

УДК 528.94:551.432

DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-1-145-155

## **ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ГОРНОГО РЕЛЬЕФА ДЛЯ WEB-КАРТ**

### ***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

### ***Елена Степановна Утробина***

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: yes1976@yandex.ru

### ***Александр Владимирович Сысоев***

Запсиблеспроект, филиал ФГБУ Рослесинфорг, 630119, Россия, г. Новосибирск, ул. Немировича-Данченко, 137/1, инженер–картограф, тел. (965)823-72-01, e-mail: sasha.sysoev.94@mail.ru

В работе рассмотрены вопросы визуализации моделей горного рельефа для web-картографии. Выполнен анализ и обобщен имеющийся опыт визуализации горного рельефа. Рассмотрены основные положения создания моделей рельефа и проведен сравнительный анализ его отображения в известных картографических web-сервисах. Раскрыты достоинства и недостатки применения каждого вида моделей рельефа в web-среде. Для визуализации трехмерной модели горного рельефа использована геоинформационная система ArcGis. Разработана технологическая схема обмена пространственными данными между картографическим web-сервисом и картографическим web-приложением, которая позволяет оптимизировать временные ресурсы для создания карты, за счет использования подготовленных данных и картографической информации с серверов. Описаны возможности применения моделей горного рельефа на web-картах и на web-сервисах для создания различных тематических карт.

**Ключевые слова:** горный рельеф, цифровая модель рельефа, web-карта, визуализация, web-сервис, web-приложение, технологическая схема.

## ***Введение***

В настоящее время web-карты и картографические web-сервисы получили широкое распространение, число потребителей таких продуктов постоянно растет. Благодаря web-картографированию появилось множество наборов географических данных, включая бесплатные, например, созданные сообществом пользователей OpenStreetMap, и коммерческие, принадлежащие Navteq, GoogleMaps, Яндекс Карты. Такие наборы пространственных данных и многообразие компьютерных средств позволяют создавать глобальные трехмерные модели местности в web-среде. Также 3D-модели используются для показа отдельных (локальных) объектов местности – преимущественно это достопримечательности в городах. 3D-моделирование местности выполняется с использованием ГИС с помощью функций пространственного анализа (метод Делоне,

метод обратно взвешенных расстояний, метод ближайшего соседства и т. д.). Оформление рельефа осуществляется при помощи отмывки, послойной гипсометрической окраски, наложением космического снимка. Для отображения рельефа лишь недавно некоторые web-сервисы (OpenStreetMap, GoogleMaps, Яндекс Карты, MapBox) стали использовать метод светотеневой пластики – отмывку рельефа. С развитием информационных технологий, компьютерной техники, электронной оптики и космических спутников появились новые формы представления информации о земной поверхности [6, 12]. Трехмерная визуализация является весьма актуальной, поскольку наилучшим образом позволяет запомнить информацию. Тенденция перехода к трехмерному моделированию и представлению окружающего нас геопространства 3D-моделями дает возможность увидеть детали труднодоступного горного и высокогорного рельефа местности, на котором трехмерная поверхность выглядит реалистично. Таким образом, одной из актуальных задач в 3D-картографии становится моделирование местности, при котором с высокой точностью повторяются реально существующие горные ландшафты. Поэтому огромную роль играют картографические модели, которые передают четкую картину местности, расположение объектов, сохраняют характерный внешний облик земной поверхности, показывают особенности рельефа и дают возможность для выполнения измерений морфометрических показателей с целью использования в различных сферах деятельности. Немаловажны привлекательность и наглядность изображения, которые позволяют расширить круг потребителей карт, что также актуально.

Целью исследования является разработка технологической схемы обмена данными, которая используется в процессе визуализации горного рельефа на web-сервисах.

Для этого необходимо решить следующие задачи: проанализировать способы отображения рельефа на web-картах и сервисах; выполнить сравнительный анализ моделей GRID и TIN с целью выявления их достоинств и недостатков, отработать алгоритм визуализации этих моделей для web-карт.

