

Визуализация Долины Гейзеров на Камчатке в Google Earth

А.В. Леонов

Кафедра системной интеграции и менеджмента

Московский физико-технический институт (государственный университет), Долгопрудный, Россия
spanishflyer@mail.ru

Абстракт

Статья посвящена виртуальной реконструкции Долины Гейзеров на Камчатке с использованием открытых геоинформационных технологий и программного обеспечения Google Earth. Описана постановка задачи, достигнутые результаты и планируемые направления развития. Создана статичная модель района Долины Гейзеров в Google Earth с интеграцией разных типов данных (фото, видео, карты, схемы, векторные объекты), выполнено моделирование и динамическая визуализация оползня, произошедшего в Долине Гейзеров 3 июня 2007 года, начато развитие подходов к 3D-визуализации.

Работа выполняется на Кафедре системной интеграции и менеджмента Московского физико-технического института (СИМ МФТИ) при поддержке Института вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской Академии Наук (ИВиС ДВО РАН).

Ключевые слова: Долина Гейзеров, неогеография, Google Earth, KML, визуализация, анимация, виртуальная модель.

1. ВВЕДЕНИЕ

Долина Гейзеров на Камчатке – уникальный природный объект, одно из самых крупных в мире скопления гейзеров (периодически фонтанирующих горячих источников) – наряду с Йеллоустонским национальным парком в США, гейзерными полями Исландии и Новой Зеландии.



Рис. 1: Общий вид центральной части Долины Гейзеров. Леонов В.Л. (ИВиС ДВО РАН), 2008.

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, рис. 1.

Из-за своей труднодоступности гейзеры Камчатки были открыты только в 1941 году геологом Кроноцкого заповедника Татьяной Ивановной Устиновой и её проводником ительменом Анисифором Крупениным.

Долина Гейзеров – признанная туристическая жемчужина Камчатки, выбранная в 2008 году одним из семи «Чудес России» наряду с такими природными объектами как Байкал, Эльбрус и столбы выветривания на Печоре. 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. ОПАСНОСТЬ УНИЧТОЖЕНИЯ

В 2007 году в Долине Гейзеров сошёл крупный оползень, заметно изменивший её облик. Примерно половина территории Долины Гейзеров и половина известных гейзеров оказались завалены обломочной лавиной и затоплены озером, образовавшимся в результате подтопления оползнем р.Гейзерной, рис. 2.

По счастливому стечению обстоятельств, никто не пострадал. Оползень не затронул жилые постройки и основную часть Долины Гейзеров, где находится наиболее известная гейзерная площадка Витраж и самый крупный по высоте выброса гейзер Великан.

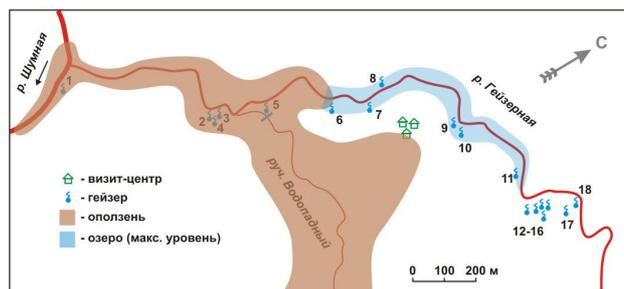


Рис. 2: Схема нижней части оползня и образовавшегося запрудного озера (Леонов А.В., Леонов В.Л., 2007, на базе схемы из книги Т.И. Устиновой «Камчатские гейзеры», 1955). Названия гейзеров: 1 - Первенец; 2 - Тройной; 3 - Сахарный; 4 - Сосед; 5 – У водопада; 6 - Скалистый; 7 - Конус; 8 - Большая Печка; 9 - Малый; 10 - Большой; 11 - Щель; 12-16 - "Витраж" (Грот, Новый Фонтан, Фонтан, Двойной, Непостоянный); 17 - Великан; 18 - Жемчужный.

