

О. Н. Николаева^{1,2}, Д. Н. Новосельцев¹*

Об опыте создания трёхмерной картографической модели экотропы «Зверобой»

¹Московский государственный университет геодезии и картографии, г. Москва, Российская Федерация

²Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

* e-mail: onixx76@mail.ru

Аннотация. Экологические тропы (экотропы) - это весьма популярный объект экологического туризма, появившийся сравнительно недавно. Как правило, экотропы организуются внутри особо охраняемых природных территорий (ООПТ), в которые разрешен доступ широким слоям населения. Они упорядочивают перемещение посетителей по ООПТ и позволяют эффективно вести эколого-просветительскую работу на небольшом участке местности, без существенного переустройства внутренней структуры ООПТ. Однако главным слабым местом экотроп является интенсивное антропогенное воздействие, которое оказывает на них постоянный поток посетителей. Поэтому процесс управления экотропами должно включать в себя мониторинг и оценку их состояния. Поскольку информация о состоянии и использовании экотроп является пространственно привязанной, наиболее логично использовать для решения этой задачи ГИС-технологии. Использование трехмерного моделирования в ГИС-среде значительно расширяет возможности в области визуализации и анализа геоданных об экотропе, что продемонстрировано на примере экотропы «Зверобой», находящейся в Искитимском районе Новосибирской области. Описаны источники исходных данных и последовательность создания трехмерной модели экотропы «Зверобой», представлен ее внешний вид. Изложены результаты комплексного рассмотрения информации об экспозиции склонов и физико-географических особенностях экотропы. Вынесены рекомендации по корректуре траектории экотропы. Сделаны выводы и намечены дальнейшие перспективы по реализации данного проекта, включающие в том числе создание виртуального тура.

Ключевые слова: экологический туризм, экотуризм, экологические тропы, экотропы, ГИС, QGIS, 3D-моделирование, трехмерное моделирование, 3D-моделирование экологических троп, 3D-модель экологической тропы

O. N. Nikolaeva^{1,2}, D. N. Novoseltsev¹*

On creating a 3D model of eco-trail: a case study of Novosibirsk region

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

² Siberian State University of Geosystems and Technology, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: onixx76@mail.com

Abstract. Ecological trails (eco-trails) are a relatively new and very popular object of ecological tourism. As a rule, eco-trails are organized in conservation areas which are accessible to the public. They regulate the movement of visitors around the conservation area and allow to educate people on a small patch of territory, without significant rearrangement of internal structure of conservation area. However, the main weak point of eco-trails is the intense anthropogenic impact from the constant

tourist flow. Therefore, the management process of eco-trails should include monitoring and evaluation of their condition. Since information about the state and use of eco-trails is spatially linked, it is most logical to use GIS technologies to solve this problem. The use of 3D modeling significantly expands the possibilities of visualization and analysis of geodata about the ecotrail, and this article demonstrates a 3D model of Zveroboy ecotrail located in the Iskitimsky district of the Novosibirsk region. The used data sources and technique are given and the resulting model is presented. The results of an integration of data on the exposure of slopes and the physical and geographical features of the ecotrail are presented. Recommendations on correcting the trajectory of the eco-trail are made. Conclusions are drawn and further prospects for the implementation of this project are outlined, including the creation of a virtual tour.

Keywords: ecological tourism, ecotourism, ecological trails, eco-trails, GIS, QGIS, 3D modeling, 3D model, 3D modeling of eco-trail, 3D model of eco-trail

Введение

В современных условиях актуальности внутреннего туризма для жителей России активно развивается новый вид туристского досуга – экологический туризм (далее – экотуризм), который представляет собой «ответственное путешествие в природные зоны, области, сохраняющее окружающую среду и поддерживающее благосостояние местных жителей» (определение Международной организации экотуризма (TIES), [1]). Основными объектами экотуризма являются особо охраняемые природные территории (ООПТ) [2], разрешенные к посещению широкими слоями населения (государственные природные заказники, национальные парки, природные парки, памятники природы, ботанические сады и дендрарии, а также лечебно-оздоровительные местности и курорты).

