

УДК [004.94:379.85]+528.94
DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-5-108-118

СОЗДАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D-МОДЕЛИ ГОРНОГО РЕЛЬЕФА ДЛЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТУРИЗМА

Татьяна Евгеньевна Елишина

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, тел. (383)361-06-35, e-mail: dony2005@mail.ru

Ирина Петровна Кокорина

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, тел. (383)361-06-35, e-mail: irusha2008@gmail.com

Александр Владимирович Сысоев

2ГИС, 630048, Россия, г. Новосибирск, пл. К. Маркса, 7, инженер-картограф, тел. (999)468-89-50, e-mail: sasha.sysoev.94@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы создания и использования 3D-модели горного рельефа для геоинформационного обеспечения туризма Российской Федерации на примере территории Республики Ингушетии. Целью работы является разработка и применение цифровой 3D-модели горного рельефа для ее использования при создании туристской интерактивной карты на web-сервисах, а также туристских и административных сайтах республик Кавказа. Использовались методы геоинформационного картографирования, моделирования рельефа, картографический метод исследования и современное программное обеспечение: 3D Spatial Analysts, WorldMachine, Unity 3D. Выполнена классификация видов туризма и объектов природного и культурного наследия в Республике Ингушетии. В результате анализа туристских и административных сайтов, а также web-сервисов республик Кавказа, сделан вывод об их недостаточном геоинформационном обеспечении. Представлены возможности применения 3D-моделей горного рельефа на web-картах для целей туризма. Создана цифровая модель горного рельефа Республики Ингушетии с анимацией естественного окружения. Разработана 3D-сцена, которая передает основные формы рельефа и расположение объектов на местности.

Ключевые слова: горный рельеф, туризм, Северный Кавказ, Республика Ингушетия, web-карты, цифровая модель рельефа, геоинформационное картографирование, гипсометрическая шкала, светотеневое изображение рельефа, 3D-сцена

Введение

Создание туристско-ориентированных ГИС-систем на территории России соответствует задачам стратегии развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года [1].

Цель работы – создание и применение цифровой 3D-модели горного рельефа для последующего использования при размещении туристской интерактивной карты на web-сервисах, а также соответствующих сайтах республик Кавказа.

Для этого необходимо решить следующие задачи: проанализировать состояние геоинформационного обеспечения туризма и способы отображения рельефа на web-картах и сервисах; выполнить классификацию видов

туризма и объектов природного и культурного наследия в Республике Ингушетии; создать 3D-модель горного рельефа и разработать 3D-сцену с объектами общегеографического и тематического содержания на территорию Республики Ингушетии.

Web-карты представлены на сайтах на базе платформ OpenStreetMap и коммерческих, принадлежащих сервисам Here, Google Maps, Яндекс.Карты [2]. На этих сайтах, кроме прочей информации, встречаются картографические модели, отображающие территорию для различных видов хозяйственной деятельности [2]. Огромную роль здесь играет привлекательность и наглядность подачи информации, которая позволяет расширить круг потребителей сайтов. 3D-модели используются для показа

объектов местности, которые достоверно передают расположение объектов, сохраняют характерный внешний облик земной поверхности, показывают особенности рельефа и дают возможность для выполнения измерений морфометрических показателей [3–5].

Цифровые модели рельефа (ЦМР), которые могут быть получены с помощью методов пространственного анализа, позволяют создавать карты различной направленности и имеют большое значение для изображения рельефа. Наборы пространственных данных и многообразие компьютерных средств позволяют визуализировать глобальные трехмерные модели местности в web-среде. Оформление рельефа осуществляется при помощи отмывки, послойной гипсометрической окраски или наложением космического снимка [6–9].

Просматривая сайты и web-сервисы республик Северного Кавказа в целом и Республики Ингушетии в частности, можно сделать вывод о недостаточном геоинформационном обеспечении данного региона. Это связано с тем, что информация об имеющихся туристских направлениях представлена частично, не отражает современного состояния рассматриваемого вопроса (нет подробных информационных ресурсов о развитии сферы туризма в регионе и его видах). В Ингушетии мало таких сайтов, а 3D-моделей горного рельефа на данную территорию на сайтах кроме Google нет. Таким образом, значительно увеличивается спрос на геоинформационное обеспечение территории, и на сегодняшний момент создание современной системы геоинформационного обеспечения туристской деятельности в Российской Федерации в целом и в Республике Ингушетии в частности весьма актуально.

В структуре административного либо туристского сайта необходима карта, в основу тематического содержания которой положена классификация видов туризма. С этой целью рассмотрены самые распространенные виды туризма в Республике Ингушетии [10].