### ***Методы и материалы***

Для решения поставленных задач использовались методы анализа, теория картографии, методы и теория моделирования рельефа, современное программное и аппаратное обеспечение.

Моделирование горного рельефа выполнялось с помощью ГИС ArcGIS, которая предоставляет возможности создания карт и проведения их анализа. ArcGIS взаимодействует с сервисами web-картографирования, которые позволяют пользователям отображать любую структуру и любое место на карте через web-платформы, что также помогает в передаче данных или информации через различные web-платформы из любой точки мира [1, 2].

По результатам анализа известных web-сервисов (OpenStreetMap, Яндекс Карты) можно сделать вывод о том, что рельеф в них представлен преимущест-

венно в виде отмывки, слои этих сервисов не имеют отметок высот рельефа и реализованы с помощью растровой модели GRID [3]. Сервис GoogleMaps может предоставить данные и высоты, а также возможность 3D-просмотра, но эту информацию о рельефе можно использовать только в демонстрационных целях. Изображения, импортированные из GoogleEarth, реализованные с помощью регулярной модели GRID, имеют низкое разрешение и непригодны для картометрических работ [4–6].

Передача пользователям моделей рельефа представлена на анализируемых сервисах в проекции WGS 84. Для визуализации 3D-модели горного рельефа целесообразно применить центральную перспективную проекцию с эффектом перспективы. Перспективная проекция – это центральная проекция, передающая изображение на плоскость прямыми лучами, проходящими через точку центра проецирования. Такую проекцию иногда называют картинной проекцией. Данные об объектах в центральной перспективной проекции представлены в мировых координатах. Для повышения наглядности при выводе изображения на экран данные из мировых координат переводят в видовые и далее, при выводе изображения на экран, переходят к экранным, представленным в виде пикселей. Эта проекция наилучшим образом передает перспективное изображение рельефа, каким видит его в действительности человек [7–10].

### *Результаты*

Для web-картографирования могут быть использованы две модели рельефа GRID и TIN, которые широко применяются в ГИС (рис. 1). Модели GRID и TIN достаточно хорошо подходят для отображения географических объектов или явлений, плавно изменяющихся в пространстве, так как они представляют собой разные методы построения и визуализации рельефа, что позволяет задействовать их для различных целей в зависимости от поставленных задач.