В то же время, оползень завалил группу гейзера Тройной, которая имела наиболее крупный и красивый 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. Оползень завалил 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 многих уникальных природных объектов, представлявших научный интерес.

К сожалению, повторение подобных событий неизбежно и является лишь делом времени. Анализ оползневой опасности в районе Долины Гейзеров, выполненный специалистами Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, показывает, что естественная эрозия почвы на крутых склонах каньона р.Гейзерной рано или поздно приведёт к новым оползням, которые могут быть спровоцированы сейсмической активностью, весенним таянием снега или продолжительными осадками, рис. 3.

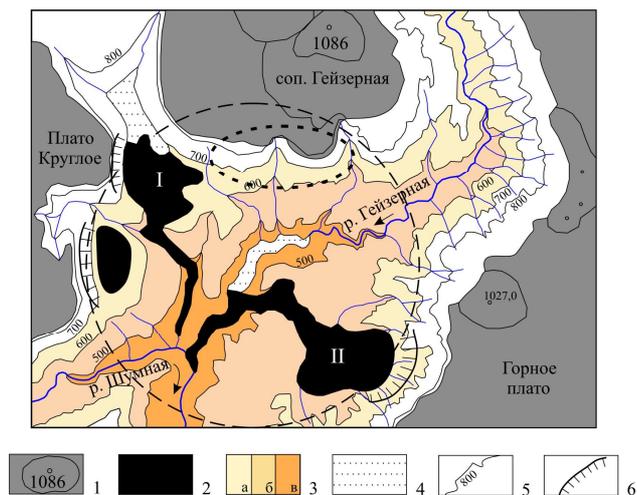


Рис. 3: Прогноз оползневой опасности в районе Долины Гейзеров. 1 – высокие плато и экструзии, формирующие борта наиболее расчлененного участка; 2 – оползни (I – на р. Сестренка, II – на р. Гейзерная); 3 – участки с глубиной вреза: а – 200-300 м, б – 300-400 м, в – 400-500 м; 4 – озера (современное на р. Гейзерной и существовавшие в начале голоцена на р. Сестренка); 5 – изолинии; 6 – стенки отрыва произошедших в данном районе оползней. Пунктирный круг – место, где произошло наиболее глубокое врезание рек в толщу отложений, заполняющих Узон-Гейзерную депрессию. Пунктирный овал – место, где возможно формирование оползней в будущем. Леонов В.Л. (ИВиС ДВО РАН), 2008.

Не вызывает никаких сомнений необходимость наблюдения и прогнозирования оползневой опасности, хотя вопрос о том, оправдано ли будет вмешательство человека в развитие

природных процессов на заповедной территории для сохранения уникального природного объекта, остаётся открытым. На наш взгляд, очевидна также необходимость детальной виртуальной реконструкции Долины Гейзеров в её сегодняшнем состоянии с использованием передовых технологий (таких, как виртуальное окружение) для сохранения максимально полной визуальной информации о ней.

3. ОГРАНИЧЕНИЕ ПОСЕЩЕНИЯ

Долина Гейзеров расположена в труднодоступном районе Камчатки, на территории Кроноцкого заповедника, вдали от автомобильных и морских путей сообщения. 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. Даже если отвлечься от организационных вопросов по проведению массовых пеших туристических маршрутов на территории заповедника, физическая пропускная способность этих маршрутов составляет не более нескольких тысяч человек в сезон.

В настоящее время единственным средством для туриста попасть в Долину Гейзеров является вертолёт. Туристический сезон длится с июня по сентябрь (апрель-май – брачный период бурого медведя, в течение которого полёты над заповедником запрещены, в октябре уже, как правило, холодно). Принимая во внимание погодные ограничения, можно оценить физический предел посещения Долины Гейзеров вертолётными экскурсиями в 3-5 тысяч человек за сезон. В настоящее время заповедником установлена квота на посещение Долины Гейзеров в 3000 человек в год.