Для разработки классификации видов туризма были рассмотрены природно-климатические особенности и культурно-историческое наследие Республики Ингушетии. Уникальность и живописное разнообразие природно-климатических условий территории Кавказа создали благоприятные условия для развития туризма. Республика Ингушетия включена

в туристический кластер Северного Кавказа. В республике приоритетным видом туризма является внутренний. Согласно классификации туризма Всемирной туристической организации по видам транспорта, в республике можно выделить авиационный и наземный туризм. Имеет место самостоятельный (самостоятельный) туризм, который организуется туристскими клубами и т. д. в форме походов, экспедиций, туристских слетов и туристско-спортивных соревнований. Транспортная система региона хорошо развита. На территории республики есть внутренний аэропорт «Магас», с запада на восток проходит участок Северо-Кавказской железной дороги и участок автомобильной дороги федерального значения «Ростов – Баку». Пеший туризм по тропам возможен с помощью проводников. Активный туризм связан с горным рельефом.

В Республике Ингушетии в соответствии с Федеральным законом «Об основах туристической деятельности в РФ» от 24.11.1996 присутствуют и развиваются следующие виды внутреннего туризма: культурно-исторический, рекреационный (курортно-оздоровительный, в том числе лечебный), спортивный туризм, а также экотуризм в границах особо охраняемых природных территорий.

Туризм наследия (культурно-исторический туризм) имеет цель ознакомления с историей и архитектурой: познавательный, музейный, этнический и религиозный (паломнический). Согласно постановлению «О перечне расположенных на территории Республики Ингушетия объектов, обладающих признаками объекта культурного наследия» от 01.04.2015 [11], культурное наследие Республики Ингушетии очень богато и представлено историческими местностями: Ассинское, Джейрахское, Армхинское ущелья, Таргимская котловина и др. Здесь находятся средневековые башенные комплексы, памятники истории и культуры федерального значения, например, древнейший в России христианский храм Тхаба-Ерды. Джейрахско-Ассинский государственный историко-архитектурный и природный музей-заповедник объединяет памятники архитектуры, например, замковые комплексы Таргим, Эгикал, Хамхи, Ний, Лейми, Оздик и др.; замок-крепость – башенный комплекс «Вовнушки». Общее количество башен в Ингушетии – около двух тысяч.

Многофункциональные крепости в Ингушетии послужили стилевой базой для создания монументов, например, башня согласия в Магасе, Аланские ворота, мемориальный комплекс «Девять башен» в Назрани.

Рекреационные путешествия (лечебные, оздоровительные, познавательные, спортивные) стали основой развития рекреационного туризма. Лечебно-оздоровительный туризм включает в себя оздоровительный отдых, лечебный туризм (курортное дело): горный и лыжный туризм. Альпинизм развит в горах, на горных хребтах и перевалах. Санаторно-курортный туризм включает в себя путешествия с целью лечения. На территории республики находятся бальнеологические и климатические курорты. Термальные источники: Ачалукское месторождение минеральных вод, расположенное между селениями Средние и Нижние Ачалуки Малгобекского района.

Зимний экстремальный отдых связан с развлечениями в горнолыжных комплексах «Архни» и «Цори». «Армхи» внесен в реестр международных и российских спортивных объектов, стал местом проведения чемпионата России по скоростному спуску на горных велосипедах и республиканских соревнований по легкой атлетике. Курорт оснащен профессиональной велотрассой для бейсджампинга с трамплинами и другими препятствиями.

Приключенческий туризм связан с организацией нестандартных туров, например, посещением пещер, охотой, рыбалкой, фотоохотой и др., рафтингом, спелеотуризмом. Рыбалка возможна круглый год (кроме периода нереста), так как речная сеть густая и сильно разветвленная, почти все реки горные и большинство не замерзает. Крупнейшие реки – Сунжа, Армхи, Асса, Терек. Также имеются водопады.

Спортивный (спортивно-оздоровительный туризм) включает в себя спортивное ориентирование, рафтинг, туристское многоборье. Широко развит туризм обзорный (культурно-ознакомительный или экскурсионный), а также событийный туризм, включающий в себя посещение национальных фестивалей, праздников и спортивных событий.

Этнотуризм является видом познавательного туризма и преследует цель посещения объекта этнографии для познания быта, тра-

диций и культуры этноса, живущего ныне или проживавшего ранее.

Материалы и методы исследования

В работе использовались ПО ArcGIS Pro: 3D Analyst, Spatial Analysts, WorldMachine, Unity 3D. Spatial Analysts были применены для создания самой модели, WorldMachine – для улучшения визуального качества модели, Unity 3D – для создания 3D-сцены [12–15].

Для решения поставленных задач использовались: картографический метод исследования, теория картографии, методы и теория моделирования рельефа, современное программное и аппаратное обеспечение, геоинформационное картографирование [16].

Может быть использована растровая цифровая модель рельефа. Такая модель быстро обрабатывается и является более простой для визуализации, так как требует меньше вычислительных ресурсов. Устройства вывода, такие как мониторы, также имеют растровый формат, в результате чего изображение GRID быстро визуализируется на экране. К недостаткам данной модели можно отнести ограниченное на сегодняшний день качество визуализации – сглаживание горных форм рельефа не передает особенностей горных территорий, а при изменении масштаба изображения происходит ухудшение качества раstra.

