в процессе взаимодействия с электронной информационной системой. Погружение пользователя в виртуальный мир позволяет вовлечь его в происходящие там процессы в качестве полноправного участника, сделать пользователя не пассивным наблюдателем, а активным действующим лицом виртуального мира. Возможность естественного перемещения по виртуальному миру, интуитивного взаимодействия с виртуальными объектами и персонажами дает новое качество – пользователь начинает «жить» в виртуальном мире так же, как в реальном, переносит свои подсознательные механизмы и стереотипы поведения в виртуальную среду. Смещение акцента с роли пассивного получателя информации (зрителя, слушателя) на роль действующего лица виртуального мира и активного участника разворачивающихся там процессов привело к появлению новой формы интерактивных приложений – интерактивной истории (interactive story), или интерактивного повествования (interactive storytelling). Интерактивное повествование – это новая форма организации пользовательского интерфейса электронной информационной системы. Интерактивное повествование обеспечивает погружение пользователя в виртуальный мир с использованием технологии виртуального окружения и включает пользователя в определенный сюжет (сценарий) в качестве действующего лица. Основной задачей интерактивной истории является информирование или обучение пользователя, при этом пользователь играет активную роль в прохождении сюжета и имеет определенную свободу действий в виртуальном мире. Основным отличием интерактивной истории от близких к ней приложений виртуального окружения, таких как интерактивная модель или виртуальный тренажер, является наличие сюжета. Сюжет направляет повествование по определенной траектории, предоставляя пользователю относительную свободу в выборе траектории и способов ее прохождения. Основной задачей при разработке приложений в жанре интерактивного повествования является достижение баланса между собственным повествованием (narrative), то есть передачей пользователю определенной информации по заданному сценарию, и интерактивностью (interactivity), то есть возможностью пользователя влиять на развитие повествования и процесс получения этой информации. Эти характеристики во многом конкурируют между собой: чем жестче регламентирован процесс передачи информации пользователю, тем меньше у него возможностей влиять на этот процесс; чем больше свободы у пользователя – тем сложнее направить его внимание на требуемую информацию. Эта проблема получила название «нарративного парадокса» (narrative paradox), или «парадокса совмещения развлечения и образования» (edutainment paradox). Разработка интерактивных историй в виртуальном окружении в последнее время становится одним из наиболее перспективных направлений в построении электронных обучающих систем. В частности, нам представляется целесообразным применение технологии интерактивного повествования для создания виртуальных экскурсий в пространстве создаваемой виртуальной модели.

Ситуационная осведомленность (situation awareness). Также можно перевести как «владение обстановкой». Этот термин означает – быть в курсе того, что происходит вокруг тебя, использовать всю доступную информацию для понимания обстановки, прогнозирования возможных вариантов развития ситуации, принятия решений, планирования своих действий и координации их с действиями группы. Владение обстановкой особенно важно в ситуациях, где обстановка меняется быстро, а принятие неверных решений приводит к серьезным последствиям. Это оперативное управление в военном командовании (где и возник этот термин), авиации, сложном производстве, чрезвычайных ситуациях – те сферы деятельности, где владение полной, точной и актуальной информацией о текущей ситуации критически важно для принятия решений. Широко распространено следующее определение situation awareness (Mica Endsley, 1995) – «восприятие элементов окружающей среды в определенных рамках пространства и времени, понимание того, что они означают, и прогноз их состояния на ближайшее будущее». В этом определении отражены три основных этапа «владения обстановкой». Первый этап – восприятие элементов окружающей среды, относящихся к рассматриваемой ситуации (объектов, событий, людей, систем, факторов окружающей среды и т.д.), определение их текущих состояний и динамики. Второй этап – интерпретация и обработка полученной информации, её синтез в единую картину и понимание того, как текущая обстановка влияет на достижение поставленных целей. Третий этап – прогноз состояния элементов, относящихся к ситуации, на основании их статуса и динамики в настоящий момент (этап 1) и понимания общей картины (этап 2), для понимания того, как будет развиваться ситуация в целом и как изменится рабочая обстановка в будущем. Термин situation awareness часто употребляется во взаимосвязи с термином decision support system (система поддержки принятия решений),

обозначая цель построения системы поддержки принятия решений, или желаемое состояние её пользователя. Виртуальная модель, которую мы создаём, на практике воплощает описанный выше принцип «владения обстановкой», позволяя исследователям получать комплексную и оперативную информацию о текущей ситуации и прогнозировать её развитие, в том числе, в коллективном режиме (distributed situation awareness, или shared situation awareness).



Рис. 1. Модель Долины Гейзеров, общий вид в программе Google Earth.

5. ПОДГОТОВКА ОСНОВЫ

В качестве основы создаваемой модели используется цветной спутниковый снимок GeoEye-1 от 06.09.2009 с разрешением 0,5 м на пиксель, и цифровая модель рельефа (ЦМР) с разрешением 5 м на пиксель, предоставленные компанией ООО «ИТЦ «СКАНЭКС». Модель рельефа создана на базе спутниковой стереопары Cartosat от 19.09.2007 с разрешением 2,5 м на пиксель. Для точной привязки снимка к абсолютным координатам была проведена спутниковая геодезическая съёмка в районе Долины Гейзеров. В результате этих работ снимок был привязан в координатах ITRF/WGS84 с дециметровой точностью.

Пространственное разрешение снимка – 0,5 м. Соответственно, задачей спутниковой геодезической съёмки был выбор характерных точек на местности, надёжно дешифруемых на снимке с точностью до пикселя, и определение абсолютных координат выбранных точек с точностью не хуже 0,5 м. Методическая сложность проведения работ заключалась в невозможности предварительной подготовки опознавательных знаков на местности, удобных для надёжной дешифровки на снимке, из-за статуса заповедной территории. Соответственно, в качестве характерных точек можно было использовать только имеющиеся элементы инфраструктуры (домики, тропы, вертолётные площадки), либо природные объекты (например, отдельно стоящие камни).