Таким образом, даже при увеличении квоты на посещение и организации дополнительно к вертолётным экскурсиям также пеших маршрутов, вряд ли можно ожидать в обозримом будущем посещения Долины Гейзеров более чем несколькими тысячами человек в год. Не будет преувеличением сказать, что это – ничтожные доли процента от числа тех людей, которые хотели бы увидеть Долину Гейзеров.

В отличие от гейзеров США, Исландии и Новой Зеландии, в отличие от других «чудес России» - Байкала и Эльбруса, Долина Гейзеров на Камчатке была и останется природным объектом, посещение которого сильно ограничено естественными причинами – притом, что интерес к ней с развитием информационной и транспортной доступности Камчатки будет только возрастать. Из «чудес России» сходная ситуация наблюдается, пожалуй, только со столбами выветривания на Печоре, которые также труднодоступны и расположены на территории заповедника.

На наш взгляд, большой общественный интерес к этому природному объекту в сочетании с его труднодоступностью делает актуальным создание общедоступной научно-популярной модели Долины Гейзеров (виртуальной реконструкции и связанной с ней информационной системы), которая могла бы в какой-то степени заменить реальное посещение виртуальной экскурсией.

4. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

На наш взгляд, существует три первостепенных задачи в области визуализации Долины Гейзеров.

Во-первых, это создание на базе открытых технологий общедоступной виртуальной модели Долины Гейзеров и интегрированной с ней информационной системы с научными данными. Такая система может использоваться камчатскими учёными из различных научных организаций и подразделений для совместного обсуждения и представления своих результатов и формирования общего понимания потенциальных угроз, связанных с возможными природными катастрофами в районе Долины Гейзеров. Также такая модель позволит развернуть активное и наглядное взаимодействие с учёными других регионов, службами МЧС и Администрацией Камчатского края, туристами и туристическими компаниями, широкой общественностью.

Во-вторых, это создание на базе открытых технологий общедоступной научно-популярной виртуальной модели Долины Гейзеров, ориентированной на туристов и тех людей, которые интересуются этим природным объектом, но не имеют возможности посетить его из-за естественных ограничений посещаемости. Такая модель может содержать большое количество фото- и видео- материалов, обеспечивая пользователю возможность виртуального туристического путешествия по Долине Гейзеров. В этой модели целесообразно применить технологии виртуального повествования, формирующие мультимедийный информационный поток для пользователя в соответствии с заданным сценарием, для создания аналога реальной экскурсии.

В-третьих, это детальная стереоскопическая визуальная реконструкция Долины Гейзеров с использованием передовых технологий трёхмерной визуализации для сохранения максимально полной визуальной информации о современном состоянии этого объекта. Для решения этой задачи требуется проведение полевых работ в Долине Гейзеров и выполнение стереоскопической видеосъёмки местности. Для создания такой реконструкции могут быть применены существующие технологии виртуального окружения, которые разрабатываются на Кафедре СИМ МФТИ. В долгосрочной перспективе, при развитии индивидуальных стереоскопических экранов и пользовательских систем виртуального окружения, эта модель также может стать открытой и общедоступной.

Задачи 1 и 2 на начальном этапе могут быть объединены, если выбрать для их реализации одну программную платформу. Таким образом, с учётом ограниченных ресурсов, нами было выбрано два направления решения поставленных задач.

Во-первых, начато создание общедоступной научно-популярной модели Долины Гейзеров на базе открытых геоинформационных технологий и программного обеспечения Google Earth. В перспективе запланирована интеграция этой модели со специализированным веб-сайтом и информационной системой (базой данных) и возможное разделение на научную и популярную (туристическую) составляющие.

Во-вторых, запланировано проведение полевых работ и детальная стереоскопическая визуализация Долины Гейзеров по технологии виртуального окружения, с долгосрочной перспективой создания на её основе общедоступного продукта.