Так как туристские карты используются большим количеством потребителей, то визуальная составляющая ЦМР, помимо точности, имеет большое значение. Средства ГИС не всегда позволяют создать визуальное качественное изображение ЦМР. Для улучшения наглядности изображения модели были улучшены с использованием программ из сферы моделирования и дизайна.

Для создания трехмерной модели горного рельефа использована геоинформационная система ArcGIS, программа моделирования WorldMachine, а для визуализации – мультиплатформенный 3D-редактор Unity.

Цифровая модель рельефа была создана на основе цифровых данных топографической съемки, представляющих собой высоты из базы данных отметок высот с координатами (в метрах) в формате MapInfo, предоставленными ООО «КАРТИНФОРМ», г. Пятигорск,

2014 г., на территорию Республики Ингушетии. Координаты крайних точек территории картографирования: 42.52, 44.40; 42.94, 44.40; 42.94, 45.08; 42.52, 45.08.

В дополнительном модуле программы ArcGIS Spatial Analysts с помощью инструментов пространственного анализа, в частности, метода триангуляции Делоне, были проинтерполированы высотные данные, которые далее преобразованы в 3D-модель горного рельефа. Также на их основе получены горизонтали с высотой Z. С помощью модуля 3D Analyst создана TIN-модель. Для переноса этой модели в Unity использовались DXF-и FBX-форматы. Из двух форматов был выбран DXF как основной формат обмена геометрическими данными и более подходящий для трехмерных моделей. Формат FBX замедляет обработку [17–19].

Цифровая модель рельефа, полученная методом триангуляции, была загружена в приложение Google Earth (Планета Земля) для сравнения изображения полученного горного рельефа местности с уже имеющимся изображением этой территории [20–24].

Результаты исследования и их обсуждение

Проанализировано состояние геоинформационного обеспечения туризма и способы отображения рельефа на web-картах и web-сервисах. Выполнена классификация видов туризма и объектов природного и культурного наследия в Республике Ингушетии. Ото-

браны объекты туристского назначения, характеризующие туризм в республике.

На цифровой модели рельефа, выполненной в программе ArcGIS, сделана отмывка и получен полутеневой цифровой оригинал с помощью инструмента Hillshade, который позволяет визуализировать гипотетическое освещение поверхности путем определения освещенности для каждой ячейки растра. Применение данной функции значительно улучшает визуальное представление поверхности для дальнейшего анализа и отображения.

Осуществлен перенос данной модели в высоком разрешении с улучшенным качеством отображения растра в формат TMD для обработки в программе WorldMachine. После добавлены основные формы рельефа, такие как террасы у подножия гор. Приблизительный возраст гор составляет 23–28 млн лет. Далее добавлены формы рельефа, созданные под влиянием эрозионных процессов, которые на модели выделены белым цветом. В данном ПО этапы создания и внесения данных в модель рельефа представлены в виде блоков, которые несут информацию о каждой характеристике модели: эрозия, уровень склонов, послынная окраска, направление света и т. д. Например, блок Erosion показывает эрозию в зависимости от возраста рельефа. Используя данную схему, также можно добавлять информацию о залегающих горных породах данной местности, деятельности поверхностных и подземных вод, деятельности ветра, выветривании, деятельности ледников (рис. 1, 2).

