

УДК 528:004.9

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-2-133-146

ТРЕХМЕРНОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ МЕСТНОСТИ

Вадим Александрович Латкин

Алтайский государственный аграрный университет, 656049, Россия, г. Барнаул, пр. Красноармейский, 98, аспирант кафедры геодезии, физики и инженерных сооружений, тел. (923)722-97-65, e-mail: latkinvadim@mail.ru

В статье рассмотрены новые идеи в области трехмерного представления географического пространства. 3D-картография определена как наиболее эффективный способ отображения окружающей местности. В частности, приведены преимущества трехмерных карт по сравнению с двумерными аналогами, проанализировано современное состояние области 3D-представления, выявлены два подхода: картография и геовизуализация. Рассмотрена методика 3D-картографирования, а также различные существующие графические среды для создания 3D-карт и сравнительный анализ их возможностей. Для практической работы выбран графический редактор на основе игрового движка с обоснованием его использования и описанием функциональных особенностей. Реализовано создание трехмерной карты местности, представлены результаты в виде иллюстраций реальной и смоделированной территории. Определены потенциальные применения 3D-карты в различных сферах деятельности.

Ключевые слова: геопространство, цифровая трехмерная модель местности, трехмерная карта, 3D-картография, геовизуализация, факторы 3D-картографирования, процесс создания 3D-карты, специализированные геоинформационные системы (ГИС), игровой движок Prism3D, графический редактор

Введение

Карты являются древними формами изображения пространственной географической информации [1], которые самым эффективным способом передают данные об окружающем геопространстве, т. е. о подлежащей изучению и отображению географической оболочке Земли [2].

Технологии отображения окружающей действительности и непосредственно сами картографические материалы развивались на протяжении многих эпох, начиная с LXX в. до н. э. Карты были разработаны независимо друг от друга в различных цивилизациях (греческой, римской, арабской и т. д.) и имели свои специфические особенности. В течение тысячелетий они использовались во многих аспектах жизни людей: в навигации, образовании, торговле и в армии. С развитием карт возникла дисциплина составления карт, называемая картографией [3].

Во все времена, вплоть до современного периода, информация об окружающем мире отображалась на плоской поверхности, т. е. на так называемых двумерных картах. Материалом для изображений служили сначала стены

пещер, шкуры животных, папирус, затем бумага и, в конечном счете, средствами отображения стали экраны персональных компьютеров [4].

С изобретением и популяризацией компьютеров, начиная с конца 1960-х и 1970-х гг., эволюция набрала значительную скорость. Популяризация геоинформационных систем (ГИС) – систем сбора, хранения, анализа, обработки и отображения пространственной информации – демократизировала среду карт и снизила роль подготовленных картографов [5].

Конец XX – начало XXI в. ознаменовал собой прорыв в области электронно-вычислительной техники. С появлением и использованием новых электронных средств работы с различной информацией произошли серьезные изменения в науке и технике. Естественно, коснулось это и таких наук, как геодезия, фотограмметрия и картография [6].

«Переходный период в картографии охватывает 10–15 лет XX в. и примерно такое же время XXI в.» [7]. Картографические технологии и материалы стали очень разнообразными. Появилось огромное число карт, разных по содержанию и масштабам, которые

решают различные задачи. В работе [8] в качестве основных причин такого развития отмечены потребности общества и хозяйства, постоянно увеличивающийся объем информации, а также технический прогресс.

Как бы то ни было, но двумерные карты ограничивают восприятие человека до двух измерений [4]. Настоящая «революция» в картографии произошла с развитием таких направлений, как мобильная, мультимедийная и анимационная картография. Особое же внимание заслуживает переход от двумерных к трехмерным картам – результатам нового научного направления, именуемого цифровым трехмерным (3D) картографированием [9].

Дать точное определение трехмерных карт достаточно сложно. Трактовать их, как и в случае с двумерными аналогами, можно по-разному, поскольку 3D-карты могут иметь различные формы и свойства, разные интерфейсы и инструменты взаимодействия, использоваться в различных приложениях, могут основываться на различных технических решениях и т. п.

Естественно, как и в абсолютно любой другой отрасли, на пути развития 3D-картографирования возникают определенные проблемы, которые необходимо уметь выявлять, анализировать и разрешать, добиваясь дальнейшего совершенствования. К сожалению, пока в настоящее время потенциал 3D-картографирования используется не полностью. Причиной этого может быть сложность качественных 3D-решений и, как следствие, увеличение времени и стоимости разработки систем. Также факторами являются более высокие требования к оборудованию для 3D-систем, привычки картографов и пользователей карт старшего поколения, знакомых с традиционными картами. Кроме того, до конца не решена проблема наличия съемочных данных территории достаточного качества для трехмерного отображения. В основном упор делается на застроенные городские территории, а относительно сельских территорий возникает некая неосведомленность. Данные причины частично были отмечены зарубежным автором еще в 2009 г. [3], однако полностью разрешить эти проблемы, по крайней мере, в нашей стране не удалось и сейчас, и они

остаются актуальными. В настоящее время многие доступные продукты на основе 3D-карт далеки от совершенства в интерфейсе и качестве отображения.