Полевые работы были проведены 18-22 сентября 2009 года. Для измерения координат использовался двухчастотный геодезический GPS-приёмник Trimble 5700 с антенной Trimble Zephyr Geodetic, предоставленный компанией ООО «Навгеоком Инжиниринг». Измерения были выполнены в двенадцати точках, из которых десять дешифруются на снимке с точностью до пикселя, одна дешифруется плохо, и ещё одна находится за пределами снимка.

Обработка данных измерений и вычисление координат было выполнено с использованием программного обеспечения Trimble Business Center. Расчёт результатов измерений производился в дифференциальном режиме с опорными базовыми станциями GPS Камчатского филиала Геофизической службы РАН в пос. Мильково (MIL1, примерно 105 км от места измерений) и Геофизической службы РАН в г. Петропавловск-Камчатский (PETS, примерно 185 км от места измерений). В результате были определены абсолютные координаты характерных точек в ITRF/WGS84 с точностью около 10 см.

Таким образом, была подготовлена надежная основа как для Интернет-модели, так и для детальной 3D-модели района Долины Гейзеров, привязанная к абсолютным координатам с точностью около 10 см. Полученная основа по пространственному разрешению и точности привязки заведомо достаточна для создания визуально достоверной виртуальной реконструкции района Долины Гейзеров и решения научно-популярных задач в рамках создаваемой модели. Также она может использоваться для решения научных задач, например, численного моделирования движения оползня по реальному рельефу.

6. ОТКРЫТАЯ ИНТЕРНЕТ-МОДЕЛЬ

Разработка общедоступной Интернет-модели в открытом формате KML ведётся в программе-клиенте Google Earth, рис. 1. Модель интегрирована в специализированный веб-сайт www.valleyofgeysers.com с использованием плагина Google Earth, рис. 2. Дополнительно разработан веб-интерфейс на JS для управления отображением слоев и объектов модели. Сайт оптимизирован под просмотр в браузере Mozilla Firefox 3.6, также обеспечена работоспособность под Internet Explorer 7 и 8.

Выбор программной платформы Google Earth был обусловлен следующими причинами. Даже бесплатная базовая версия Google Earth имеет развитую функциональность и пригодна для разработки сложных приложений. В её функции входит возможность создания маркеров, привязанных к местности, с описаниями и внешними ссылками (Placemark), двумерных векторных объектов, наложенных на поверхность земли - многозвенных линий (Path) и полигонов (Polygon), наложение на поверхность земли растровых изображений с ручной привязкой к основе (Ground Overlay), внедрение в модель геопривязанных по точке и ракурсу съёмки фотографий (Photo Overlay), трёхмерное моделирование (использование третьей координаты – высоты – для точек, задающих векторные объекты), динамическое моделирование (использование четвертой координаты – времени – для любых объектов, с возможностью их динамического воспроизведения). В базовую функциональность входит также возможность восстановления 3D-рельефа поверхности земли на основе открытой ЦМР с шагом 90 м (Terrain on) и просмотра местности в режиме «птичьего полёта» под произвольным ракурсом, что радикально обогащает визуальное впечатление.

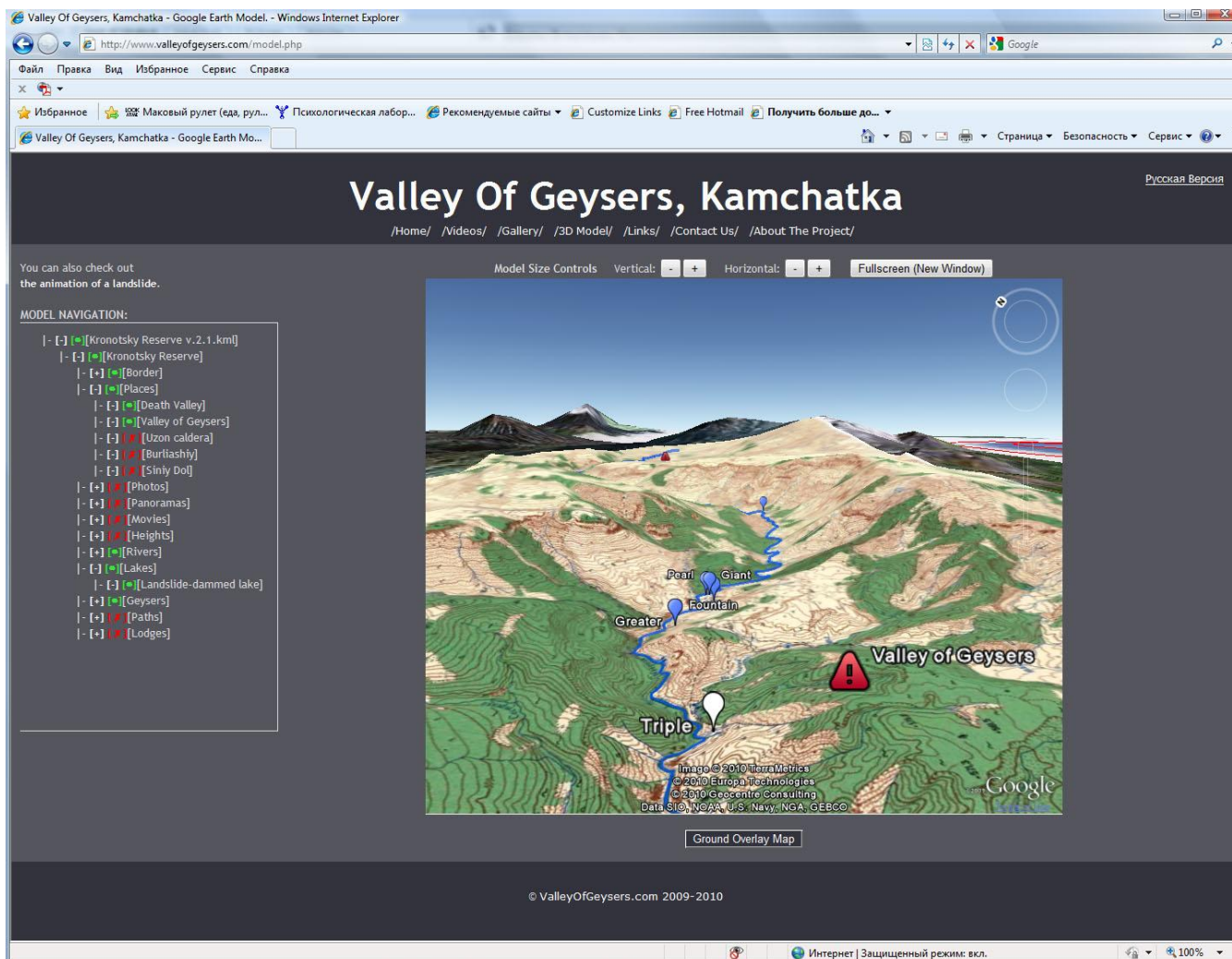


Рис. 2. Просмотр модели на сайте проекта и веб-интерфейс управления.