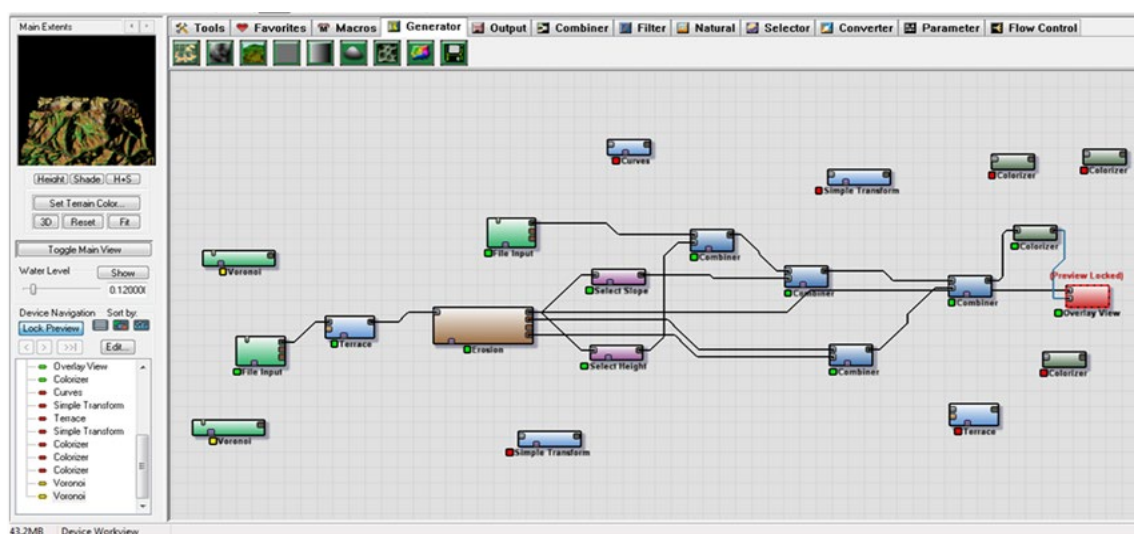


Рис. 1. Схема блоков, составленная для модели в World Machine

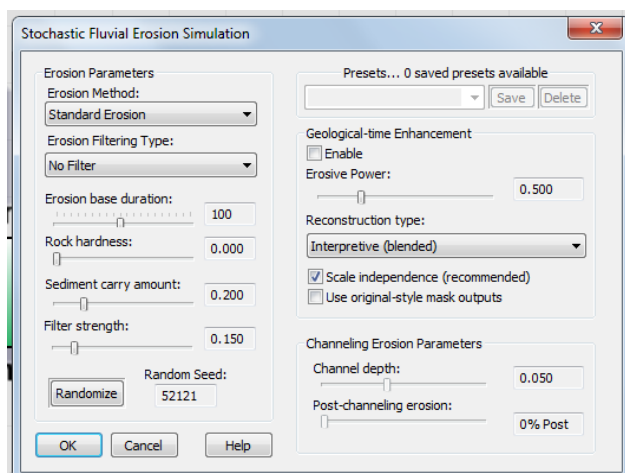


Рис. 2. Интерфейс блока Erosion

Данную модель можно редактировать: например, изменять гипсометрическую окраску рельефа, основные формы рельефа, возраст и твердость горных пород. На основе этих данных в перспективе возможно вычисление эрозионных процессов и применение их на модели. При моделировании рельефа необходимо иметь в виду, что модель может содержать различные элементы местности, которые будут придавать ей наглядность и уникальность. Проведено сравнение с космическим снимком в местах, где разрешение снимка позволяло увидеть особенности рельефа. Модель имеет хорошую наглядность и демонстрирует основные формы рельефа, например, террасы, пики, скалы, ледники, морены.

Полученная ЦМР подходит для создания тематических карт, в том числе и туристских. Модель можно использовать и в других областях, так как есть возможность спрогнозировать изменения рельефа с учетом различных природных факторов (рис. 3, 4).

В настоящее время широкое распространение получили 3D-модели рельефа с сочетанием 3D-сцен, которые передают реальную картину местности. 3D-сцены широко используются в ГИС, где моделируется окружающая среда, которая придает наглядность и удобство использования.

Была разработана 3D-сцена в следующей последовательности:

- 1) моделирование (создание геометрии);
- 2) создание карты рельефа на основе отметок высот и ее обработка;

- 3) нанесение цвета для более качественного отображения модели;
- 4) добавление источников света северо-западного направления;
- 5) нанесение общегеографических и тематических 3D-объектов.

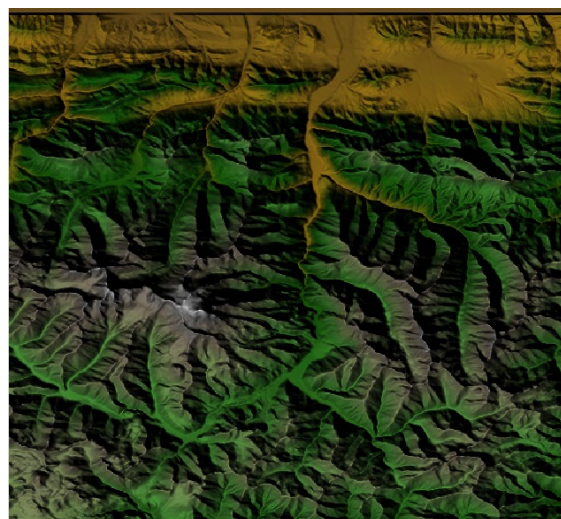


Рис. 3. Цифровая модель рельефа – растровая модель (горизонтальная проекция)

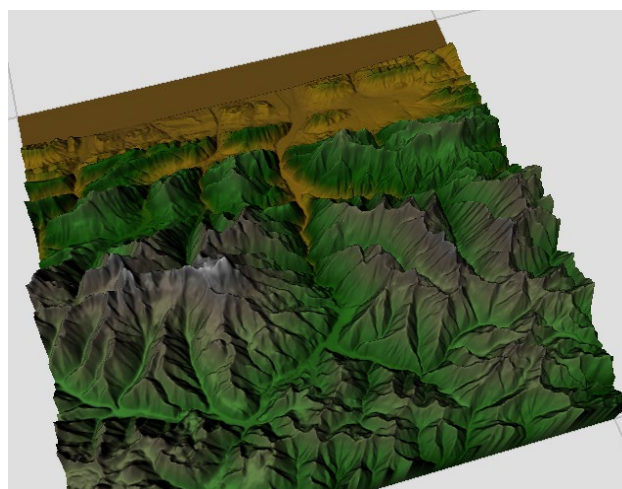


Рис. 4. Цифровая модель рельефа – растровая модель (перспектива)

Для ее создания использовалась программа Unity – мультиплатформенный инструмент для разработки трехмерных приложений. Модель рельефа была импортирована в программу Unity3D в формате DXF из World Machine для создания 3D-сцены на основе данной модели (рис. 5, 6).