Выбор программной платформы Google Earth был обусловлен следующими причинами.

Во-первых, это на сегодняшний день стандарт де-факто для реализации бесплатных общедоступных геоинформационных приложений. Базовая версия программного обеспечения бесплатна и свободно доступна на сайте Google, для описания моделей используется открытый формат разметки (KML), поддерживается открытое сообщество пользователей Google Earth Community, для создания и просмотра моделей необходим лишь доступ в Интернет и компьютер с современной видеокартой. Авторитет фирмы Google и анонсированные ей стратегические планы по развитию геоинформационных приложений позволяют надеяться на дальнейшую поддержку и развитие этой платформы.

Во-вторых, даже базовая версия Google Earth имеет достаточную функциональность для разработки сложных приложений. В неё входит возможность создания маркеров, привязанных к местности, с описаниями и внешними ссылками (Placemark), многозвенных линий (Path), полигонов (Polygon), наложение растровых изображений с ручной привязкой к основе (Ground Overlay), трёхмерное моделирование (использование третьей координаты – высоты – для точек, задающих векторные объекты), динамическое моделирование (использование четвертой координаты – времени – для любых объектов). В базовую функциональность входит также возможность восстановления рельефа (Terrain on) и просмотра местности в режиме «птичьего полёта» под различными углами, что радикально обогащает визуальное впечатление от просмотра.

В-третьих, среда Google Earth, в отличие от традиционных ГИС, позволяет отображать природные объекты без отрыва от общегеографического контекста, в едином «пространстве» с другими, сколь угодно удалёнными объектами, интересующими пользователя (например, прочими туристическими достопримечательностями региона, местом проживания самого пользователя, возможными маршрутами посещения и т.д.). Приложения на базе Google Earth не ограничены «рамкой», как традиционная ГИС или карта. Использование реальных географических координат, растровой географической основы (спутниковых снимков) и открытых гипертекстовых форматов представления геоданных составляют основу нового подхода к работе с геопространственной информацией, который получил название «неогеографии», и Google Earth – один из флагманов в развитии этого подхода. По нашему мнению, среда Google Earth на сегодняшний день является наиболее приемлемым выбором для развития открытых, бесплатных, общедоступных геоинформационных приложений.

5. СТАТИЧНАЯ МОДЕЛЬ

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 только низкого

разрешения (15 м на пиксель), которые дают очень грубую визуализацию ландшафта, и не позволяют вручную осуществить позиционирование объектов, точные координаты которых неизвестны. Для создания основы приемлемого качества были использованы топографические карты масштаба 1:200 000, 1:10 000, 1:2 000, а также аэрофотоснимок 2007 года. Изображения накладывались как Ground Overlay, масштабирование и привязка к местности осуществлялись вручную в указанной выше последовательности, по характерным точкам (в основном, слияния рек) и по ранее привязанным изображениям. Скриншоты (копии экрана), приведённые ниже, позволяют оценить качество визуального представления модели, рис. 4,5.



Рис. 4: Модель Долины Гейзеров в Google Earth, вид на север.

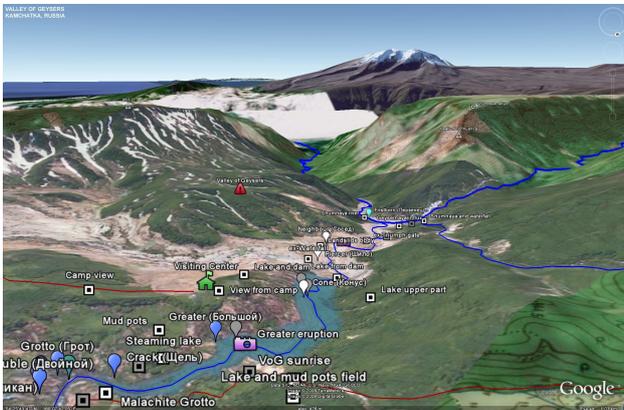


Рис. 5: Модель Долины Гейзеров в Google Earth, вид на юг.