Говоря об актуальности разработки и использования трехмерных карт, стоит отметить, что 3D-карты имеют широкий спектр потенциальных применений в различных дисциплинах. Они «могут найти еще более широкое применение в навигации, туризме, городском планировании, экологии, ландшафтном дизайне и других сферах человеческой деятельности» [6]. Наличие трехмерных карт территории, на которой запланировано строительство или реконструкция объектов, позволяет наглядно и детально воспринять новый объект, достаточно быстро принять необходимые решения, а также ускорить процессы проектирования и согласования [10]. Визуально привлекательные 3D-модели являются эффективным способом доведения решений о планировании до общественности [11].

Целью данной работы является внедрение новых идей в области трехмерного представления окружающего географического пространства. Очевидно, что для возникновения новых, индивидуальных мыслей необходимо систематизированно, ясно и полно представлять себе отличительные особенности 3D-картографирования, его необходимость и определенные средства или программные продукты для реализации идей.

В связи с этим для достижения цели был сформулирован ряд задач:

- 1) определение преимуществ и характерных особенностей 3D-карт;
- 2) анализ современного состояния и проблем 3D-картографирования;
- 3) выявление особенностей процесса 3D-картографирования;
- 4) анализ программного обеспечения для целей картографирования;
- 5) создание 3D-карты реальной местности в графическом редакторе.

Материалы и методы

Для теоретического анализа отрасли трехмерного картографирования были использованы отечественные и зарубежные источники

информации. Выполнение практической работы по составлению трехмерной карты подразумевало обязательное наличие материалов космической и наземной съемки местности в существующих веб-ГИС (спутниковые изображения, панорамы на основе фотографий, видеоматериалы), материально-технических средств (ПК и его основных элементов), а также необходимого программного обеспечения (графического редактора с исходными данными).

В качестве объекта картографирования выбрана восточная часть территории Михайловского района Алтайского края (окрестности с. Ракиты). Предмет исследования – пространственные физико-географические характеристики территории.

Применена методология научного исследования. Используемые методы: наблюдение, анализ и синтез информации, систематизация, сравнение, индукция и дедукция, моделирование, графический метод, картографический с использованием правил символизации, абстракции и обобщения.

Результаты

Независимо от того, насколько эффективны двумерные карты, трехмерные карты предлагают значительные улучшения и преимущества. Все, что нас окружает в реальности, – это объемный трехмерный мир, поэтому основное преимущество трехмерных карт как раз и заключается в наиболее достоверном представлении, высокой степени узнаваемости изображенных объектов трехмерного пространства пользователем. Это следствие того, как трехмерные изображения представляются нашему мозгу [12], причем с самого детства, когда мы учимся распознавать те предметы, которые нас окружают: дома, деревья, автомобили и прочее. Подробно перечень преимуществ трехмерных карт представлен на интернет-ресурсе [13].

Также стоит отметить тот факт, что традиционные карты непросто дешифровать [3]. Ведь сначала необходимо мысленно представить отображенную область, затем перевести изображенные символы с помощью легенды и сопоставить карту с реальным миром. Соот-

ветственно, процесс дешифрования требует определенного времени и усилий. Все это является причиной того, что у многих людей возникают трудности в использовании двумерных карт [14]. 3D-карты в этом плане гораздо проще для представления, и их без особого труда могут использовать для своих целей не только специалисты, но и обычные пользователи, не связанные с картографией [6].

Трехмерные карты используют трехмерные модели местности как основу для отображения различных данных с географической привязкой. Трехмерная модель местности, называемая цифровой моделью местности (DTM) [3], используется в качестве ориентира. Это может быть как простое представление поверхности местности (так называемое 2,5D-представление), так и полное трехмерное описание объема (3D). Как показывает предыдущий опыт, представление поверхности Земли, дополненной трехмерными символами, достаточно для многих приложений [15]. Цифровая трехмерная модель местности может включать в себя элементы: трехмерную модель самой поверхности Земли, модели объектов на поверхности, модель недр (объекты под землей) и т. д. [2]. Поверхность обеспечивает опорную точку для географического положения, а также для высоты данных.

В настоящее время работы по созданию трехмерных моделей объектов и трехмерных карт активно ведутся и за рубежом, и в нашей стране. Лидером в отрасли трехмерного картографирования являются США. Нельзя сказать, что отставание России в этой области катастрофично, но проблема заключается в том, что широкому внедрению технологий трехмерного картографирования препятствует «отсутствие понимания необходимости построения моделей для эффективного управления инфраструктурой города, архитектурного планирования, для решения задач гражданской обороны, разрешения экологических проблем, планирования мероприятий специальных служб» [16].