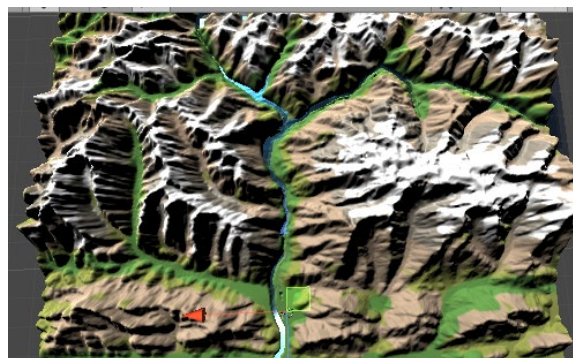


Рис. 5. Модель территории Ингушетии (горизонтальная проекция)

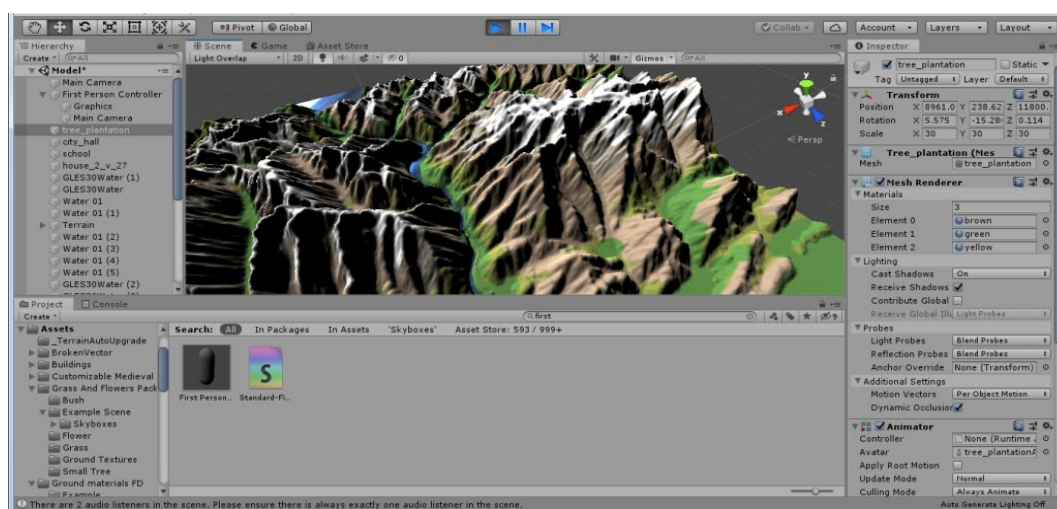


Рис. 6. Модель территории Ингушетии (перспектива)

В Unity работа выполняется над 3D-сценой (трехмерной моделью местности); возникает разница между фактическим количеством вершин до экспорта в Unity и после. Суть проблемы заключается в информации, которая для обработки требует высокого объема оперативной памяти компьютера, а также требовательна к его графическим возможностям. Поэтому для того, чтобы минимизировать искажения в Unity, модель переносится в программу World Machine для визуальной доработки. Для качественного отображения 3D-сцены рельеф окрашивается методом светотеневой пластики. Также программа Unity позволяет воссоздавать

модели источника света для более корректного отображения горного рельефа. Главным фактором при создании теней в 3D сцене для конкретной территории является расположение Солнца на небе, которое задается в настройках сцены. Кроме основного освещения была использована технология Ambient Occlusion. Эта технология позволяет программе создавать эффект затенения в углах, трещинах, узких проемах, что придает наглядность и реализм горной территории. Также была использована послойная окраска модели рельефа для улучшения визуального качества и корректной передачи основных форм рельефа (рис. 7).

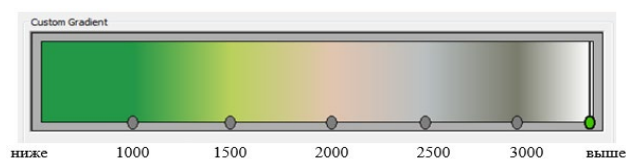


Рис. 7. Шкала послойной окраски рельефа, выполненная в программе Unity

Используя методы создания и оптимизации 3D-модели горного рельефа, была разработана 3D-сцена, которая передает основные формы рельефа и расположение объектов на местности (населенные пункты, пути сообщения, ледники, растительность, туристские объекты и т. д.) (рис. 8, 9).