Топографическая основа была дополнена несколькими слоями данных:

1. Координаты и фотографии основных гейзеров;
2. Фотоснимки местности с описаниями, привязанные по точке съёмки;
3. Видеоматериалы с извержениями гейзеров, привязанные по точке съёмки;
4. Координаты и фотографии объектов туристической инфраструктуры;

5. Координаты основных высот, на основе карты 1:200 000;
6. Векторные представления основных рек района и их притоков;
7. Векторное представление основных пеших маршрутов из Долины Гейзеров;
8. Векторное представление подпрудного озера, по текущему уровню воды;
9. Векторные 3D-модели разломов, по которым произошёл отрыв тела оползня;
10. Растровая геологическая карта местности;
11. Растровая карта распределения температуры грунта;
12. Растровая схема оползня, произошедшего 3 июня 2007 года;
13. Растровая схема оползневой опасности в районе Долины Гейзеров.

Слои 1-5 выполнены с использованием маркеров (Placemark), 6-7 – многозвенных линий (Path), 8-9 – полигонов (Polygon), 10-13 – наложенных изображений (Ground Overlay). Все объекты снабжены описаниями на русском и английском языках. Изображения и видеоматериалы сохранены на открытых серверах (www.photofile.ru и www.youtube.com соответственно), 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. 6.



Рис. 6: Просмотр фотографии в модели.

Модель была опубликована 20.12.2008 на форуме сообщества Google Earth и заслужила высокую оценку пользователей [1].

6. АНИМАЦИЯ ОПОЛЗНЯ

Следующим этапом стало создание динамической модели (анимации) оползня, произошедшего в Долине Гейзеров 3 июня 2007 года. Для этого используется набор полигонов, представляющих последовательные положения оползня. Период времени, в течение которого каждый полигон отображается на экране, задаётся KML-элементом TimeSpan. Анимация представляет движение двух главных тела оползня и главного обломочно-грязевого потока в масштабе времени,

приближенном к реальному, а также наполнение подпружного озера, прорыв дамбы и формирование нового русла р.Гейзерной в условном масштабе времени.

Для визуализации оползня потребовалось предварительное моделирование процесса его распространения. 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 модели мы следовали принципу «бритвы Оккама», а именно: стремились выдвигать лишь те допущения, которые минимально необходимы для визуализации, и из возможных альтернативных гипотез выбирали простейшую, не противоречащую фактам. Параметры модели и обоснование сделанных допущений приведено ниже.

1). Время начало оползня. Известно, что оползень произошёл 3 июня 2007 года в третьем часу дня местного времени. Точное время начала неизвестно, на основании показаний очевидцев принято считать временем начала оползня 14:20. В модели используется время по Гринвичу, отстающее от летнего камчатского времени на 13 часов. Таким образом, временем начала оползня в модели принято 03.06.2007 1:20 GMT.

2). Время распространения оползня. Достоверно не известно. По имеющимся кадрам видеосъёмки немецких туристов, скорость бокового языка оползня, захлестнувшего к лагерю по относительно пологому участку местности, можно оценить в 2-3 м/с. Скорость движения основной массы на крутых прямолинейных участках в средней части долины ручья Водопадного, очевидно, была больше. Время, которое потребовалось оползневой массе для заполнения долины реки Гейзерной, также как и время распространения языка лавины до реки Шумной, сейчас уже установить невозможно. Оценки специалистов разнятся от нескольких минут до нескольких десятков минут. Для модели мы выбрали ориентировочное время распространения оползня (от начала до реки Шумной) в 10-15 минут, конкретное время было определено, исходя из удобства визуализации (13 мин.).