Первым этапом работы стала подготовка топографической основы необходимого масштаба на базе Google Earth. На сегодняшний день в Google Earth для района Долины Гейзеров представлены спутниковые снимки Landsat низкого разрешения (15 м на пиксель), которые дают грубую визуализацию ландшафта, и не позволяют вручную осуществить позиционирование объектов, точные координаты которых неизвестны. Для создания основы высокого качества был использован спутниковый снимок GeoEye-1 с разрешением 0,5 м, а также топографические карты масштаба 1:200 000, 1:10 000, 1:2 000. Изображения накладывались как Ground Overlay, привязка топокарт осуществлялись вручную по характерным точкам (в основном, слияния рек).

Топографическая основа была дополнена несколькими слоями данных:

1. Маркеры (Placemark) - основные достопримечательности и объекты инфраструктуры (тексты, фото, видео).
2. Многозвенные линии (Path) - основные реки района и их притоки; основные пешие маршруты из Долины Гейзеров.
3. Полигоны (Polygons) - подпрудное озеро, по текущему уровню воды; туристические участки Долины Гейзеров.
4. Наложённые изображения (Ground Overlay) – геологические карты и схемы, прогноз оползневой опасности.
5. Геопривязанные фотографии и круговые панорамы 360° (Photo Overlay), рис. 3.
6. 3D-модели – разломы, по которым произошёл отрыв тела оползня.
7. 4D-модели – динамическая визуализация (анимация) оползня 2007 года.

Все объекты снабжены описаниями на русском и английском языках. Изображения и видеоматериалы сохранены на открытых серверах (www.photofile.ru, picasaweb.google.ru, www.youtube.com), в модели указаны лишь гиперссылки на них, благодаря чему удалось достичь небольшого объёма файла модели (50 Кб). Это удобно для пересылки и скачивания модели через Интернет, но при её просмотре изображения подгружаются из сети по мере их открытия, что требует хорошей скорости канала.

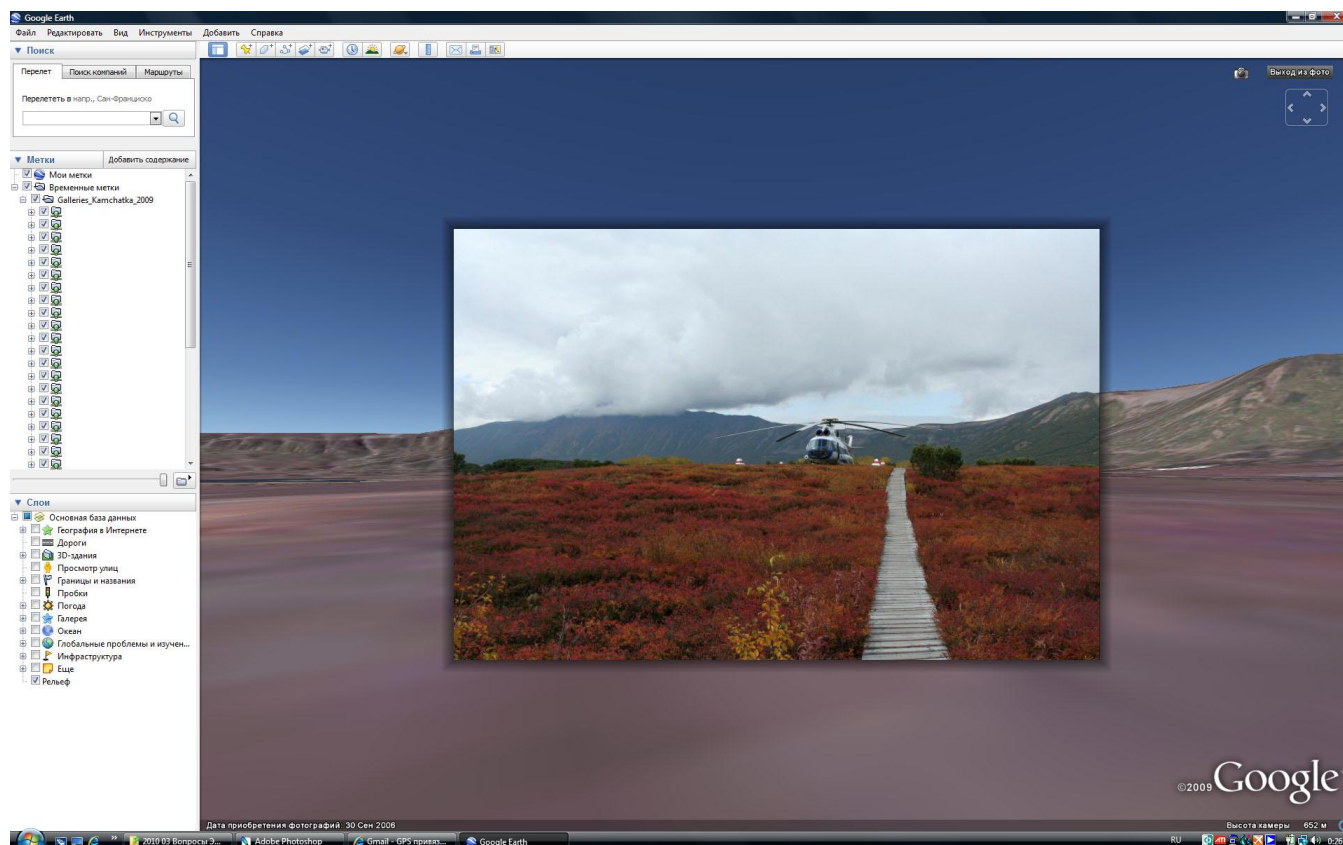


Рис. 3. Просмотр геопривязанного фотоснимка в программе Google Earth.