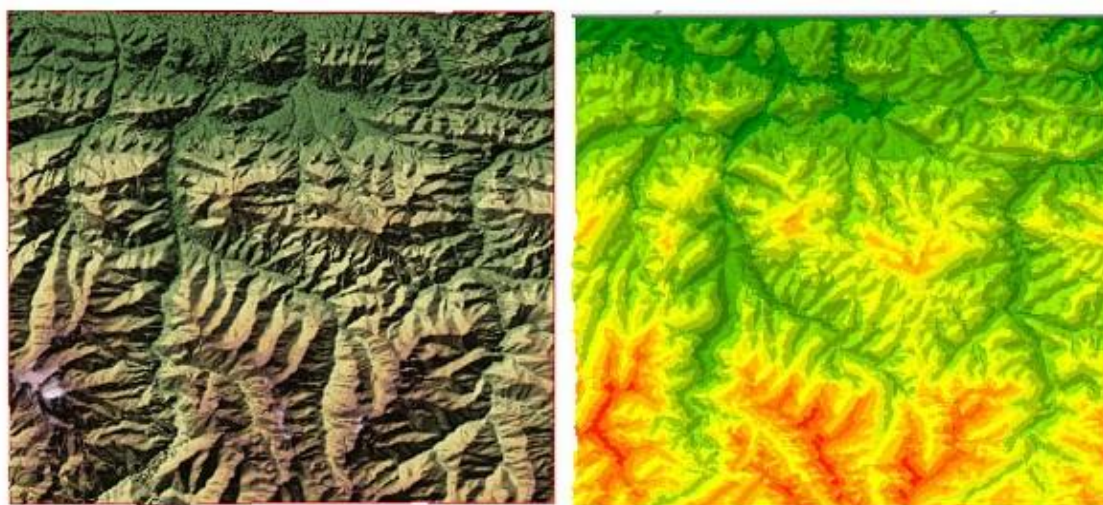


Рис. 1. TIN- и GRID-модели

Растровая модель рельефа GRID означает разбиение пространства на неделимые элементы (пикселы), образуя матрицу высот – регулярную сеть высотных отметок, которая представляет собой решетку с равными прямоугольниками или квадратами, где вершины этих фигур являются узлами сетки. К достоинствам такой модели можно отнести простоту и скорость компьютерной обработки, это связано с самой сущностью растровой модели. Устройства вывода, такие как мониторы, принтеры, плоттеры для показа изображений используют наборы точек (пикселы), т. е. также имеют растровый формат, в результате чего изображение GRID быстро визуализируется на экране. К минусам данной модели можно отнести недостаточное на сегодняшний день качество визуализации – сглаживание горных форм рельефа, что не передает особенности горных территорий, а при изменении масштаба изображения происходит ухудшение качества раstra. Недостатки модели GRID выявляются при моделировании рельефа, на котором присутствуют молодые горообразования, особенно при применении регулярной сети высотных отметок, если на территории имеются участки уступов и обрывов, с резкими перепадами высот, например в широких разработанных долинах крупных равнинных рек. В таком случае в наибольшей части моделируемой территории будет «избыточность» информации, так как узлы сетки GRID на плоских участках будут иметь одни и те же высоты. На участках с наличием крутых уступов рельефа размер шага сетки высот может оказаться слишком большим, соответственно, пространственное разрешение модели – недостаточным для передачи «пластики» рельефа. Растровые изображения занимают много места на диске. Широкое использование GRID-модели обусловлено скоростью загрузки изображения, однако она не всегда является наглядной [11, 12].

Поскольку TIN-модель представляет собой векторную модель, то при масштабировании отсутствуют недостатки GRID-модели. Основой TIN-модели является нерегулярная сеть треугольников, где плоские участки моделируются небольшим числом крупных треугольников, а на участках крутых уступов, там, где необходимо детально показать все грани рельефа, поверхность отображается многочисленными маленькими треугольниками. Каждый треугольник модели содержит информацию о высоте, имеет атрибуты угла наклона и экспозиции, что дает возможность быстро построить на базе модели TIN несколько тематических карт: гипсометрическую, уклонов, экспозиций – и проводить различные виды пространственного анализа. Это позволяет эффективнее распределять ресурсы оперативной и постоянной памяти компьютера для хранения модели. Данная модель разработана для цифрового моделирования рельефа и является наиболее оптимальным и простым способом построения поверхностей на основе набора неравномерно расположенных точек. В связи с тем, что модель требует больших затрат компьютерных вычислительных ресурсов на обработку и расчет, она не является популярной в web-картографировании, но ее можно использовать на отдельные территории, размер которых ограничивается запросом потребителя [13–15].

Из указанных выше моделей рельефа наиболее часто применяются регулярные сети высот (GRID), поскольку они довольно просты в обработке и не требуют больших затрат вычислительных ресурсов, однако они не всегда подходят для отображения горной территории из-за недостаточной точности. Наиболее точными являются нерегулярные сети высот TIN-модели, так как их преимуществом является отсутствие ошибок интерполяции и они лучше подходят для небольших участков территории. С развитием научно-технического прогресса и увеличения мощности компьютерных ресурсов TIN-модель стала все чаще использоваться, так как имеет большие преимущества перед GRID-моделью. Например, она позволяет передавать реальные формы горного рельефа, что дает возможность выполнять более точные измерения. TIN-модель сохраняет качество изображения при масштабировании, поскольку модель пересчитывается для каждого масштаба, и нет необходимости в повторном ее создании.

Пример визуализации моделей GRID и TIN с использованием сервиса GoogleMaps представлен на рис. 2.