Среди отечественных авторов, занимающихся вопросами развития отрасли трехмерного картографирования, большой интерес представляют работы П. Ю. Бугакова [6], Д. В. Лисицкого [17], Д. В. Грищенко

и А. В. Кобецкой [4], Б. Н. Ахмедова [2], А. А. Вахрушевой [16], А. Т. Нурмухаметовой [18]. Однако по результатам анализа стоит отметить, что все же наиболее подробно и глубоко теоретические и практические аспекты данной тематики описаны в работах зарубежных авторов.

Во многих странах мира разработаны специализированные программы для трехмерного моделирования и картографирования, создаются карты городов и различных регионов. Однако основными недостатками являются низкое качество отображения, пренебрежение картографическими требованиями и, как следствие, невысокий профессиональный уровень, отсутствие четкого научно-методического обоснования. При этом указанные проблемы имеют место быть в такое время, когда потребность в картографических трехмерных материалах с каждым годом существенно возрастает [6].

Таким образом, важнейшими направлениями развития цифрового трехмерного картографирования можно считать, во-первых, теоретическое обоснование разработки и сущности трехмерных карт, во-вторых, повышение качества отображаемой информации, и, в-третьих, разработку научно-методических основ процессов составления и использования карт, которые заключаются в применении определенных картографических правил, инструментов и алгоритмов.

Наиболее важное теоретическое значение для четкого представления сущности 3D-картографирования представляют дискуссии о двух близких дисциплинах – картографии и геовизуализации. В результате рассмотрения разных точек зрения необходимо определить, в чем собственно их отличие друг от друга и как необходимо эффективно представлять окружающий мир.

Нелегко определить, что является, а что не является 3D-картой. Большая часть исследований фокусируется на более широкой теме применения 3D – в географической визуализации или геовизуализации [19]. В понимании геовизуализации 3D-карта может быть реалистичной реконструкцией города или планируемого ландшафта. Геовизуализация расширяет традиционные концепции картографии, чтобы

охватить новые возможности и приложения. Поскольку она связана с представлением географических данных и предполагает широкое использование карт, геовизуализация может восприниматься как продолжение и естественный путь развития картографии [20].

Рассмотрев точки зрения различных авторов [3, 19, 20] относительно картографии и геовизуализации, удалось сформировать собственное представление об этих дисциплинах. Хотя геовизуализация и 3D-картография взаимосвязаны, все-таки они являются отдельными дисциплинами. Главное отличие заключается в том, что в геовизуализации наблюдается некоторое отсутствие картографических правил. В ней, как правило, пренебрегают понятиями абстракции и символики и слепо стремятся повторить в фотографической точности реальный мир. Картография же ставит перед собой основной целью именно эффективное представление, а для этого вовсе не обязательно стремиться к полному фотореализму. Нефотореалистичная графика известна своей способностью обеспечивать выразительные и всесторонние визуализации с большим потенциалом для использования [21, 22]. Очевидно, что есть значительная разница между аэрофотоснимком или космоснимком местности и ее специально разработанной картой. То же самое можно сказать о разнице между трехмерной фотореалистичной геовизуализацией и трехмерными картами. Но в любом случае обе дисциплины тесно взаимосвязаны, и для разрешения проблемы их дифференциации необходимо точно представлять себе характерные факторы отличия, специфику процесса картографирования.

Трехмерные карты могут быть созданы благодаря наличию определенных материалов: полученных в результате аэросъемки и космической съемки местности, фото- и видеоматериалов, полевых обследований и геодезических измерений, лазерного сканирования, существующих картографических материалов и ГИС-данных [16, 18].

В зависимости от того, что используется в качестве исходных данных, картографирование может осуществляться тремя основными вариантами [9]: картографическим отображением трехмерной модели местности

(уже созданной как фотореалистичная геовизуализация) с применением картографических правил; составлением 3D-карты заново по данным различных съемок местности; созданием 3D-карты с использованием 2D-карт.

Основными определяющими факторами процесса трехмерного картографирования являются [3]:

- 1) использование явления 3D-визуализации (трехмерного отображения действительности);
- 2) применение картографических правил;
- 3) высокая интерактивность;
- 4) интеллект-карты.

Рассмотрим их подробнее.

1. Визуализация карты в трехмерном виде позволяет более точно определить позицию, местоположение пользователя. Они лучше для понимания расстояний, топографии и окружающей среды. Благодаря этому 3D-карты привлекают к себе внимание и могут использоваться как практическое средство для погружения пользователей.

Системы 3D-визуализации отображают ситуации, состоящие из одного или нескольких трехмерных объектов, которые пространственно организованы. Объекты освещаются одним или несколькими источниками света, и ситуацию можно рассматривать с различных перспектив или точек обзора. Точка обзора определяется положением, направлением обзора и другими свойствами глаза. Наборы объектов с определенными источниками света и точками обзора называются сценами [3].

2. Как и в других типах карт, в 3D необходимо использовать картографические правила абстракции, символизации и обобщения, чтобы обеспечить эффективную передачу изображенной географической информации.