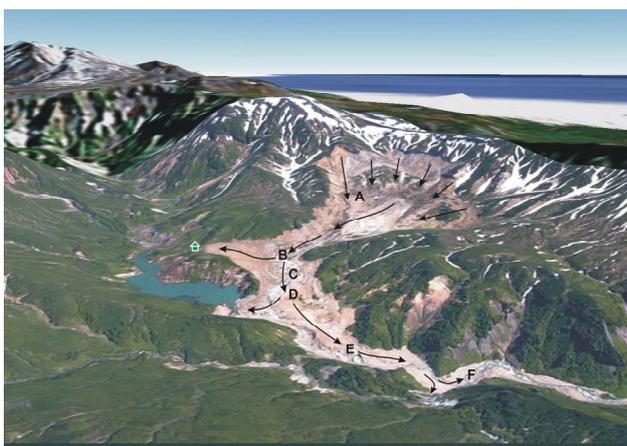


Рис. 7: Общий вид оползня (модель в Google Earth) с разметкой основных участков движения лавины.

3). Число тел оползня и обломочных лавин. Обрушение пород в верховьях ручья Водопадного происходило, по-видимому, не единым блоком, хотя и близко по времени. В.Н.Двигало, В.Л. Леонов и другие специалисты ИВиС ДВО РАН выделяют два основных тела, сползание которых произошло с небольшой разницей во времени. Основная по объёму сопка (первое тело) «подрезала» крутой склон, который затем сошёл единым куском (второе тело) и упёрся в остатки первого тела и вал его бортовых отложений. Второе тело практически не разрушилось, на его поверхности сохранились элементы рельефа, снежники, кустарники. Главная обломочная лавина была сформирована в основном первым телом. Специалисты выделяют также более мелкие тела оползня и обломочные лавины, однако последовательность их возникновения и характер распространения достоверно установить невозможно. Для модели мы выбрали самую простую не противоречащую фактам схему: первое тело формирует осколочную лавину и частично разрушается, второе тело начинает сходить через 1 мин после первого, упирается в его верхний борт и не разрушается.

4). Скорость движения тел оползня. За неимением достоверно установленных фактов, выбрана самая простая физическая схема: скорость движения тел оползня нарастает в начале и экспоненциально замедляется в конце.

5). Скорость движения обломочно-грязевой лавины. Это наиболее сложный и спорный вопрос, но без его модельного решения невозможно выполнить визуализацию процесса распространения лавины. Однозначно можно сказать лишь то, что скорость лавины не была равномерной, поскольку обломочная масса распространялась по сложному рельефу, с неоднократными изменениями ширины потока, направления движения и ответвлением боковых языков. Нами были выделены основные участки на пути движения лавины и предложена следующая модель изменения скорости, которая, на наш взгляд, минимально достаточна с учётом известных фактов, см. рис. 7,8. Первый, относительно прямой и прямолинейный участок в средней части долины ручья Водопадного (A-B), от начальной точки возникновения лавины до точки изменения направления движения и входа оползневой массы в узкий и извилистый участок в нижней части долины ручья Водопадного – движение с ускорением. Второй участок (B-C) – резкое замедление скорости лавины в нижней части ручья Водопадного, узком и извилистом каньоне с многочисленными прижимами. В этом месте, по-видимому, возник затор, поступающая сверху масса обломочного материала стала накапливаться, ее уровень начал подниматься, и на пологом участке по правому борту сформировался боковой язык оползня, вплотную подошедший к жилым постройкам. Затем произошёл прорыв, скалы, стоящие на пути распространения обломочной лавины, были преодолены и частично, по-видимому, разрушены, и вся масса устремилась в долину реки Гейзерной (C-D) – относительное увеличение скорости. Характер заполнения оползневой массой долины реки Гейзерной и её распространения до скал в нижней части долины («Триумфальные ворота»), по-видимому, уже не может быть установлен, поэтому в условиях недостатка фактов в модели была принята постоянная скорость движения лавины на этом участке (D-E). Наконец, за

Триумфальные ворота прорвалась уже небольшая часть материала, которая и выплеснулась в долину реки Шумной (E-F) – на этом участке для модели было принято экспоненциальное замедление скорости. Абсолютные значения скоростей для модели были выбраны исходя из общего времени распространения лавины.