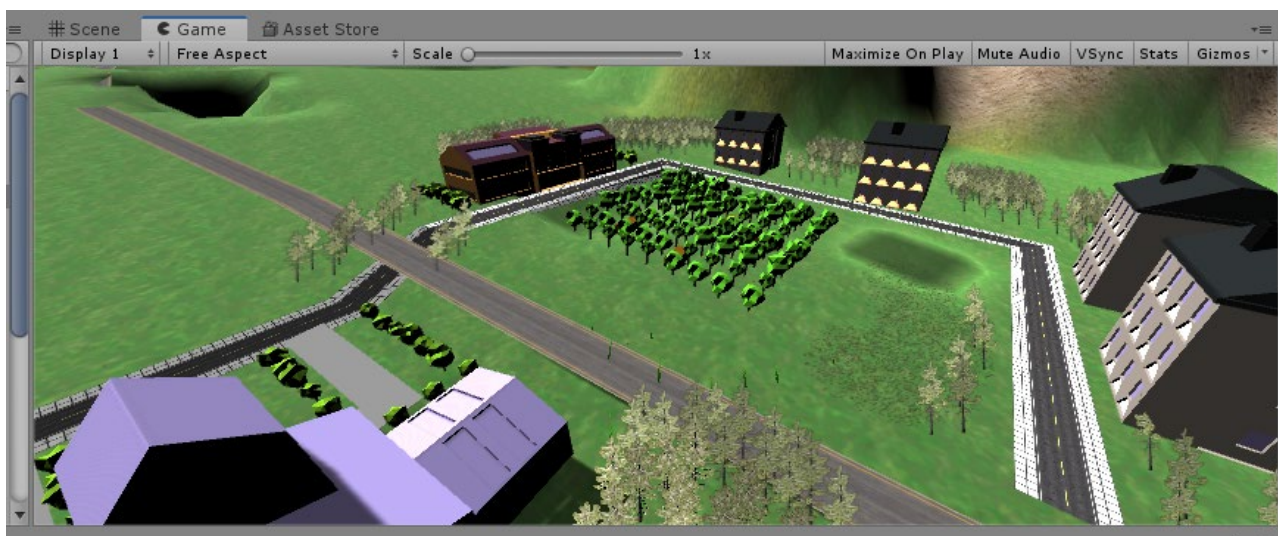


Рис. 8. Трехмерная модель местности в Unity 3D. Точка обзора 1



Рис. 9. Трехмерная модель местности в Unity 3D. Точка обзора 2

В перспективе, при увеличении ресурса компьютеров пользователей, возможна загрузка данной модели на серверы открытых web-сервисов, в мобильные картографические приложения. Использование данного подхода (обмен данными между сервисом, web-приложением и пользователем) позволяет сэкономить временные и финансовые затраты за счет использования подготовленных данных и картографической информации с серверов для развития геоинформационного обеспечения туризма.

Выводы

Результатом работы является разработанная цифровая 3D-модель горного рельефа Республики Ингушетии, на базе которой разработана туристская интерактивная карта. На основе созданной модели разработана 3D-сцена, на которой показаны гидрография, рельеф, ледники, населенные пункты, пути сообщения, места культурного и исторического наследия, оздоровительные и спортивные курорты.

Полученная модель может быть успешно применена для обеспечения как организованного, так и самостоятельного туризма и включать сервисные услуги по данному направлению; в целях навигации, для прокладки маршрута в горной местности, для симуляции перемещения по местности и демонстрации облета. Возможно применить модель для показа виртуальных 3D-туров, для динамики развития ледников, схода лавин на web-сервисах, а также туристских и административных сайтах республик Кавказа.

На основе полученной модели можно выполнить туристскую, геоморфологическую модель и др., оперативно добавляя данные по видам развивающегося туризма, логистике, инфраструктуре и др.

Данную методику моделирования можно использовать в любой сфере деятельности, включая онлайн-, мобильное, оперативное картографирование для территорий с горным и равнинным рельефом, а также для других регионов. На основе исследования возможно создание современной системы информационного и научно-методического обеспечения туристской деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об утверждении Стратегии развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года. [Электронный ресурс] : Распоряжение Правительства РФ от 20.09.2019 № 2129-р (ред. от 23.11.2020). – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_333756/.
2. Here [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.here.com/navteq>.
3. Wilson J. P. Environmental Applications of Digital Terrain Modeling. – John Wiley & Sons Ltd., 2018. – 360 p.
4. Елшина Т. Е., Нольфина М. А. Отображение рельефа светотенью на топографических картах средствами ГИС // ИнтерэкспоГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (13–25 апреля 2015 г., Новосибирск). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 2. – С. 172–174.
5. Татаренко В. И., Елшина Т. Е., Утробина Е. С. Интеграция разнородных данных в геоморфологическом картографировании // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2019. – № 4/С. – С. 103–108.
6. Елшина Т. Е., Сысоев А. В. Создание цифровых моделей горного рельефа в программе ArcGIS 10 // От карты прошлого – к карте будущего : сб. науч. тр. в 3 т. / Отв. ред. С. В. Пьянков. – Пермь : Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2017. Т. 2. – С. 56–61.
7. Хромых О. В. Цифровые модели рельефа : учеб. пособие. – Томск : ТМЛ-Пресс, 2007. – 178 с.
8. Бугаков П. Ю. Зарубежный опыт в области картографической генерализации трехмерных моделей городских территорий // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 1. – С. 151–159.
9. Верещака Т. В., Ковалева О. В. Обзор и классификация методов и способов изображения рельефа на картах : монография. – М. : Научный мир, 2016. – 181 с.
10. Якубайлик О. Э., Кадочников А. А., Попов В. Г., Токарев А. В. Модель геоинформационной аналитической Интернет-системы для анализа состояния и презентации региона. // Вестник СибГАУ. – 2009. – Вып. 4 (25). – С. 61–66.
11. Правительство Республики Ингушетия. Постановление от 1 апреля 2015 года № 59 о перечне расположенных на территории Республики Ингушетия объектов, обладающих признаками объекта культурного наследия [Электронный ресурс] : Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс». – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/424089660>.
12. Gorr W. L., Kurland K. S. GIS Tutorial 1 for ArcGIS Pro: A Platform Workbook (GIS Tutorials). – Esri Press, 2017. – 482 p.
13. Allen D. W. GIS Tutorial 2: Spatial Analysis Workbook (GIS Tutorials). – Esri Press, 2016. – 344 p.
14. Carrivik J. L., Smith M. W., Quincey D. J. Structure from Motion in the Geosciences. – Chichester, UK: Wiley-Blackwell, 2016. – 208 p.
15. Florinsky I. V. Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology. – Oxford, UK: Academic Press is an imprint of Elsevier, 2012. – 432 p.
16. Берлянт А. М. Картографический словарь. – М. : Научный мир, 2005. – 424 с.