Символизация – это непосредственно использование 3D-символов на карте. Большая часть правильно разработанных трехмерных символов может быть распознана без специальной подготовки или обращения к легенде. Это верно для символов, которые представляют материальные объекты или признаки, имеющие эквиваленты в реальном мире. Распознавание может быть основано на предыдущем жизненном опыте пользователя. 3D-символы не всегда должны быть реалистичными.

Упрощенные и абстрактные представления все еще легко узнаваемы.

Абстракция подразумевает под собой учет только тех объектов или их свойств, которые имеют определенное значение, и их необходимо отобразить. Другие же, несущественные характеристики и предметы, можно опустить и не наносить на карту. Вообще карта и характеризуется тем, что абстрактным образом представляет реальность. Относительно «пустая» карта может оказаться гораздо эффективнее, чем та, которая перегружена информацией.

В реальном мире существует множество групп однородных объектов (водные объекты, растительность, дорожная сеть, недвижимость и т. д.). При этом каждый объект внутри определенной группы имеет свои уникальные черты. В ряде случаев, когда на карту необходимо нанести объекты лишь для пространственной ориентации, при моделировании от этой уникальности можно отказаться, создав одну модель, характеризующую всю группу (например, в группе растительности одна модель сосны в каждом ярусе). При нанесении на карту совсем не обязательно учитывать особенности каждого отдельного дерева, тем более, если их много на территории. Этот процесс называется обобщением. Конечно, если помимо простой ориентации с отдельным объектом определенной группы предусмотрена какая-либо проектная работа, его индивидуальные черты необходимо детально отобразить.

3. Традиционные карты представлены в двумерном верхнем виде, а не с использованием статических трехмерных перспективных изображений. Статические перспективные виды не подходят для охвата большой области, поскольку они подчеркивают участки, которые находятся ближе к выбранной точке обзора, и затрудняют или делают невозможным доступ к информации о более отдаленных областях. Они также искажают размеры, углы и расстояния.

Ситуация меняется с введением взаимодействия и динамики. Только карты, которые не являются статичными и позволяют изменять точку обзора, могут в полной мере использовать преимущества трехмерного пред-

ставления. Таким образом, 3D-карты являются интерактивными по своей природе [3]. Интерактивность заключается также в том, что пользователь с помощью инструментов может запрашивать определенную информацию, а карта будет на этот запрос отвечать, предоставляя необходимые данные. Взаимодействие «пользователь – карта» важно для повышения эффективности и удобства использования трехмерных карт, расширения возможностей применения.

4. Интеллект-карты можно обозначить как использование интеллектуальных алгоритмов в картографировании. Это взаимодействие «карта – пользователь», т. е. сама карта инициирует связь с пользователем, чтобы сообщить ему о некоторых важных фактах или событиях. Уровень интеллекта может быть различной степени – это зависит от области применения, доступных технологий и изобретательности разработчиков. Взаимодействие основано на внутренних механизмах карты. Примерами встроенного интеллекта могут являться смена времени, погоды, движение объектов в пределах карты (анимация, создаваемая картой, а не пользователем), различные звуки, освещение, предупреждения пользователю при обнаружении опасности столкновения и многое другое. В работе [3] отмечена полезность анимации, где автор утверждает, что «анимация является естественным способом изображения временных данных, потому что изменения в реальном времени могут отражаться изменениями во времени отображения».

В целом процесс создания трехмерной карты состоит из двух этапов:

1) моделирование, т. е. создание моделей реальных объектов;

2) картографирование, т. е. расположение различных моделей относительно друг друга в соответствии с реальностью. Этот этап включает:

– графические аспекты символизации: местоположение объектов, форму, размер, цвета и яркость, текстуры, ориентацию, анимацию (создаваемая пользователем);

– аспекты процесса визуализации: уровень детализации и видимости модели; настройки камеры (статика или перемещение); освеще-

ние и подсветку; затенение и тени; а также другие эффекты, которые позволяют более естественно воспринимать 3D-карту.

В настоящее время разработан и используется ряд специализированных геоинформационных систем (ГИС) и систем автоматизированного проектирования (САПР) для создания трехмерных карт местности. Для того чтобы определить наиболее качественный, удобный и эффективный продукт для осуществления картографирования, необходимо провести небольшой сравнительный анализ существующего программного обеспечения, но анализ должен касаться средств именно для 3D-картографирования. Существуют группы компаний, которые занимаются деятельностью по созданию трехмерных моделей. Однако это скорее относится к геовизуализации, поскольку модель строится непосредственно по фотографиям земной поверхности, а значит, не подразумевает в дальнейшем работу с отдельным точечным объектом – корректировку положения или определенных свойств (которые могут со временем измениться), а также проектные решения – размещение новых объектов на модели.