Экотуризм (особенно региональный и местный) является достаточно доступным в финансовом плане видом досуга, и потому при должной организации он может приносить значительные доходы в бюджет муниципалитета или региона. Поэтому в последние годы начал формироваться такой экономичный вид объектов экотуризма, как экологические тропы (далее – экотропы). Экологические тропы – это маршруты в пределах ООПТ, которые оборудованы таким образом, что перемещение посетителей по такой тропе не приносит вред окружающей среде [3-7]. Как правило, экотропы обладают небольшой протяженностью, и часто организуются в черте населенных пунктов или в пригородной зоне, являясь, по сути дела, экологизированным вариантом туристического маршрута «выходного дня» [4, 5]. Грамотно спланированная экотропа занимает сравнительно небольшой участок местности, и не требует значительной реорганизации функционального зонирования окружающей территории и пересмотра существующего кадастрового деления. Однако необходимо учитывать характерную особенность экотроп: туристская нагрузка от посетителей не распределяется по всей территории, как в случае с ботаническим садом или дендрарием, а локализуется в пределах узкой линейной зоны, занятой экотропой [7-9]. Поэтому для успешного существования и функционирования экотропы необходимо особо тщательно подходить как к расчету оптимальной и максимальной туристской нагрузки на нее, так и к мониторингу и оценке ее экологического состояния. В решении этой задачи важная роль отводится трехмерному моделированию мест-

ности, так как именно рельеф определяет проходимость территории, скорость и интенсивность перемещения туристов по тропе, инсоляцию территории, риск эрозии почв и ряд других факторов, влияющих на экологическое состояние урочищ и фаций, по которым пролегает экотропа. В данном исследовании будет рассмотрен опыт создания трехмерной модели экотропы «Зверобой» (Искитимский район Новосибирской области).

Материалы и методы

На сегодняшний день трехмерное моделирование рельефа и местности является одним из востребованных инструментов, используемых для исследования и оценки состояния природных и техногенных объектов. Так, например, при изучении экологического состояния городской территории трехмерное моделирование позволяет выявить закономерности переноса и накопления загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу города и выпадающих на подстилающую поверхность [10]. Другое популярное направление использования трехмерных ГИС – проектирование разновысотной городской застройки с точки зрения функционального зонирования и визуальной экологии городской среды [11]. Что касается мониторинга и управления ООПТ, то здесь трехмерное моделирование в ГИС применяется в основном для визуализации информации о местных почвах, флоре и фауне во взаимосвязи с рельефом [12], а также для создания панорамных туров [13, 14].

Исходные данные, использованные для построения трехмерной модели экотропы «Зверобой», включали в себя:

- координаты основных поворотных точек экотропы, определенные в ходе работ по постановке экотропы на кадастровый учет (были определены специалистами СГУГиТ в 2018 г.);

- интерактивная карта экотропы, отображающая размещение на тропе основных объектов туристской инфраструктуры (скамеек для отдыха, кормушек для диких животных, костровой площадки), ранее созданная специалистами СГУГиТ на основании сведений, предоставленных сотрудниками НООО «Социальное партнерство» [15];

- ЦММ SRTM (англ. Shuttle Radar Topography Mission) с разрешением 30 метров (использовалась для получения базовой информации о рельефе территории, на которой находится экотропа «Зверобой»;

- расчетные данные об эрозионной нагрузке на различные участки экотропы (получены О. Н. Николаевой и Д. О. Чавес в 2022 г. [16]).

Интеграция собранных материалов и построение трехмерной модели экотропы выполнялись в геоинформационной системе QGIS. QGIS – это ГИС с открытым кодом, что позволяет сообществу энтузиастов принимать участие в разработке и совершенствовании работы системы, реализуя свои идеи на практике. В качестве основного инструмента для создания модели из собранных данных использовался плагин QGIS2threejs.

QGIS2threejs – это плагин для геоинформационной системы QGIS, который позволяет создавать интерактивные трехмерные визуализации геоданных и экс-

портировать их в виде веб-страниц с помощью библиотеки three.js [17]. QGIS2threejs является мощным инструментом для создания визуализаций ГИС в 3D-формате и может использоваться решения для множества задач, в том числе для моделирования объектов экологического туризма, а также для анализа топографии, дизайна городской среды, визуализации архитектурных проектов и пр. С помощью этого плагина возможно создавать трехмерные модели на основе собственных растровых и векторных данных и визуализировать их в 3D-формате. Плагин поддерживает различные типы данных, такие как точечные, линейные и полигональные типы векторных геометрий, растры цифровых моделей местности и рельефы, облака точек, а также имеется возможность использования текстур для придания визуальной привлекательности моделям. Также плагин позволяет создавать трехмерные модели с использованием в качестве исходных данных ранее созданных ЦМР, ЦММ или облаков точек.