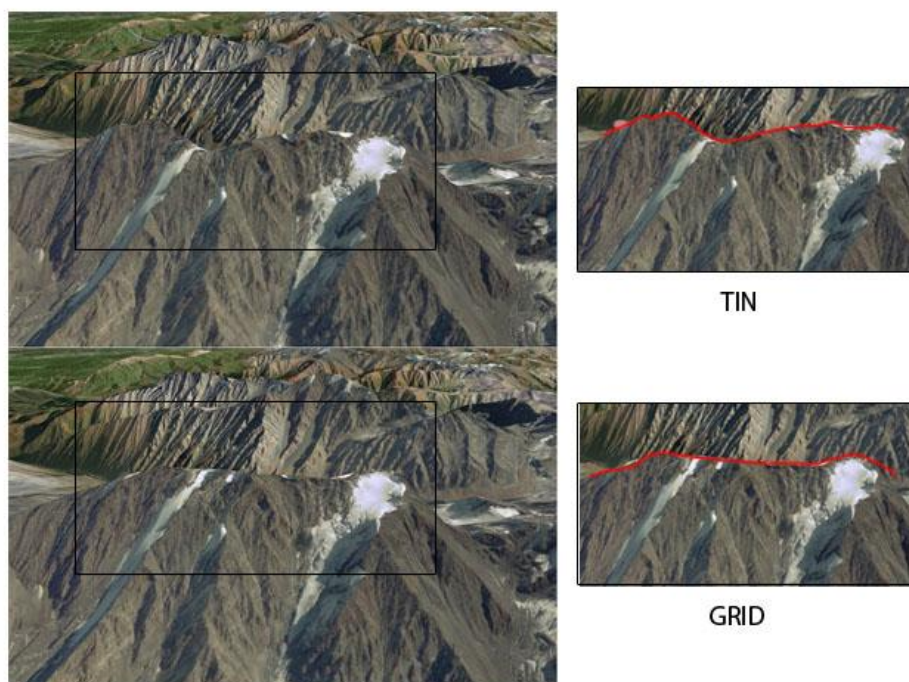


Рис. 2. GRID- и TIN-модели на GoogleMaps

Для визуализации модели горного рельефа в web-картах использована TIN-модель, построенная с помощью ArcGIS на территорию Ингушетии, и пространственные данные, взятые с сервиса OpenStreetMap из базы [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org). Она позволяет выполнить визуализацию рельефа для создания различных тематических карт, получения картометрических характеристик, анализа и исследования особенностей труднодоступных горных территорий.

### Обсуждение

Для создания TIN-модели в среде ArcGIS применены дополнительные модули 3D Analyst и Spatial Analyst. Модель строится с использованием утилиты Create TIN из модуля 3D Analyst. Утилита позволяет работать с цифровыми данными, которые могут быть представлены в виде точек, линий и полигонов. Для построения модели использовались отметки высот. Качество изображения модели определяется шагом сети, который позволяет выполнить детализацию рельефа [16, 17].

Созданная TIN-поверхность выполняется в градациях серого цвета, поэтому необходимо задать настройки для оформления (гипсометрическую шкалу и ее цветовые оттенки) [17, 18].

С помощью пакета ArcScene созданную модель можно представить в трехмерном пространстве и затем производить различные манипуляции, такие как выбор точки обзора местности, имитация полета, задание траектории перемещения [19–21].

Модель можно использовать в сочетании с данными распространенных web-сервисов OpenStreetMap (OSM), Google Maps, а также для создания отдельных web-карт при помощи предложенной авторами схемы обмена данными в картографическом web-приложении (рис. 3).