Рассмотрим такие известные специализированные программные пакеты, предоставляющие возможности 3D, как ГИС «Панорама», MapInfo, ArchiCAD. Были проанализированы источники [2, 9, 23], в которых содержится информация об использовании данных продуктов, исследовании их возможностей в области 3D-картографирования. В процессе анализа сформировалось собственное субъективное мнение о важных недостатках упомянутых специализированных продуктов, которые бросаются в глаза в первую очередь: низкое качество моделей и отображения карты; отсутствие большого разнообразия типов и форм объектов в определенных группах (растительности, дорожного сообщения, строений и т. п.) или вовсе отсутствие некоторых видов.

В связи с этим появилась необходимость качественно усовершенствовать итоговый результат трехмерного картографирования. Возникла идея, заключающаяся в применении для этой цели игровых движков. Нельзя назвать ее кардинально новой, поскольку игровые движки

используются для целей картографии, о чем упомянуто в работе [3], но, по крайней мере, в России основное внимание уделено именно специализированным ГИС, примеры которых были приведены.

3D-игровые движки представляют собой специализированные, комплексные графические пакеты, предназначенные для создания трехмерных компьютерных игр. Они включают в себя обширные наборы библиотек и интерфейсы. Визуальная эффективность и оптимизация скорости и качества визуализации – самые большие преимущества игровых движков. Однако, так как целевая направленность игровых движков не несет в себе серьезных намерений относительно использования их в сферах реальной действительности, им не хватает поддержки специфичных для карты требований. Они могут не предусматривать реализацию специфичных для карты механизмов взаимодействия и запросов [3].

На пространствах сети Интернет был осуществлен поиск подходящего для цели картографирования средства. Был выбран и проанализирован игровой движок Prism3D, который специализируется на работе с большими открытыми пространствами. В 2012 г. на его основе была разработана компьютерная игра, в которой создание игрового мира было осуществлено в графическом редакторе. Он был принят во внимание в данной работе с целью создания трехмерной карты.

Таким образом, идея работы заключается в интеграции игрового движка в процесс 3D-картографирования, использования его качественных возможностей. Сложившееся впечатление – преимущество в качестве отображения и огромном разнообразии объектов – позволяет сделать выбор в пользу рассмотренного редактора. Наглядно убедиться в его преимуществах можно на рис. 1, где показан результат небольшой пробной работы.



Рис. 1. Результат работы в графическом редакторе движка Prism3D

Сферы применения трехмерных карт должны быть широки, и, соответственно, должен быть шире круг пользователей, не ограниченный только специалистами в области картографии и ГИС-технологий. В связи с этим многие функции специализированных ГИС, которые могут быть непонятны обычным пользователям или представителям ор-

ганов власти (управляющих структур), могут быть интерпретированы другим образом или опущены. Подробнее уделить внимание этому моменту уместнее в другой работе – отдельном материале, посвященном детальному освещению интерфейса, алгоритмов, предлагаемых инструментов и порядку действий в упомянутом графическом редак-

торе для разработки карты и ее дальнейшего применения. Там же стоит рассмотреть, как можно определенным образом нивелировать недостатки игровых движков, дабы они не были серьезно ощутимы, чтобы графические редакторы данных движков были конкурентоспособны, подняли на новый уровень процесс 3D-картографирования: раскрыв потенциал трехмерных карт и повысив степень их использования. В данной работе далее представлены непосредственные практические результаты: в каком виде, какого качества и в какой степени сходства в соответствии с правилами была отображена реальная местность.

Составление карты реальной местности производилось с нуля по материалам съемок местности. Помимо возможности личного наблюдения за территорией использовались спутниковые снимки местности (на таких интернет-ресурсах, как Google Планета Земля, Google Карты, Яндекс.Карты), материалы наземной съемки (фотографии местности из сети Интернет, панорамные изображения в Google Планета Земля и Google Карты, а также видеоматериалы, хранящиеся на видеохостингах в сети Интернет и на ресурсе Яндекс.Карты). Рассмотрим последовательно этапы составления.

1. Моделирование.

Данный процесс подразумевает работу по созданию с нуля отдельного объекта реальности в специализированной программе: придание формы, размеров, текстур, теней и других эффектов. Однако в работе для отображения фактического состояния местности на карте (т. е. как она выглядит сейчас) были использованы уже готовые модели.

Первоначально компьютерная игра на движке Prism3D была создана в Чехии, соответственно, все модели в ней были европейскими, и в этом состояла главная проблема при отображении территории России. Решить ее удалось следующим образом. В графическом редакторе работает много энтузиастов, в том числе и в нашей стране. По прошествии восьми лет с разработки игры появилось множество модификаций для нее, созданных отдельными людьми. В сети Интернет эти модификации (определенные

файлы) можно найти в бесплатном доступе на предназначенных для этого ресурсах (например, stmods.ru). С подобных сайтов в начальной стадии работы были получены необходимые файлы игровых карт, составленных авторами (сами карты в личных целях не использовались, были использованы лишь готовые модели территории России). Это стало возможным еще и потому, что при отображении фактического состояния многие объекты можно наносить с некоторой степенью абстракции и обобщения. Но наиболее важные объекты реальности, а также проектные объекты, планируемые в дальнейшем, будут созданы уже с детальной точностью самостоятельно.