Панорамная фотосъёмка выполнена вдоль настильных троп с шагом 25 метров, а также эпизодически по маршрутам основных туристических троп из Долины Гейзеров (на Узон, в Долину Смерти, к устью реки Гейзерной). На основе этих материалов планируется создать в Интернет-модели взаимосвязанный набор круговых панорам по технологии Street View, который обеспечит ещё один альтернативный вариант «виртуального путешествия» по Долине Гейзеров.

Для большей доступности модели массовому пользователю она внедрена в специализированный веб-сайт www.valleyofgeysers.com с использованием плагина Google Earth. Это позволяет пользователю просматривать модель непосредственно в окне Интернет-браузера (после установки плагина Google Earth), а не в программе-клиенте Google Earth. Для управления отображением слоёв и объектов модели разработан Java-скрипт, обеспечивающий автоматическое построение меню управления на веб-странице с окном

модели. Таким образом, при просмотре модели в окне плагина обеспечивается такая же функциональность управления просмотром объектов, как и при просмотре в программе-клиенте Google Earth.

Основной недостаток Интернет-модели – достаточно грубая цифровая модель рельефа. В программе Google Earth используется ЦМР с разрешением 90 м (а именно, SRTM 90 m), и возможность пользовательского уточнения ЦМР на отдельные районы пока не реализована (точнее, по слухам, реализована в платном программном комплексе Google Earth Enterprise, который стоит около 1 млн USD и официально не поставляется в Россию). Таким образом, снимок высокого разрешения лишь частично решает задачу достоверной визуализации, т.к. грубый рельеф заметно снижает качество восприятия Интернет-модели.

7. ДЕТАЛЬНАЯ 3D-МОДЕЛЬ

Для создания максимально реалистичной 3D-модели используется программная платформа Open Scene Graph (OSG) и технология виртуального окружения (на базе стереоскопической проекционной системы). На сегодняшний день, на основе имеющейся модели рельефа с разрешением 5 м на пиксель и цветного спутникового снимка с разрешением 0,5 м на пиксель создана 3D-сцена в OSG, реалистично воспроизводящая рельеф Долины Гейзеров с высоты «птичьего полёта», рис. 4.

Статичную модель рельефа планируется дополнить, прежде всего, натурными стереоскопическими видеосъемками по технологии «дополненной виртуальности» (augmented virtuality), а также интерактивными элементами управления для перемещения пользователя в пространстве модели и взаимодействия пользователя с внедрёнными объектами. Стереоскопическая видеосъемка динамических объектов и общих планов (панорам) была выполнена в сентябре 2009 года с использованием двух синхронизированных по GenLock цифровых HDTV-видеокамер Canon XH G1 в объёме более 15 часов в качестве HDV 1920x1080 50i. Стереосъемка производилась в параллельных осях с базисом 120 мм (меньше не позволяют габариты камер). Увеличенный базис, по сравнению с расстоянием между глазами, усилил эффект объёмности запечатленных объектов, рис. 5.

В дальнейшем в 3D-модель предполагается внедрить 3D-модели инфраструктуры кордона «Долина Гейзеров», восстановленные по фото- и видеосъемкам (постройки, настильные тропы); модели растительности (трава, кустарник) и водной поверхности (река, озеро) для реалистичной визуализации ландшафта при положении «камеры» (глаз пользователя) на уровне поверхности земли; небо и солнце; эффекты смены погоды и времени суток; режим «виртуальной экскурсии» с участием виртуального гида (аватара).