17. Li Z., Zhu C., Gold C. Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology. – CRC Press, 2004. – 340 p.
18. Shaimi N. E., Valeo K., Habib A. Digital terrain modeling: collection, processing and application. – Boston, Mass.; London : Publishing house Artech House, 2005. – 257 p.
19. Кадочников А. А. Веб-сервисы и приложения для геоинформационного интернет-портала Института вычислительного моделирования Сибирского отделения РАН // Материалы Междунар. конф. ИнтерКарто / ИнтерГИС 17. Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт (Белокучика, Денпасар 14–19 декабря 2011 г.). – С. 93–97.
20. Никулин А. А. Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики : учеб. пособие. – М. : БНУ, 2005. – 263 с.
21. Елшина Т. Е., Утробина Е. С., Сысоев А. В. Визуализация модели горного рельефа для WEB-карт // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 1. – С. 145–155. doi: 10.33764/2411-1759-2020-25-1-145-155.
22. Бут Б. ArcGIS 3D Analyst: Руководство пользователя. – М. : Дата+, 2002. – 243 с.
23. Wilson J. P. Environmental Applications of Digital Terrain Modeling. – John Wiley & Sons Ltd., 2018. – 360 p.
24. Леонидова Е. Г. Совершенствование информационного обеспечения сферы туризма региона // Научный вестник Южного института менеджмента. – 2018. – № 3. – С. 18–23 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.31775/2305-3100-2018-3-18-23>.

Получено 24.06.2021

© Т. Е. Елшина, И. П. Кокорина, А. В. Сысоев, 2021

BUILDING AND USING A 3D MODEL OF A MOUNTAINOUS LANDFORM FOR GEOINFORMATIONAL SUPPORT OF TOURISM

Tatyana E. Elshina

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Cartography and Geoinformatics, phone: (383)361-06-35, e-mail: dony2005@mail.ru

Irina P. Kokorina

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Cartography and Geoinformatics, phone: (383)361-06-35, e-mail: irusha2008@gmail.com

Alexander V. Sysoev

2GIS, 7, K. Marx Square, Novosibirsk, 630048, Russia, Engineer-Cartographer, phone: (999)468-89-50, e-mail: sasha.sysoev.94@mail.ru

The article deals with the creation and use of a 3D model of mountain terrain for geoinformation support of tourism in the Russian Federation on the example of the territory of the Republic of Ingushetia. The aim of the work is to develop and apply a digital 3D model of mountain terrain for use in creating an interactive tourist map on web services, as well as tourist and administrative sites of the republics of the Caucasus. Methods of geoinformational mapping, terrain modeling, cartographic research method and modern software were used: 3D Spatial Analysts, WorldMachine, Unity 3D. The classification of tourism types and objects of natural and cultural heritage in the Republic of Ingushetia is carried out. As a result of the analysis of tourist and administrative sites, as well as web-services of the republics of the Caucasus, a conclusion is made about their insufficient geoinformation support. The possibilities of using 3D models of mountain terrain on web maps for tourism purposes are presented. A digital model of mountainous landform in the Republic of Ingushetia is created. A 3D scene, which shows basic relief forms and objects' location is developed.