2. Картографирование.

Иметь точные или похожие модели объектов и фрагментов местности – это меньшая часть дела. Самое главное – правильно и качественно создать поверхность и расположить на ней объекты в соответствии с реальностью, чтобы получилась непосредственно трехмерная карта.

Модель местности является фундаментальным строительным блоком 3D-карты. После ее создания (рис. 2) можно отображать картографические данные.

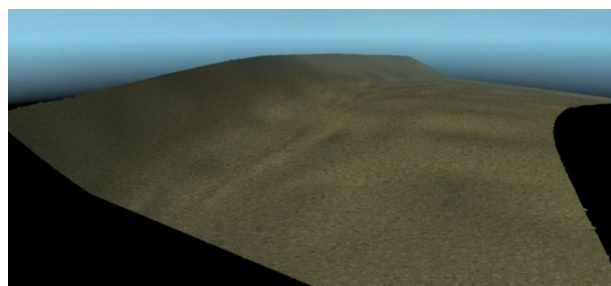


Рис. 2. Модель местности (поверхность)

Отдельные материальные объекты могут быть представлены с использованием моделей, нарисованных с различным уровнем реалистичности. Например, элементы растительности в одном случае представляют свои реальные аналоги с высоким уровнем сходства, в других случаях, когда объекты имеют второстепенное значение, достаточно фонового легко узнаваемого изображения (рис. 3).



Рис. 3. Объекты с высокой степенью сходства и фоновые объекты

Эффективность просмотра карты зависит от нескольких факторов, в том числе от визуальной эффективности. Для полного понимания трехмерной ситуации может потребоваться несколько видов. Исследователи обычно перечисляют несколько видов в числе наиболее важных требований для просмотра

3D-карт [24, 25]. Наиболее точным является выделение следующих видов: план-вид (вид сверху), модель-вид (возвышенная перспектива) и вид на мир (вид на уровне глаз) [26, 27].

Возможность использования перечисленных видов в графическом редакторе представлена на рис. 4.



Рис. 4. План-вид, модель-вид, вид на мир

Работа над картой осуществлялась в масштабе 1 : 1. Это значит, что расстояние в 1 км на карте соответствует 1 км в реальности. Изначально была создана 2D-подложка карты (совмещенные воедино отдельные фото местности со спутниковой карты). Непосредственно на ней с учетом высот местности строилось 3D-изображение, но ввиду ее низкого качества отображения в редакторе дополнительно для нанесения объектов использовались материалы из сети Интернет, перечисленные ранее. Ниже представлены иллюстрации, по которым можно сравнить различные фрагменты составленной карты с фрагментами реальной местности (рис. 5).

При использовании составленной трехмерной карты на основе движка Prism3D возможна пользовательская настройка не-

обходимого времени суток, погоды, движения определенных типов объектов. Также реализована возможность динамического воспроизведения созданного мира, где уже автоматически встроенным интеллектом осуществляется смена времени и погодных условий, анимация движения объектов, их поведение согласно созданному алгоритму, имитация ветра (движение ветвей деревьев), звуки.

Подводя итог, стоит отметить, что очень важна работа не только с группами объектов, а именно с каждым отдельным видом, ведь каждый отображенный на карте объект действительности может иметь большое значение, служить определенным ориентиром для навигации или осуществления различного рода деятельности.



Рис. 5. Сравнение фрагментов реальности (слева) и 3D-карты (справа)

Обсуждение

В работе предложена идея, которая заключается в интеграции основных картографических задач, принципов и намерений, предусмотренных в специализированных ГИС, и графического редактора на основе игрового движка. Основная цель использования редактора в настоящее время относится скорее к виртуальной реальности – созданию компьютерных игр, однако его возможности и преимущества могут в определенной степени усовершенствовать процесс создания 3D-карт, сделать их визуально более привлекательными и эффективными при ис-

пользовании в различных сферах деятельности человека. Данная идея пока не получает к себе должного внимания в нашей стране.

Развить идею стало возможным благодаря сравнительному анализу возможностей существующего программного обеспечения, рассмотренных в ряде работ других авторов [2, 9, 23], выявлению общих недостатков специализированных ГИС и их ликвидации с использованием графического редактора движка Prism3D.

Была решена задача по созданию фрагмента 3D-карты реальной местности. Картографированием была охвачена небольшая территория восточной части Михайловского рай-

она Алтайского края (около 10 км по автомобильной дороге от восточной границы района до н. п. Ракиты) для того, чтобы наглядно продемонстрировать технологические возможности отображения реальной местности. Первые полученные результаты работы показывают и еще раз доказывают ту точку зрения, что совмещение воедино идей, казалось бы, абсолютно различных по своим целям и методам программных средств для процесса картографирования, их взаимодействие и взаимопроникновение позволяют критически отнестись к каждому из них, принести большую пользу и эффект, нежели односторонний взгляд. Такой интегративный подход может иметь большое значение для области 3D-картографии и на практике.