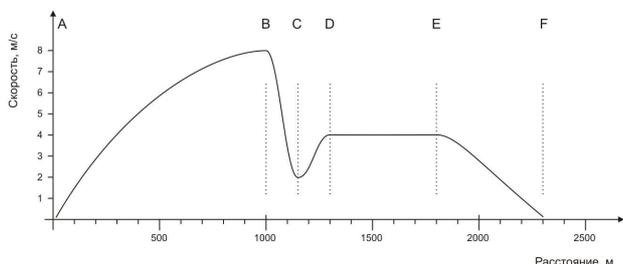


Рис. 8: Модельный график изменения скорости движения лавины на основных участках.

б). Характер движения потока. Для визуализации характера движения обломочно-грязевого потока была выбрана модель движения двухкомпонентной смеси, предложенная Самойленко С.Б. (ИВиС ДВО РАН), рис. 9. Фронт потока занимает всю ширину (известную из конечного положения оползня), затем происходит существенное сужение основного потока с формированием бортовых валов.

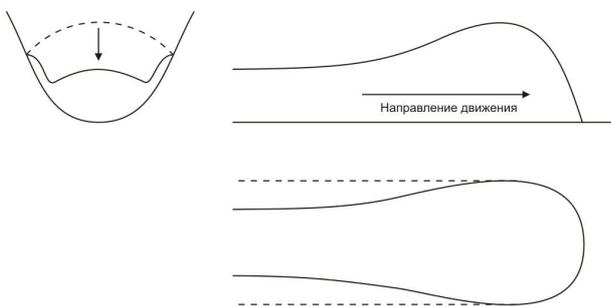


Рис. 9: Модельный характер движения фронта двухкомпонентного обломочно-грязевого потока, в трёх проекциях. Самойленко С.Б. (ИВиС ДВО РАН), 2009.

7). Формирование подпрудного озера. Наполнение озера заняло 4 дня, 7 июня 2007 года вода достигла максимальной отметки 435 м, вплотную приблизившись к основной гейзерной площадке (Витражу). Днём 7 июня река прорвала дамбу, проложив новое русло по её поверхности. В течение первых четырёх часов уровень воды упал на 9 м. Благодаря работе спасателей МЧС и добровольцев в августе 2007 года, которые вручную разбирали завалы в новом русле реки, удалось понизить уровень воды ещё на 2 м, вследствие чего открылся грифон гейзера Большой. Дальнейшие работы по разбору завалов были прекращены, т.к. следующий крупный гейзер (Малый) находится в 9 м под водой. В настоящее время абсолютный уровень воды в запрудном озере составляет 424 м. В модели был принят условный масштаб

времени для процесса формирования озера (7 мин), в целях сохранения сопоставимого масштаба времени с процессом схода лавины. Показано наполнение озера, прорыв дамбы, новое русло р.Гейзерной и снижение уровня воды до текущей отметки.

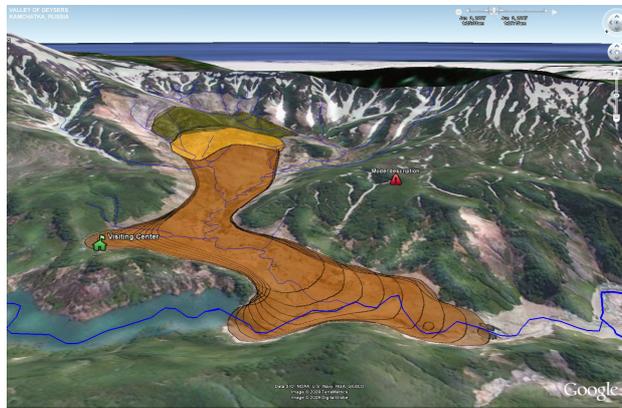


Рис. 10: Анимация оползня, общий вид. Для наглядности показан ряд последовательных положений оползня.