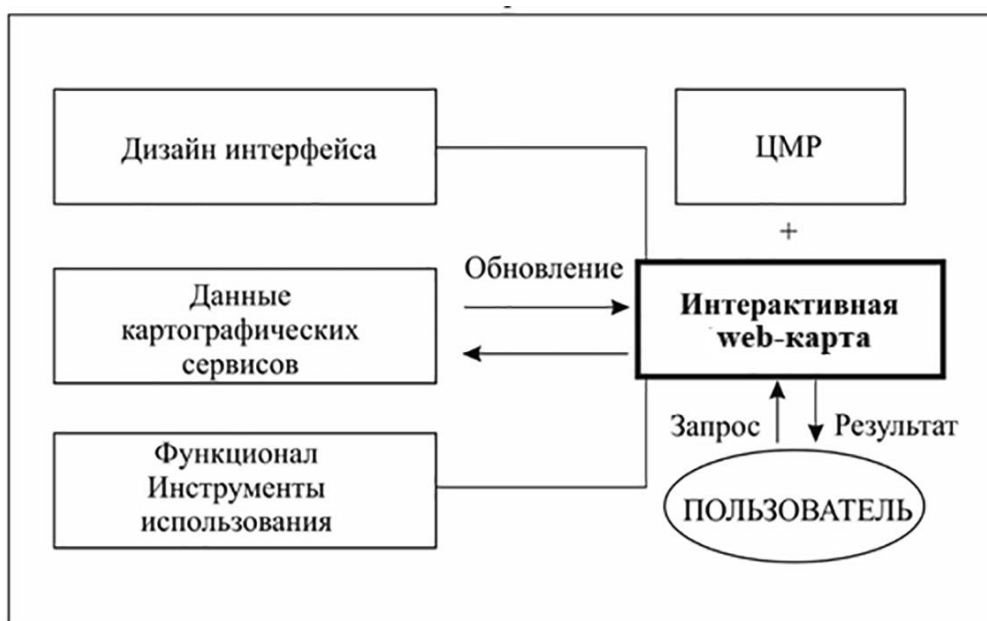


Рис. 3. Технологическая схема обмена данными в картографическом web-приложении

Для того чтобы предусмотреть все возможности использования цифровой модели рельефа в картографическом web-приложении, необходима разработка интерфейса, который является основой работы с web-картой.

Следующим шагом становится подключение картографических данных с web-сервиса (картографическая основа и тематическое содержание), в данном случае это карта сервера OSM. Затем данные совмещаются с созданной цифровой моделью рельефа (ЦМР) TIN.

Наложение рельефа на онлайн-карту осуществляется с помощью инструментов в ArcGIS и загрузки данных с web-сервисов в режиме реального времени. Загруженные данные имеют пространственную привязку, поэтому совмещение рельефа с топографическими элементами местности происходит автоматически. Для того чтобы ЦМР корректно отображалась на карте, необходимо сформировать дополнительный слой высот и выполнить настройки на основе имеющихся данных. В зависимости от назначения карты, доступ к данным, позволяющим выполнять по модели метрические измерения рельефа может, регулироваться разработчиком [22–26].

В результате создается интерактивная web-карта, которую можно обновлять в непрерывном режиме. Для использования карты необходимо разработать функционал – инструменты использования, позволяющие производить дополнительные манипуляции, такие как масштабирование, передвижение, поиск дополнительной информации об объектах рельефа, 3D-сцена, облет. При необходимости можно добавить множество иных функций, которые реализуются на базе ГИС. Программы визуализации, например ArcGlobe или ArcScene из программного пакета ArcGIS, позволяют просматривать объекты в трехмерном пространстве без дополнительных утилит [27].

### *Заключение*

Таким образом, разработана технологическая схема обмена данными с картографическими web-сервисами, при помощи которой можно создавать различные тематические карты с наложением визуализированной трехмерной модели рельефа местности. Разработанная 3D-модель горного рельефа на территорию Ингушетии вида TIN имеет более высокую точность ( $\pm 5$  метров) и обладает метричностью. Ее совмещение с базовой картой в web-сервисе позволяет придать ей большую наглядность и функциональность (рис. 4).