Разработанная трехмерная карта на основе игрового движка за счет разнообразия отображенных объектов реальности и высокого качества визуализации может расширить границы своего применения. Да и в тех сферах, в которых уже используются карты, созданные в специализированных ГИС, рассмотренный подход может привнести новизну, но не для осуществления изменений ради самих перемен, а в целях анализа возможного потенциала и дальнейшего развития.

Области применения карты касаются всех основных сфер антропогенной деятельности: сферы материального производства (сельское и лесное хозяйство, водный фонд, промышленность, строительство, транспорт), интеллектуальной сферы (различные науки, мониторинг) и сферы услуг (электроснабжение, связь, водоснабжение, торговля, отдых и прочее). Использование разнообразных отображенных на карте моделей объектов позволит осуществлять планирование, разработку прак-

тических действий в перечисленных отраслях для дальнейшей реализации.

Заключение

Картография как одна из древнейших наук является основой для представления окружающей действительности и ориентации в географическом пространстве. В процессе научно-технического прогресса мы пришли к самому эффективному способу представления реальности – трехмерному картографированию. Грамотные, рациональные действия, новые совершенные технологии, средства и методы в 3D-картографии позволят сделать главное – сэкономить драгоценное время человека и сделать максимально эффективными процессы создания и использования картографических материалов.

Представленные в работе результаты являются только началом этого пути. Дальнейшие перспективы заключаются в детальном исследовании и совершенствовании всех возможностей выбранного программного обеспечения, устранении или приведении к минимуму недостатков, полном отображении фактического состояния реальной местности, которая отсутствует на картах, чтобы затем разработать и предложить проектные решения по восстановлению и улучшению окружающей нас среды.

Благодарности

Автор выражает признательность научному руководителю – заведующей кафедрой геодезии, физики и инженерных сооружений, кандидату географических наук, доценту Байкаловой Татьяне Викторовне за помощь по вопросам организации работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Cartographic principles / M. J. Kraak, A. Brown (Eds.) // Web Cartography: Developments and Prospects. – CRC Press, 2001. – P. 53–72.
2. Ахмедов Б. Н. Построение цифровых трехмерных моделей геопространства // Инженерная графика и трехмерное моделирование. Молодеж. науч.-практ. конф.: сб. научных докладов (16 декабря 2016 г., Новосибирск). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – С. 9–13.
3. Goralski R. Three-dimensional interactive maps : Theory and practice. – Glamorgan/Morgannwg : University of Glamorgan/Prifysgol Morgannwg, 2009. – P. 313.
4. Грищенко Д. В., Кобецкая А. В. Трехмерная картография: преимущества, способы, инструменты // Инженерная графика и трехмерное моделирование. Молодеж. науч.-практ. конф. : сб. науч. докладов (16 декабря 2016 г., Новосибирск). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – С. 40–46.