Динамическая модель (анимация) оползня была опубликована 28.03.2009 на форуме сообщества Google Earth и заслужила высокую оценку пользователей [1], рис. 10,11. Также модель была одобрена специалистами ИВиС ДВО РАН.



Рис. 11: Структура анимации с разметкой основных участков движения лавины. Интервал между соседними положениями лавины составляет 15 сек.

7. ПЛАНИРУЕМОЕ РАЗВИТИЕ

Дальнейшее развитие модели предполагается осуществлять в следующих направлениях:

1). Трёхмерная реконструкция подземной геологической структуры в районе Долины Гейзеров: визуализация слоёв

пород, разломов, каналов теплового питания и поступления грунтовых вод, микросейсмической обстановки.

2). Динамическая визуализация оползневой опасности (анимация возможных оползней) в Долине Гейзеров, в том числе трёхмерная, по наиболее вероятным сценариям.

3). Дальнейшее наполнение модели информацией, прежде всего спутниковыми и аэрофотоснимками высокого разрешения, фото- и видео- материалами.

4). Создание виртуальной экскурсии по Долине Гейзеров с использованием технологий виртуального повествования, доступных в Google Earth (Touring).

5). Интеграция модели со специализированным веб-сайтом и/или базой данных.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, нами было выполнено моделирование района Долины Гейзеров в среде Google Earth и динамическая визуализация оползня, произошедшего 7 июня 2007 года. Разработанная модель демонстрирует возможности использования открытой среды разработки геоинформационных приложений Google Earth для виртуальной реконструкции сложных природных объектов в научных и научно-популярных целях.

Приведённые выше материалы показывают, насколько широкие возможности визуализации представляет современный неогеографический подход по сравнению с традиционными топографическими картами и схемами. Интеграция разнородных данных на базе геоинформационной системы 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 широкого класса задач в научной визуализации и виртуальном туризме. В частности, со специалистами ИВиС ДВО РАН обсуждается возможность виртуальной реконструкции в Google Earth процессов формирования четвертичных кальдер Камчатки и связанных с ними геотермальных систем, динамики современных ледников и исторических оледенений, сейсмической обстановки.

Дальнейшее развитие предложенной модели, на наш взгляд, может внести свой вклад в развитие виртуального туризма на Камчатке, помочь широкому обсуждению перспектив сохранения уникальных природных объектов и развития туристической инфраструктуры.

9. БЛАГОДАРНОСТИ

Прежде всего, автор хотел бы поблагодарить своего отца, учёного секретаря ИВиС ДВО РАН, к.г.-м.н. Леонова В.Л., за предоставленные материалы и научные консультации, и с.н.с. ИВиС ДВО РАН, к.ф.-м.н. Самойленко С.Б. за существенный вклад в разработку модели распространения оползня. Автор выражает признательность за предоставленные материалы сотрудникам ИВиС ДВО РАН Двигало В.Н., к.г.-м.н. Делемень И.Ф., к.т.н. Дрознину В.А., к.г.н. Муравьеву Я.Д. За ценные советы по улучшению модели автор благодарит

Ерёмченко Е.Н., д.ф.-м.н., проф. Клименко С.В., к.т.н. Хронусова В.В.

10. ССЫЛКИ

[1] Леонов А.В. *Модель Долины Гейзеров в Google Earth*: <http://bbs.keyhole.com/ubb/ubbthreads.php?ubb=showflat&Number=1186578#Post1186578>.

Об авторе

Андрей Владимирович Леонов – кандидат физико-математических наук, доцент Кафедры системной интеграции и менеджмента МФТИ (ГУ). Его контактный адрес электронной почты: spanishflyer@mail.ru.