Модель можно применять в целях навигации (для прокладки маршрута по горной территории) включение симуляции перемещения по местности (для демонстрации облета), создания тематических карт (геологических, геоморфологических), а также в узконаправленных областях, МЧС, строительстве и т. д., где моделируется 3D-обстановка, поскольку модель позволяет проводить различные измерения и расчеты, связанные с рельефом. Возможно использование модели в туристических целях, при создании ландшафтных и физико-географических детских карт и в игровых приложениях, где необходима наглядность и реалистичность пространства. Для визуализации рельефа в наиболее привлекательном для потребителя виде дополнительно следует применить послойную окраску и светотеневую пластику.



Рис. 4. Данные web-сервиса OSM – совмещенные ЦМР вида TIN

В перспективе возможна загрузка данной модели на серверы открытых web-сервисов. Разработанный алгоритм можно также использовать для создания мобильных картографических приложений. Применение разработанной технологической схемы (обмен данными между сервисом, web-приложением и пользователем) позволяет сэкономить временные и финансовые затраты за счет использования подготовленных данных и картографической информации с серверов при создании новой карты.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Верещака Т. В., Ковалева О. В. Обзор и классификация методов и способов изображения рельефа на картах : монография. – М. : Научный мир, 2016. – 181 с.
2. Никулин А. А. Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики : учеб. пособие. – М. : ВНУ, 2005. – 263 с.
3. Бут. Б. ArcGIS 3D Analyst: Руководство пользователя. – М. : Дата+, 2002. – 243 с.
4. Google карты [Электронный ресурс] // Картографические данные google, 2019. – Режим доступа: <https://www.google.com/maps>.
5. OpenStreetMap [Электронный ресурс] : Mapdata © OpenStreetMap, 2019. – Режим доступа: <https://www.openstreetmap.org>.
6. Яндекс.Карты [Электронный ресурс] : Яндекс, 2019. – Режим доступа: <https://yandex.ru/maps>.
7. Хромых О. В. Цифровые модели рельефа : учеб. пособие. – Томск : ТМЛ-Пресс, 2007. – 178 с.
8. Манакова Г. И., Буторина И. В. Перспективные проекции : учеб. пособие. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 22 с.
9. Берлянт А. М. Картографический словарь. – М. : Научный мир, 2005. – 424 с.
10. Капралов Е. Г., Кошкарев А. В., Тикунов В. С. Геоинформатика : учебн. для вузов. – М. : Академия, 2005. – 480 с.
11. Елшина Т. Е., Сысоев А. В. Создание цифровых моделей горного рельефа в программе ArcGIS 10 // Междунар. науч. практ. конф. «От карты прошлого – к карте будущего» : сб. науч. материалов в 3 т. – Пермь : ПГНИУ, 2017. – Т. 2. – С. 56–61.