Keywords: mountainous landform, tourism, North Caucasus, Republic of Ingushetia, web maps, digital elevation model, geoinformation mapping, hypsometric scale, chiaroscuro relief image, 3D scene

REFERENCES

1. Order of the Government of the Russian Federation of September 20, 2019 No. 2129-r (as amended of November 23, 2020). On the approval of the Strategy for the development of tourism in the Russian Federation for the period up to 2035. Retrieved from https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_333756/.
2. Here. (n. d.). Retrieved from <https://www.here.com/navteq>.
3. Wilson, J. P. (2018). *Environmental Applications of Digital Terrain Modeling*. John Wiley & Sons Ltd., 360 p.
4. Elshina, T. E., Nolfina, M. A. (2015). Representation of the relief shading on topographic maps by a GIS. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2015: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 2. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2015: International Scientific Conference: Vol. 2. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 172–174). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
5. Tatarenko, V. I., Elshina, T. E., & Utrobina, E. S. (2019). Heterogeneous data integration in geomorphological mapping. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya vuzov. Geodesy and Aerophotogrammetry]*, 4/S, 103–108 [in Russian].
6. Elshina, T. E., & Sysoev, A. V. (2017). Creation of digital models of mountainous terrain in the ArcGIS 10 application. In *Sbornik nauchnykh trudov: ot karty proshlogo – k karte budushchego [Collection of Scientific Papers: from a Map of the Past to a Map of the Future]* (pp. 56–61). S. V. Pyankov (Ed.). Perm: Permian State University Publ. [in Russian].
7. Khromykh, O. V. (2007). *Tsifrovye modeli rel'efa [Digital relief models]*. Tomsk: TML-Press, 178 p. [in Russian].
8. Bugakov, P. Y. (2017). Foreign experience in the field of cartographic generalization of three-dimensional models of urban areas. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(1), 151–159 [in Russian].
9. Vereshchaka, T. V., & Kovaleva, O. V. (2016). *Obzor i klassifikatsiya metodov i sposobov izobrazheniya rel'efa na kartakh [Review and classification of methods and methods of image on the map]*. Moscow: Scientific world Publ., 181 p. [in Russian].
10. Yakubaylik, O. E., Kadochnikov, A. A., Popov, V. G., & Tokarev, A. V. (2009). A model of a geographic information analytical Internet system for analyzing the state and presentation of a region. *Vestnik SibGAU [Vestnik SibSAU]*, 4(25), 61–66 [in Russian].
11. The Government of the Republic of Ingushetia. Resolution No. 59 of April 1, 2015 on the list of objects located on the territory of the Republic of Ingushetia that have the characteristics of a cultural heritage object. Electronic Fund of Normative-technical and Regulatory information of the "Codex" Consortium. Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/424089660>.
12. Gorr, W. L., & Kurland, K. S. (2017). *GIS Tutorial 1 for ArcGIS Pro: A Platform Workbook (GIS Tutorials)*. Esri Press, 482 p.
13. Allen, D. W. (2016). *GIS Tutorial 2: Spatial Analysis Workbook (GIS Tutorials)*. Esri Press, 344 p.
14. Carrivik, J. L., Smith, M. W., & Quincey, D. J. (2016). *Structure from Motion in the Geosciences*. Chichester, UK: Wiley-Blackwell, 208 p.
15. Florinsky, I. V. (2012). *Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology*. Oxford, UK: Academic Press is an imprint of Elsevier, 432 p.
16. Berlyant, A. M. (2005). *Kartograficheskiy slovar' [Cartographic Dictionary]*. Moscow: Scientific World, 424 p. [in Russian].
17. Li, Z., Zhu, C., & Gold, C. (2004). *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology*. CRC Press, 340 p.
18. Shaimi, N. E., Valeo, K., & Habib, A. (2005). *Digital terrain modeling: collection, processing and application*. Boston, Mass.; London: Artech House Publ., 257 p.
19. Kadochnikov, A. A. (2011). Web services and appendices for the geoinformation internet portal of Institute of computing modeling of the Siberian branch of the Russian academy of science. In *Sbornik materialov Mezhdunarodnoy konferentsii InterKarto/InterGIS 17. Ustoychivoe razvitie territoriy: teoriya GIS i prakticheskiy opyt [Proceedings of the International Conference InterKarto/InterGIS 17. Sustainable Development of Territories: GIS Theory and Practical Experience]* (pp. 93–97). Belokurikha, Denpasar [in Russian].
20. Nikulin, A. A. (2005). *Komp'yuternaya geometriya i algoritmy mashinnoy grafiki [Computer geometry and computer graphics algorithms]*. Moscow: BHV Publ., 263 p. [in Russian].

21. Elshina, T. E., Utrobina, E. S., & Sysoev, A. V. (2020). Visualization of a mountain terrain model for WEB maps. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(1), 145–155. doi: 10.33764/2411-1759-2020-25-1-145-155 [in Russian].
22. Booth, B. (2002). *ArcGIS 3D Analyst: Rukovodstvo pol'zovatelya [ArcGIS 3D Analyst: User Guide]*. Moscow: Data+ Publ. 243 p. [in Russian].
23. Wilson, J. P. (2018). *Environmental Applications of Digital Terrain Modeling*. John Wiley & Sons Ltd., 360 p.
24. Leonidova, E. G. (2018). Improvement of information support for the tourism sector of the region. *Nauchnyĭ vestnik Yuzhnogo instituta menedzhmenta [Scientific Bulletin of the Southern Institute of Management]*, 3, 18–23. <https://doi.org/10.31775/2305-3100-2018-3-18-23> [in Russian].

Received 24.06.2021

© T. E. Elshina, I. P. Kokorina, A. V. Sysoev, 2021