QGIS2threejs предлагает множество настроек для изменения внешнего вида 3D-моделей, таких как освещение, тени, цвета и масштабирование. Есть возможность добавлять анимацию пролёта или поворота и интерактивность в ваши 3D-модели с помощью JavaScript.

Готовую модель можно экспортировать в виде веб-страницы, которая может быть загружена в любом веб-браузере и просмотрена с помощью мыши или сенсорных экранов.

Результаты и обсуждение

Создание трехмерной модели экотропы «Зверобой» осуществлялось в стандартной последовательности, и включало в себя следующие основные действия:

- работа с цифровой моделью местности (ЦММ) на участок, вмещающий экотропу;
- дополнение созданной модели векторными данными основных общегеографических объектов;
- нанесение на модель тематической информации: траектории экотропы, местоположения объектов туристской инфраструктуры (указателей, мест отдыха, мест кормежки животных и пр.);
- текстурирование и оформление созданной трехмерной модели экотропы.

На начальном этапе создания модели важно было осуществить правильный выбор системы координат. Так как большинство данных было взято из открытых источников, и по ним необходимо будет выполнять расчеты с использованием метрических параметров, нами была использована система координат WGS 84 / Pseudo-Mercator [EPSG:3857]. Она является стандартом картографических Web-приложений и используется практически всеми основными поставщиками онлайн-карт.

Процесс построения модели в QGIS2threejs состоял из следующих шагов:

- выбор исходных данных, которые будут использованы для построения базового рельефа создаваемой трехмерной модели.
- выбор типов геометрии объектов, которые будут использованы для построения трехмерной модели (можно выбирать точки, линии или полигоны).

- задание высоты каждого объекта на этом слое с помощью поля атрибутов (как вариант, можно строго задать одну и ту же высоту для всех векторных объектов одновременно).
- задание настроек для материалов и текстур для каждого объекта.
- задание настроек для освещения, теней и других визуальных эффектов.
- задание масштаба и расположения трехмерной модели.
- генерация трехмерной модели и ее экспорт в формате, поддерживаемом библиотекой `three.js`.

Результатом этих действия является трехмерная модель, которую можно использовать для визуализации геоданных в 3D-формате в интерактивном режиме в браузере.

С помощью стандартных способов обработки растра в рабочем проекте QGIS были получены текстуры гипсометрической окраски, экспозиции и отмывки рельефа, которые понадобятся для наложения на преобразованный рельеф ЦММ. Также для большей интерактивности в проект были добавлены текстуры общегеографической и топографической основы данных OpenStreetMap (OSM) и данные спутниковой съемки Google Satellite при помощи плагина QuickMapServices. На готовой трехмерной модели имеется возможность переключения между текстурами.

В качестве следующего шага необходимо подготовить данные векторного формата, которые необходимо отобразить на модели. В первую очередь, это линейная траектория экотропы «Зверобой» с рассчитанной классификацией по эрозионному риску, а также объекты туристской инфраструктуры и граница построения для модели (в нашем случае это квадрат 5×5 км).

Было принято решение дополнить содержание модели общегеографическими данными, такими как горизонтالي, линейная и площадная гидрография, пути сообщения (расклассифицированы на грунтовые и с покрытием), границы населенных пунктов и строения в них. Горизонтали были получены стандартными инструментами QGIS на основе данных подготовленной ранее ЦММ SRTM (сечение рельефа 50 метров). Прочие векторные данные получены из открытой базы OSM. Все атрибуты векторных слоев были приведены в удобный для восприятия вид, так как атрибутивная информация экспортируется и демонстрируется в интерфейсе готовой модели. Стилистика отображения векторных данных задается в рабочем проекте QGIS.

Далее переходим к работе непосредственно в плагине QGIS2threejs. В списке геоинформационных слоев отображены все данные, собранные ранее в проекте. Во вкладке DEM (англ. Digital Elevation Model) отображены растровые данные ЦМР, которые по умолчанию имеют рельефный вид. Все прочие данные на начальном этапе находятся в условном нуле по высоте. При построении модели на равнинную местность есть возможность кратного изменения вертикального масштаба. В целях повышения качества растрового изображения возможно выставить соответствующий параметр (`resampling level`) в контекстном окне слоя на необходимое значение, но это потребует большего ресурса компьютера. Здесь же обозначим заранее подготовленный слой границы обрезки модели и укажем

в соответствующем списке текстуры для наложения на рельеф. Для векторных данных необходимо указать параметр наложения по уровню высот ЦММ, задать параметры отображения геометрии и параметр экспорта атрибутов. Высоты каждого строения на модели рассчитаны в отдельной колонке по формуле: этажность \times 3 метра. Данные об этажности строений находились в атрибутах слоя. Принято решение не дополнять модель подписями, так как при экспорте модели атрибуты объектов сохраняются и отображаются в отдельной таблице по клику на объекте. При необходимости можно добавить заголовок в интерфейсе отображения и указатель на север. Параметр освещения задан по направлению взгляда. Координаты точек местности отображаются на модели в координатной системе проекта. При выполнении экспорта был указан параметр возможности запуска локально и выбран необходимый шаблон интерфейса из предложенных.