12. Елшина Т. Е., Нольфина М. А. Отображение рельефа светотенью на топографических картах средствами ГИС // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 2. – С. 172–175.
13. Zhilin L., Gold C., Zoo C. Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology. – CRC Press, 2004. – 340 p.
14. Wilson J. P. Environmental Applications of Digital Terrain Modeling, 2018. – P. 336.
15. Carrivick J. L., Smith M. W., Quincey D. J. Structure from Motion in the Geosciences. – Wiley-Blackwell, 2016. – 208 p.
16. Daley J. New Calculations Reposition the Geographical Center of North America [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/new-calculations-reposition-geographical-center-north-america-1-180961932/> (дата обращения: 12.03.2018).
17. Обзор группы инструментов Интерполяция (Interpolation) [Электронный ресурс] : отдел «Environmental Systems Research Institute». – Электрон. дан. – М., 2018. – Режим доступа: <https://http://desktop.arcgis.com/>. – Загл. с экрана.
18. ArcGIS10 Geostatistical Analyst: Руководство пользователя [Электронный ресурс] : отдел «ESRI». – Электрон. дан. – М., 2018. – Режим доступа : <http://www.esri-gis.ru/>. – Загл. с экрана.
19. Igor V. Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology. – Academic Press, 2012. – 432 p.
20. Wilpen L. Gorr. GIS Tutorial 1 for ArcGIS Pro: A Platform Workbook (GIS Tutorials). – Esri Press, 2017. – 482 p.
21. David W. Allen. GIS Tutorial 2: Spatial Analysis Workbook (GIS Tutorials). – Esri Press, 2016. – 344 p.
22. El-Sheimy N., Valeo C., Habib A. Digital Terrain Modeling: Acquisition, Manipulation and Applications. – Artech House Publishers, 2005. – 270 p.
23. Кадочников А. А. Веб-сервисы и приложения для геоинформационного интернет-портала Института вычислительного моделирования Сибирского отделения РАН // ИнтерКарто/ИнтерГИС17: Устойчивое развитие территории: Территория ГИС и практический опыт : сб. науч. статей по материалам междунар. конф., Белокуриха, Денпасар 14–19 декабря. – 2011. – С. 93–97.
24. Якубайлик О. Э. Кадочников А. А., Попов В. Г. Модель геоинформационной аналитической интернет-системы для анализа состояния и презентации региона // Вестник СибГАУ. – 2009. – Вып. 4 (25). – С. 61–66.
25. Колесников А. А., Касьянова Е. Л., Сыдыкова К. Р. Создание 3D-моделей исторических достопримечательностей для туристских карт // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 2. – С. 81–92.
26. Бугаков П. Ю. Зарубежный опыт в области картографической генерализации трехмерных моделей городских территорий // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 1. – С. 89–100.
27. ArcGISPro [Электронный ресурс] : отдел «ESRI». – Электрон. дан. – М., 2017. – Режим доступа: <https://pro.arcgis.com/>. – Загл. с экрана.

Получено 06.11.2019

© Т. Е. Елшина, Е. С. Утробина, А. В. Сысоев, 2020

## VISUALIZATION OF THE MOUNTAIN DIGITAL ELEVATION MODEL IN WEB-MAPS

### *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

### *Elena S. Utrobina*

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: kaf.kartography@ssga.ru

### *Alexander V. Sysoev*

Zapsiblesproject, branch of F GBU Roslesinforg, 137/1, Nemirovich-Danchenkost St., Novosibirsk, 630119, Russia, Engineer-Cartographer, phone: (965)823-72-01, e-mail: sasha.sysoev.94@mail.ru

The article considers the topic of digital terrain modeling for the web-environment based on the analysis and synthesis of existing experience in the visualization of mountain terrain. The main stages of creating relief models are considered, a comparative analysis of the relief mapping in known cartographic web-services is carried out. The advantages and disadvantages of using each type of terrain models in the web-environment are revealed. For visualization of a three-dimensional model of a mountain relief, the geographic information system ArcGis was used. An algorithm was developed for the exchange of spatial data between a cartographic web-service and a cartographic web-application, which saves time and financial costs for creating a map. The possibility of using models of mountain relief on web-maps and web-services to create a variety of thematic maps, is described.

**Key words:** mountainous terrain, digital elevation model, web-map, visualization, web-service, web-application, technological scheme.

## REFERENCES

1. Vereshchak, 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].
2. Nikulin, A. A. (2005). *Komp'yuternaya geometriya i algoritmy mashinnoy grafiki [Computer geometry and computer graphics algorithms]*. Moscow: BHV Publ., 263 p. [in Russian].
3. Booth, B. (2002). *ArcGIS 3D Analyst*. Moscow: Date +, 243 p. [in Russian].
4. Google Maps. (2019). Retrieved from [//www.google.com/maps](http://www.google.com/maps).
5. OpenStreetMap. (2019). Retrieved from <https://www.openstreetmap.org>.
6. Yandex.Maps. (2019). Retrieved from <https://yandex.ru/maps>.
7. Khromykh, O. V. (2007). *Tsifrovye modeli rel'efa [Digital relief models]*. Tomsk: TML-Press Publ., 178 p. [in Russian].
8. Manakova, G. I., & Butorina, I. V. (2006). *Perspektivnye proektsii [Perspective projections]*. Chelyabinsk: SUSU Publ., 22 p. [in Russian]
9. Berlyant, A. M. (2005). *Kartograficheskiy slovar' [Cartographic dictionary]*. Moscow: Nauchnyy mir Publ., 424 p. [in Russian].
10. Kapralov, E. G., Koshkarev, A. V., & Tikunov, V. S. (2005). *Geoinformatika [Geoinformatics]*. Moscow: Akademiya Publ., 480 p. [in Russian].
11. Elshina T. E., Sysoev A. V. Creation of digital models of mountainous terrain in the ArcGIS 10 application. In *Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy*