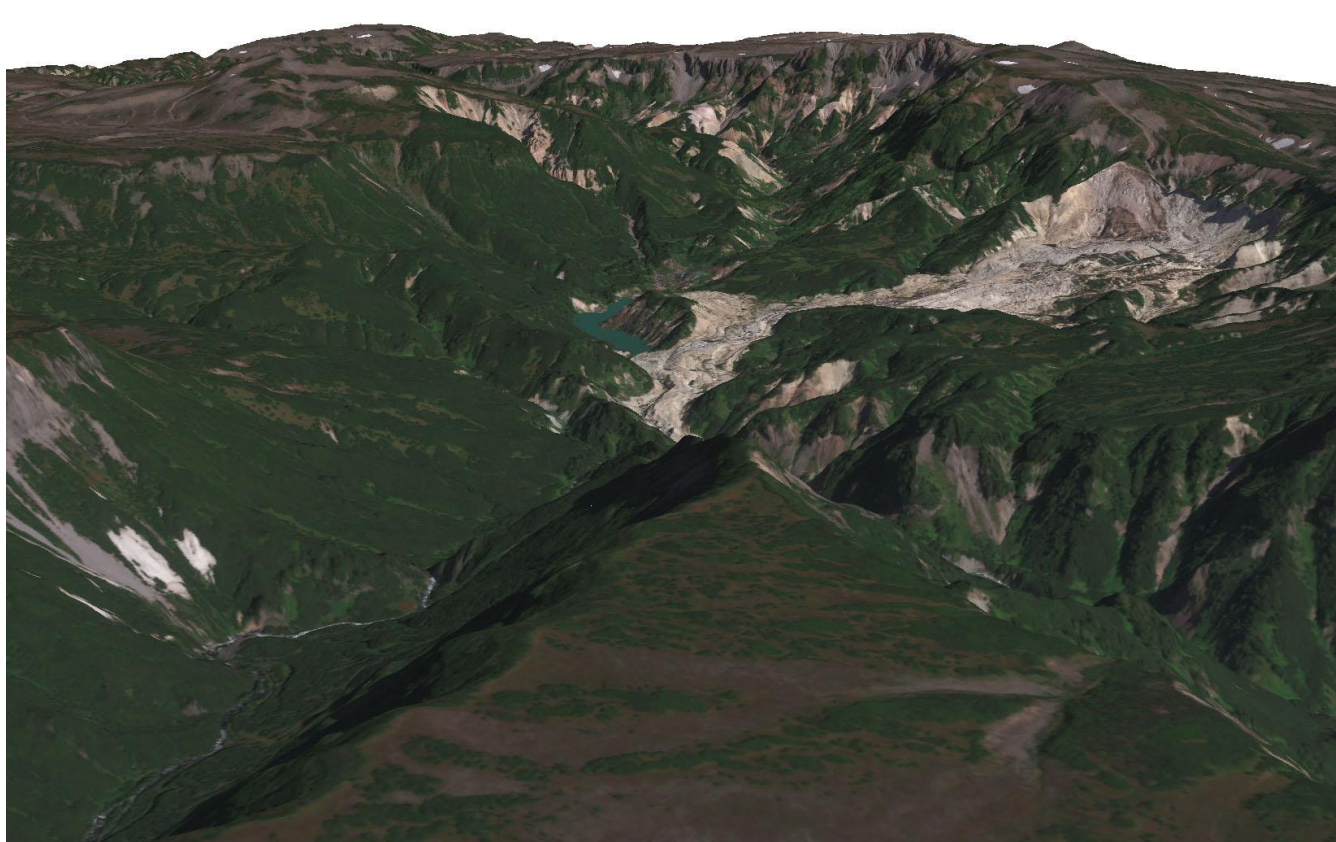


Рис. 4. Цифровая модель рельефа для системы виртуального окружения.

Также модель планируется поместить на виртуальный глобус, с использованием имеющихся данных о точной привязке к абсолютным географическим координатам. Это позволит не ограничивать перемещение «камеры» узким слоем над поверхностью модели, а дать пользователю полную свободу перемещения над поверхностью модели по типу свободного птичьего полёта.

Преимуществом детальной 3D-модели по сравнению с Интернет-версией является точная реконструкция рельефа, возможность стереоскопического воспроизведения на проекционной системе виртуального окружения и, соответственно, существенно более высокая степень погружения пользователя в пространство модели. В то же время, доступность 3D-модели для массового пользователя на сегодняшний день ограничена, т.к. для её просмотра требуется устройство воспроизведения стереоизображения.

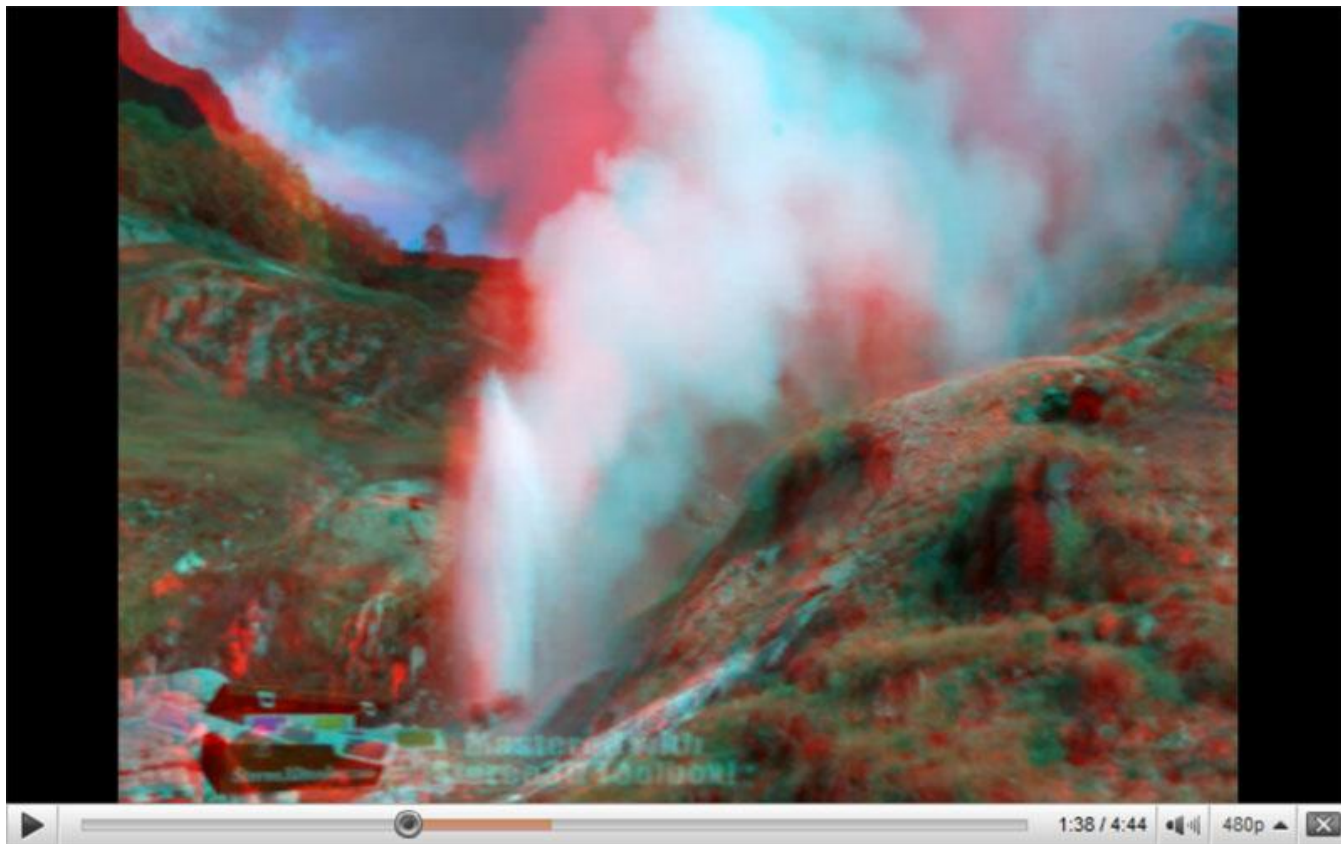


Рис. 5. Стерео видеосъемка гейзера Жемчужный.