Результатом экспорта трехмерной модели экотропы является файл с расширением HTML, который может быть открыт пользователем в практически любом браузере. На экране откроется готовая интерактивная трехмерная модель с окном консоли, где отображен список слоев с возможностью изменения параметров отображения и прозрачности, и кнопка вызова инструкции. При клике по модели отображается окно с таблицей, где указаны координаты и высота выбранной точки. Также здесь имеется кнопка запуска поворотного осмотра (Orbit) и инструмент измерения дистанции и превышений (Measure distance), с помощью которого возможно построить ломаную траекторию на модели и получить интересующую информацию о превышениях и расстояниях на выбранной траектории. При клике на объекте векторного слоя отображается окно с атрибутами выбранного объекта.

На рисунке 1 представлен общий вид созданной трехмерной модели, открытой в окне браузера. Перечень слоев модели указан в меню на черном фоне в правой части окна; пользователь может отключать видимость слоев или изменять их прозрачность. Также есть возможность изменять угол обзора, поворачивая модель, и определять координаты любой точки модели, кликая по ней (небольшое меню в верхней левой части окна).



Рис. 1. Общий вид трехмерной модели экотропы «Зверобой»

Трехмерное картографирование экотропы «Зверобой» значительно повысило наглядность представления информации о тропе и окружающей ее местности. На рисунке 2 для текстурирования рельефа использована карта экспозиции склонов, созданная стандартными средствами QGIS.

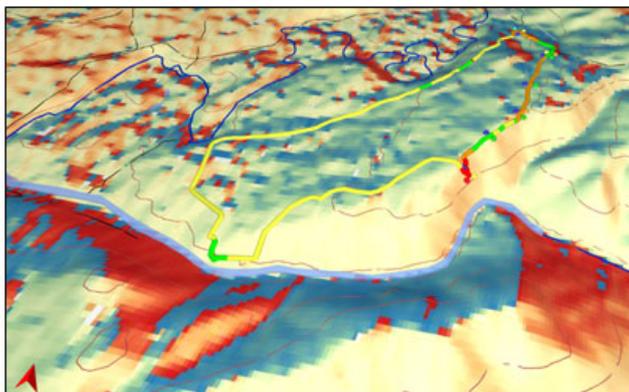


Рис. 2. Трехмерное моделирование экспозиции склонов на экотропе «Зверобой»

Трехмерная визуализация, представленная на рисунке 2, позволила сделать следующие выводы и рекомендации об особенностях и характере эксплуатации экотропы «Зверобой»:

- в южной части тропы на берегу реки Бердь выделяются 2 участка с крутым спуском/подъемом. Для этих участков может быть рекомендовано перепрофилирование тропы так, чтобы упростить их доступность для пожилых и маломобильных групп граждан;

- значительная часть западного участка тропы проходит по северному склону возвышенности Зверобой, что обуславливает низкую инсоляцию, худшую освещенность и более долгое таяние снега. На данном участке тропы рекомендуется предусмотреть дополнительные мероприятия по освещению местности, расчистке тропы от снега, контролю водной эрозии;

- в северо-восточной части территории, в непосредственной близости от экотропы отмечается ряд небольших возвышенностей. Целесообразно провести их осмотр для установления целесообразности включения их в траекторию экотропы, так как они могут сформировать дополнительные смотровые площадки.

Дополнение трехмерной модели экотропы «Зверобой» другими морфометрическими показателями позволит выявить иные закономерности, связанные с оптимизацией конфигурации тропы и мониторингом ее экологического состояния.