*konferentsii: T. 2. Ot karty proshlogo – k karte budushchego [Proceedings of International Scientific and Praktbcal Conference: T. 2. From the Map of the Past to the Map of the Future]* (pp. 56–61). Perm: PGNIU Publ. [in Russian].

12. Elshina, T. E., & Nolfina, M. A. (2015). Display of chiaroscuro relief on topographic maps using 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. 172–175). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].

13. Zhilin, L., Gold, C., & Zoo, C. (2004). *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology*. CRC Press, 340 p.

14. Wilson, J. P. (2018). *Environmental Applications of Digital Terrain Modeling*. 336 p.

15. Carrivick, J. L., Smith, M. W., & Quincey, D. J. (2016). *The structure of the movement in earth sciences*. Wiley-Blackwell, 208 p.

16. Daily, J. (n. d.). New calculations Repositioning the geographical center of North America. Retrieved from <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/new-calculations-reposition-geographic-center-north-america-1-180961932/> (accessed: 03/12/2018).

17. An overview of the Interpolation (Interpolation) tool group. (2018). Moscow: Department of the Institute of Ecological Systems. Retrieved from [https:// http://desktop.arcgis.com/](https://http://desktop.arcgis.com/).

18. ArcGIS10 Geostatistical Analyst. (2018). Moscow: ESRI department. Retrieved from [http // www.esri-gis.ru/](http://www.esri-gis.ru/).

19. Igor, V. (2012). *Digital relief analysis in soil science and geology*. Academic Press, 432 p.

20. Gorr, W. L. (2017). *GIS Tutorial 1 for ArcGIS Pro: Work Platform (GIS Tutorial)*. Esri Press, 482 p.

21. Allen, D. W. (2016). *GIS Workbook 2: Spatial Analysis Workbook (GIS Workbook)*. Esri Press, 344 p.

22. Nasser El Shaimi, Katerina Valeo, Ayman Habib. (2005). *Digital terrain modeling: collection, processing and application*. Publishing house Artech House, 270 p.

23. Kadochnikov, A. A. (2011). Web service and applications for the geoinformation Internet portal of the Institute for Computational Modeling of the Siberian Branch of the RAS. In *Sbornik nauchnykh statey po materialam mezhdunarodnoy konferentsii InterKarto/InterGIS17: Ustoychivoe razvitie territorii: Territoriya GIS i prakticheskiy opyt [Proceedings of the International Conferences InterKarto / InterGIS17: Sustainable Developed Space: GIS Territory and Practical Experience]* (pp. 93–97). Belokurikha, Denpasar.

24. Yakubaylik, O. E. Kadochnikov, A. A., & Popov, V. G. (2009). A model of a geographic information analytical Internet system for analyzing the state and presentation of a region. *Vestnik of SibGAU*, 4(25), 61–66 [in Russian].

25. Kolesnikov, A.A., Kasyanova, E. L., & Sydykova, K. R. (2018). Creating 3D-Models of Historical Sites for Tourist Maps *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(2), 81–92 [in Russian].

26. 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), 89–100 [in Russian].

27. ArcGISPro. (2017). Moscow: ESRI department. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/>.

Received 06.11.2019

© T. E. Elshina, E. S. Utrobina, A. V. Sysoev, 2020