Доступность детальной 3D-модели будет повышаться по мере массового распространения индивидуальных стерео 3D экранов. Пока же её можно рассматривать как технологический полигон для отработки методов и подходов к созданию точных виртуальных моделей природных объектов со сложным рельефом, предназначенных для демонстрации в стерео режиме.

8. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПОЛЗНЯ

Комплекс геоданных, доступных для района Долины Гейзеров, предоставляет уникальные возможности для численного моделирования движения оползня и визуализации результатов расчета. С этой точки зрения, можно считать уникальным везением, что крупнейший в исторический период наблюдений оползень на Камчатке (и один из крупнейших в России) произошёл в столь хорошо изученном районе. Для района Долины Гейзеров неоднократно выполнялась стерео аэрофотосъемка в период 1960-2007 гг, что позволяет достаточно точно восстановить исходный рельеф поверхности. Геологическое строение района, в том числе разломы, по которым произошёл отрыв тела оползня, хорошо изучены и картографированы. Рельеф поверхности после оползня восстановлен с высокой точностью по данным спутниковой и аэрофотосъемки. Обломочная масса распространялась по сложному рельефу, с неоднократными изменениями ширины потока, направления движения и ответвлением боковых языков, в результате чего тело оползня и обломочный поток приняли сложную итоговую конфигурацию. Всё это предоставляет замечательные возможности для численного моделирования движения тел оползня и обломочного потока, и сравнения расчетных результатов с фактическим конечным положением оползня и экспертной оценкой динамики его распространения. Создание численной модели оползня и определение пространства параметров, при которых расчетные результаты совпадают с фактическими данными, представляет актуальную задачу как с чисто вычислительной, так и с инженерно-геологической точки зрения.

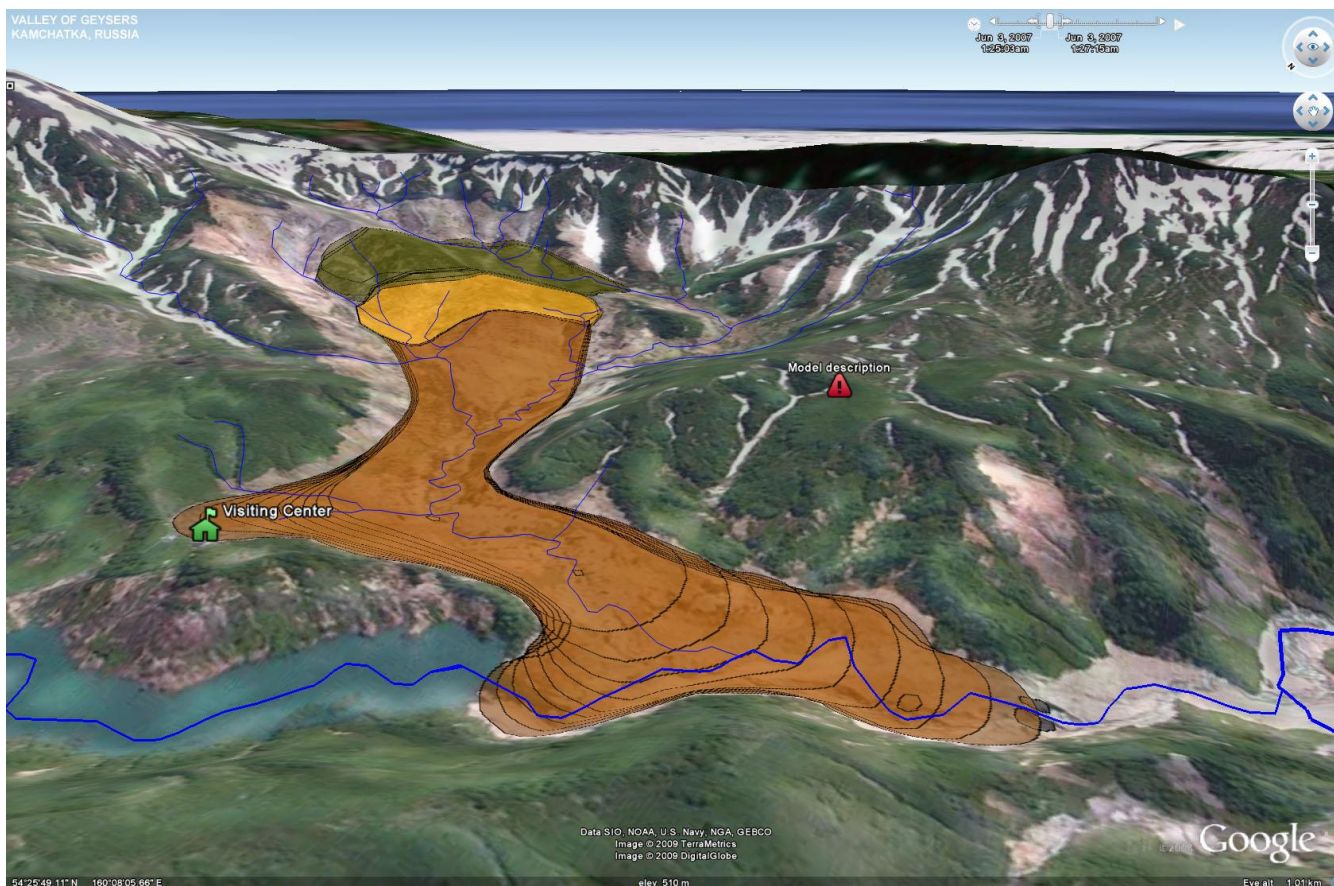


Рис. 6. Моделирование и динамическая визуализация оползня 2007 года.