Выводы

Трехмерные модели рельефа являются эффективным средством визуального и геоинформационного анализа разнородной информации о физико-географических особенностях и эксплуатационных показателях экологических троп –

новой, весьма популярной разновидности объектов экологического туризма. Трёхмерное моделирование экотроп оптимизирует решение широкого перечня задач, которые могут быть сгруппированы в 3 блока:

– научно-исследовательские (расчет туристской нагрузки на экотропу и оценка ее экологического состояния);

– практические (корректурa конфигурации тропы с учетом особенностей природных условий, проектирование размещения новых объектов туристской инфраструктуры);

– просветительские (популяризация конкретных экотроп в Интернете путем создания наглядного, красочного картографического обеспечения, привлекающего внимание потенциальных посетителей).

Дальнейшие исследования в области трёхмерного моделирования экотропы «Зверобой» связаны с расширением ее тематического наполнения для более детальной и полной оценки ее экологического состояния и туристского потенциала, с экспериментами в области картографического дизайна для повышения ее наглядности и привлекательности для широкого круга пользователей. В более отдаленной перспективе – создание виртуального тура по экотропе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. The International Ecotourism Society. What is Ecotourism? The Definition [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ecotourism.org/what-is-ecotourism/> (дата обращения 12.05.2023)

2. Сергеева Т. К. Экологический туризм: Учебник. - М.: Финансы и статистика, 2004. – 360 с.

3. Цекина М. В., Батуев М. С. Экотропа как основа развития экологического туризма в национальных парках Бурятии // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. – 2016. - №. 1 (32). - С. 248-255.

4. Бровцына В. С., Шабалина Н. В., Каширина Е. С., Зелинская А. Б. Создание и обустройство экотроп как необходимое условие развития экологического туризма (пример Большой севастопольской тропы) // Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса. – 2021. - Т. 7, №. 1. – С. 3-14.

5. Тархова Л.А., Берлин Н.Г., Кадыкова Ю.С. К вопросу организации экологической тропы на территории природного парка «Кумысная поляна» города Саратова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. – 2013. - Т. 13, №. 2. – С. 34-40.

6. Оборин М. С. Формирование системы экологических троп для развития местного эколого-просветительского туризма // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». – 2010. - №. 4. – С. 26-30.

7. Чижова В.П., Грязин И.В., Хилько К.Ю. Вопросы проектирования экологических троп для природных парков (на примере парка «Ергаки», западный Саян) // Географический вестник. – 2018. - №. 1 (44). – С. 138-144.

8. Путрик Ю. С., Первунин С. Н. Туристская тропа как эффективное средство освоения территории и составная часть туристской инфраструктуры региона // Российские регионы: взгляд в будущее. – 2016. - №. 2 (7). – С. 86-91.

9. Абалаков А. Д., Дроков В. В., Панкеева Н. С., Седых С. А. Сеть экологических троп в Прибайкальском национальном парке как инструмент организации туристской деятельности // Современные проблемы сервиса и туризма. – 2013. - №. 1. – С. 48-58.

10. Трубина Л. К., Толкачев Г. В. Некоторые аспекты учета особенностей рельефа при мониторинге загрязнения атмосферы // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2021. – Т. 4, № 2. – С. 18-24.

11. Morosini, R., Zucaro, F. Land use and urban sustainability assessment: a 3D-GIS application to a case study in Gozo. *CityTerritArchit* 6, 7 (2019). <https://doi.org/10.1186/s40410-019-0106-z>
12. Ерунова М. Г., Гостева А. А., Якубайлик О. Э. Геоинформационное обеспечение задач экологического мониторинга особо охраняемых территорий // *Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии.* – 2008. - Т. 1, № 4. – С. 366-376.
13. Кшуманёва Е. А., Кикин П. М. Создание интерактивных кроссплатформенных панорамных туров // *Интерэкспо Гео-Сибирь*, 2017. - Т. 10. – С. 35-39.
14. <https://cyberleninka.ru/article/n/complex-representation-of-natural-heritage-on-the-basis-of-webgl-shushensky-bor-information-system>
15. Николаева О. Н., Васильева Е. А. Об опыте создания интерактивной карты для развития экологического туризма в Новосибирской области // *Цифровая География. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. В 2-х томах / Под науч. ред. А. И. Зырянова, Т. В. Субботиной, С. В. Копытова. Пермь, 2020. С. 163-166.*
16. Чавес Д. О., Николаева О. Н. Насчёт туристской нагрузки на экологические тропы в ООПТ // *Интерэкспо Гео-Сибирь*, 2022. - Т. 4. – С. 272-280.
17. Руководство к плагину Qgis2threejs [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://qgis2threejs.readthedocs.io/en/docs/index.html>

© О. Н. Николаева, Д. Н. Новосельцев, 2023