На первом этапе была выполнена визуализация экспертной оценки динамики распространения оползня. Сложность заключалась в том, что имеющиеся факты (показания очевидцев, начальный рельеф, конечное положение оползня) не позволяют однозначно установить характер и временные характеристики процесса распространения оползня. При создании экспертной оценки совместно со специалистами ИВиС ДВО РАН был выдвинут минимальный набор допущений, необходимый для полной визуализации процесса распространения оползня 2007 года, и выбраны простейшие гипотезы, не противоречащие фактам [6]. Результатом стало создание динамической модели (анимации) оползня на основе Интернет-модели в Google Earth. Для анимации используется набор полигонов (polygons), представляющих последовательные положения оползня с интервалом 15 сек. Период времени, в течение которого каждый полигон отображается на экране, задаётся KML-элементом TimeSpan. Анимация представляет движение двух главных тел оползня и главного обломочно-грязевого потока в масштабе времени, приближенном к реальному, а также наполнение подпрудного озера, прорыв дамбы и формирование нового русла р.Гейзерной в условном масштабе времени, рис. 6.

На следующем этапе планируется выполнить численное моделирование движения оползня методом сглаженных частиц (smoothed particle hydrodynamics, SPH), 3D-визуализацию результатов расчета на основе созданных моделей, и определить пространство параметров модели, в котором расчетные результаты имеют хорошее совпадение с фактическими данными. Полученные данные можно будет использовать для прогнозирования и визуализации оползневой опасности.

9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, была создана общедоступная Интернет-модель района Долины Гейзеров в среде Google Earth, а также начато создание детальной 3D-модели района Долины Гейзеров по технологии виртуального окружения в среде Open Scene Graph. Выполнена динамическая визуализация (анимация) оползня 2007 года на основе экспертных оценок, и начата разработка подходов к численному моделированию оползня с использованием цифровой модели рельефа и метода сглаженных частиц.

Разработанная Интернет-модель демонстрирует возможности использования открытых геосервисов для виртуальной реконструкции природных объектов. Приведённые материалы показывают, насколько широкие возможности визуализации представляет современный неогеографический подход по сравнению с традиционными топографическими картами и схемами. Интеграция разнородных данных на базе открытого геосервиса даёт комплексное представление об объекте, позволяет исследовать его с разных точек зрения, стимулирует интуитивное понимание структуры объекта и происходящих процессов. Предложенные методы могут использоваться для решения разных задач в области научной визуализации геоданных.

Дальнейшее развитие модели предполагается осуществлять в следующих направлениях.

1. Дальнейшее наполнение модели информацией (спутниковыми и аэрофотоснимками высокого разрешения, фото- и видеоматериалами, текстами). Реализация возможности просмотра круговых панорам в Интернет-модели по принципу Street View (прямой переход от панорамы к панораме). Создание 3D-моделей объектов инфраструктуры.
2. Создание виртуальных экскурсий с использованием функции Touring (Интернет-модель) и технологии виртуального повествования в виртуальном окружении. Развитие пользовательского интерфейса 3D-модели для реализации различных режимов самостоятельного перемещения пользователя в пространстве модели.
3. Создание набора моделей рельефа до и после оползня для демонстрации динамики развития рельефа. Использование имеющихся аэрофотоснимков за период 1960-2007 гг и новых спутниковых стереопар высокого разрешения. Отработка технологии динамической стерео визуализации для демонстрации изменений во времени.
4. Развитие подходов к трёхмерной реконструкции и визуализации подземной геологической структуры (слоёв пород, разломов, каналов теплового питания и поступления грунтовых вод, микросейсмической обстановки). Разработка интерфейса просмотра подземной структуры в пространстве модели.
5. Моделирование движения оползня по реальному рельефу методом сглаженных частиц (SPH). Реализация численных расчетов по технологии распределённых вычислений на графических процессорах (NVIDIA CUDA). Динамическая 3D-визуализация результатов расчета на базе созданных моделей.
6. Реализация обратной связи – интерактивное изменение параметров модели (например, задание поверхности скольжения) как управляющее воздействие для перерасчета и визуализации новых результатов. Технологическая реализация на базе созданных моделей концепций СППР, «владения обстановкой», «серьёзных игр» и т.п.

10. БЛАГОДАРНОСТИ

Проект выполняет команда энтузиастов на базе Института физико-технической информатики (ИФТИ, Протвино, Московская область). Нас поддерживают ФГУ «Кроноцкий заповедник» (Елизово, Камчатский край), Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ИВиС ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский), Камчатский филиал геофизической службы РАН (КФ ГС РАН, Петропавловск-Камчатский), а также интернет-портал R&D.CNews. Частичную финансовую поддержку нам оказывает Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ, Москва) - гранты 09-07-06042-г, 09-07-02100-э_к.

Мы хотим поблагодарить всех людей, которые принимают участие в проекте и поддерживают нас. В развитии модели и веб-сайта на сегодняшний день принимают участие: Александр Алейников (ООО «ИТЦ «Сканэкс») – разработка 3D модели рельефа, Дмитрий Белосохов (МФТИ) – развитие Интернет-модели, Евгений Ерёмченко (ИФТИ) – развитие Интернет-модели, Андрей Клименко (ИФТИ) – стерео видео съемка и монтаж, Андрей Леонов (ИФТИ) – идея и координация проекта, развитие модели, Андрей Рашидов (Калифорния, США) – развитие веб-сайта, Павел Фролов (ИФТИ) – развитие 3D модели. Техническую поддержку и консультации оказывают: Михаил Аникушкин (Пенза), Валерий Дрознин (ИВиС ДВО РАН), Виктор Двигало (ИВиС ДВО РАН), Илья Казанский (ИФТИ), Валерий Мельников (ООО «Эффективные Технологии», Москва), Дмитрий Мельников (ИВиС ДВО РАН), Сергей Самойленко (ИВиС ДВО РАН), Николай Титков (КФ ГС РАН), Василь Уразметов (ИФТИ), Валерий Хронусов (Пермь). Организационную и информационную поддержку оказывают: Александр Бугаёв (академик РАН, МФТИ), Ирина Ветцель (региональный менеджер по продажам ERDAS Inc.), Владимир Гершензон (генеральный директор ООО «ИТЦ «Сканэкс»), Евгений Гордеев (академик РАН, директор ИВиС ДВО РАН), Валентина Дмитриева (профессор, декан географического факультета МГПУ), Станислав Клименко (профессор, директор ИФТИ), Виктор Кружалин (профессор, географический факультет МГУ), Владимир Леонов (ученый секретарь ИВиС ДВО РАН), Владимир Мосолов (зам. директора по научной работе ФГУ «Кроноцкий заповедник»), Ярослав Муравьев (зам. директора по научной работе ИВиС ДВО РАН), Мартин Райзер (директор-организатор Института Медиа Инноваций, Сингапур), Александр Серебров (лётчик-космонавт, герой Советского Союза, ИФТИ), Юрий Сметанин (профессор, РФФИ), Лора Уильямс (Камчатский офис Всемирного фонда дикой природы), Александр Фролов (генеральный директор ООО «Навгеоком Инжиниринг», Москва), Виктор Чебров (директор КФ ГС РАН), Тихон Шпиленок (директор ФГУ «Кроноцкий заповедник»). Специальная благодарность: Ильяс Абкадыров, Александр Белоусов, Иван Делемень, Надежда Егорова, Виктория Леонова, Татьяна Леонова, Дмитрий Шпиленок, Игорь Шпиленок, Кай Эстлер.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Леонов А.В., Серебров А.А., Алейников А.А., Дрознин В.А., Ерёмченко Е.Н., Казанский И.П., Клименко А.С., Клименко С.В., Леонов В.Л., Леонова В.Ф., Самойленко С.Б., Уразметов В.Ф., Фролов П.В., Шпиленок Т.И.* Создание виртуальной модели Долины Гейзеров с использованием технологий неогеографии и виртуального окружения // Доклад на мини-конференции «Web & ГИС» в рамках 4-й международной конференции «Земля из космоса – наиболее эффективные решения», г.Москва, 03.12.2009.
2. *Леонов А.В., Серебров А.А., Алейников А.А., Дрознин В.А., Ерёмченко Е.Н., Казанский И.П., Клименко А.С., Клименко С.В., Леонов В.Л., Леонова В.Ф., Самойленко С.Б., Уразметов В.Ф., Фролов П.В., Шпиленок Т.И.* Создание виртуальной модели Долины Гейзеров с использованием технологий неогеографии и виртуального окружения // Доклад на 52-й научной конференции МФТИ, г.Долгопрудный, 28.11.2009.
3. *Леонов А.В.* Разработка виртуальной модели Долины Гейзеров на Камчатке в Google Earth и визуализация оползневой опасности // Доклад на международной конференции GeuserValley2009, г. Петропавловск-Камчатский, 16.09.2009.
4. *Леонов А.В.* Визуализация Долины Гейзеров на Камчатке в Google Earth // Доклад на II международном симпозиуме MEDIAS-2009, Кипр, 14.05.2009.
5. *Леонов А.В.* Визуализация Долины Гейзеров на Камчатке в Google Earth // Доклад на IV международной конференции "Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования", МГУ им. М.В.Ломоносова, 29.04.2009.
6. *Леонов А.В.* Визуализация Долины Гейзеров на Камчатке в Google Earth // Материалы конференции Десятого юбилейного международного форума "ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА" 21-24 апреля 2009 года. – 2009. – С. 475-481.
7. *Сугробов В.М., Сугрובה Н.Г., Дрознин В.А., Карпов Г.А., Леонов В.Л.* Жемчужина Камчатки — Долина Гейзеров. Научно-популярный очерк, путеводитель. — "Камчатпресс", Петропавловск-Камчатский, 2009. — 108 С.
8. *Дрознин В.А., Муравьев Я.Д.* Долина Гейзеров – последнее крупное географическое открытие на Камчатке // Всероссийская научная конференция «100-летие Камчатской экспедиции Русского географического общества», Петропавловск-Камчатский, 22 – 27 сентября 2008 г.
9. *Войцеховский М.Б., Голубчиков Ю.Н., Еремченко Е.Н.* Туризм и методы неогеографии: возможности нового подхода // Материалы III Международной научно-практической конференции «Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования», Географический факультет МГУ, Москва, 24-25 апреля 2008 года.
10. *Пинегина Т.К., Делемень И.Ф., Дрознин В.А., Калачева Е.Г., Чирков С.А., Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Леонов В.Л., Селиверстов Н.И.* Камчатская Долина Гейзеров после катастрофы 3 июня 2007 г. // Вестник ДВО РАН. — 2008. — N 1. — С. 33-44.
11. *Леонов В.Л.* Геологические предпосылки и возможность прогноза оползня, произошедшего 3 июня 2007 г. в Долине Гейзеров, Камчатка // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России: в 2 томах. Труды региональной научно-технической конференции. Том 1 / Отв. ред. В.Н. Чебров и В.А. Салтыков. Петропавловск-Камчатский. 11-17 ноября 2007 г. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. С. 91-95.
12. *Ерёмченко Е. Н.* Неогеография: особенности и возможности. // Материалы конференции "Неогеография XXI-2008" IX Международного Форума "Высокие технологии XXI века", Москва, 22-25 апреля 2008 года.
13. *Байгозин Д.А., Батурич Ю.М., Гёбель М., Клименко С.В., Леонов А.В., Никитин И.Н., Никитина Л.Д.* Интерактивное повествование в виртуальном окружении: обучающая система "Виртуальный Планетарий" // Вычислительные методы и программирование. — 2004. — Т. 5. — N 2. — С. 192-205.
14. *Ерёмченко Е.Н.* Неогеография и Situational Awareness. Материалы конференции "Неогеография XXI-2009" X Международного Форума "Высокие технологии XXI века", Москва, 21-24 апреля 2009 года. — 2009. — С. 434-436.
15. *Байгозин Д.А., Клименко С. В., Батурич Ю.М. и др.* Трёхмерная геoinформация в ситуационных центрах виртуального окружения. // Материалы конференции «Неогеография XXI-2009» IX Международного Форума «Высокие технологии XXI века», Москва, 22-25 апреля 2008 года.