5. Dorling D., Fairbairn D. Mapping: Ways of Representing the World. – Longman, 1997. – P. 184.
6. Бугаков П. Ю. Методика создания перспективных карт по 3D-моделям местности : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2012.
7. Сладкопепцев С. А. Картография на рубеже веков // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2016. – № 1. – С. 56–62.
8. Комедчиков Н. Н., Лютый А. А. Экология России в картах. – М. : Институт географии РАН, 1995. – 559 с.
9. Нгуен Ань Тай. Картографический метод преобразования двухмерной карты в трехмерную с помощью ГИС-технологии // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 3 (31). – С. 87–97.
10. Степанова Л. А., Смирнова И. И. 3D-моделирование в геоинформационной системе // Программные продукты и системы. – Тверь : ЗАО НИИ «Центрпрограммсистем», 2013. – № 1. – С. 122–125.
11. Pereira A. G., Rinaudo J.-D., Jeffrey P., Blasques J., Quintana S. C., Courtois N., Funtowicz S., Petit V. ICT Tools to Support Public Participation in Water Resources Governance & Planning : Experiences from the Design and Testing of a Multi-Media Platform // Journal of Environmental Assessment Policy and Management. – 2003. – Vol. 5 (3). – P. 395–420.
12. Van Driel N. J. Three dimensional display of geologic data / J. Raper (Ed.) // Three Dimensional Applications in Geographical Information Systems. – CRC Press, 1989. – P. 1–9.
13. Мир ArcGIS. Картография в трех измерениях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://learn.arcgis.com/ru/arcgis-book/chapter6/>.
14. Латкин В. А. Специальное картографирование в землеустройстве и кадастре // Вестник молодеж. науки Алтайского государственного аграрного университета : сб. науч. тр.. – Барнаул : РИО Алтайского ГАУ, 2020. – № 1. – С. 190–193.
15. Raper J. F. Key 3D modelling concepts for geoscientific analysis / A. K. Turner (Ed.) // Three-dimensional Modeling with Geoscientific Information Systems (Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop, Santa Barbara, California, USA). – Springer, 1989. – P. 215–232.
16. Вахрушева А. А. Трехмерное моделирование в наземной навигации // Инженерная графика и трехмерное моделирование. Молодеж. науч.-практ. конф. : сб. науч. докладов (16 декабря 2016 г., Новосибирск). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – С. 29–31.
17. Лисицкий Д. В., Бугаков П. Ю. Методические основы цифрового трехмерного картографирования // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 6. – С. 37–42.
18. Нурмухаметова А. Т. Трехмерное моделирование в геодезии // Инженерная графика и трехмерное моделирование. Молодеж. науч.-практ. конф. : сб. науч. докладов (16 декабря 2016 г., Новосибирск). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – С. 76–81.
19. MacEachren A. M., Kraak M. J. Research challenges in geovisualization // Cartography and Geographic Information Science. – 2001. – № 28 (1). – P. 3–12.
20. Kraak M. J. Current trends in visualisation of geospatial data with special reference to cartography // Proceedings of the XXII Indian National Cartographic Association (INCA) International congress. – Ahmedabad, India, 2002. – P. 319–324.
21. Döllner J. Non-Photorealistic 3D Geovisualization / W. Cartwright, M. P. Peterson, G. Gartner (Eds.) // Multimedia Cartography (2nd ed.). – Springer, 2007. – P. 229–239.
22. Durand F. An Invitation to Discuss Computer Depiction // Proceedings of the 2nd International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering (NPAR). – Annecy, France, 2002. – P. 111–124.
23. КБ Панорама. Специализированные ГИС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gis-info.ru/products/products_special.htm.
24. Germs R., Van Maren G., Verbree E., Jansen F. W. A multi-view VR interface for 3D GIS // Computers & Graphics. – 1999. – № 23 (4). – P. 497–506.
25. Terribilini A. Maps in transition : Development of interactive vector-based topographic 3D-maps // Proceedings of the 18th ICA/ACI International Cartographic Conference. – Ottawa, 1999.
26. Kraak M. J. Visual exploration of virtual environments / D. Unwin, P. Fisher (Eds.) // Virtual reality in Geography. – New York : Taylor & Francis, 2002. – P. 58–67.
27. Lin H., Zhu Q. Virtual Geographic Environments / S. Zlatanova S., D. Prospero (Eds.) // Large-scale 3D Data Integration : Challenges and Opportunities. – CRC Press, 2006. – P. 211–232.

Получено 23.11.2020

© В. А. Латкин, 2021

THREE-DIMENSIONAL TERRAIN MAPPING

Vadim A. Latkin

Altai State Agricultural University, 98, Krasnoarmeisky Prospect St., Barnaul, 656049, Russia, Ph. D. Student, Department of Geodesy, Physics and Engineering Structures, phone: (923)722-97-65, e-mail: latkinvadim@mail.ru

The article discusses new ideas in the field of three-dimensional representation of geographical space. 3D-mapping is defined as the most effective way to display the surrounding area. In particular, the advantages of three-dimensional maps in comparison with two-dimensional analogues are given, the current state of the field of 3D-representation is analyzed, and two approaches are identified: cartography and geovisualization. The technique of 3D-mapping, as well as various existing graphical environments for creating 3D-maps, and a comparative analysis of their capabilities are considered. For practical work, a graphic editor based on the game engine was selected with a justification for its use and a description of its functional features. The creation of a three-dimensional map of the area is implemented, the results are presented as illustrations of real and simulated territory. Potential applications of the 3D-map in various fields of activity are identified.

Keywords: geospace, digital three-dimensional terrain model, three-dimensional map, 3D-cartography, geovisualization, 3D-mapping factors, the process of creating a 3D-map, specialized geographic information systems (GIS), game engine Prism3D, graphic editor

REFERENCES

1. Kraak, M. J., & Brown, A. (Eds.). (2001). Cartographic principles. In *Web Cartography: Developments and Prospects* (pp. 53–72). CRC Press.
2. Akhmedov, B. N. (2016). Construction of digital three-dimensional models of geospace. In *Sbornik nauchnykh dokladov molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Inzhenernaya grafika i trekhmernoe modelirovanie [Proceedings of Youth Scientific and Practical Conference: Engineering Graphics and Three-Dimensional Modeling]* (pp. 9–13). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
3. Goralski, R. (2009). *Three-dimensional interactive maps: Theory and practice*. Glamorgan/Morgannwg: University of Glamorgan/Prifysgol Morgannwg, P. 313.
4. Grishchenko, D. V., & Kobetskaya, A. V. (2016). 3D cartography: advantages, methods, tools. In *Sbornik nauchnykh dokladov molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Inzhenernaya grafika i trekhmernoe modelirovanie [Proceedings of Youth Scientific and Practical Conference: Engineering Graphics and Three-Dimensional Modeling]* (pp. 40–46). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
5. Dorling, D., & Fairbairn, D. (1997). *Mapping: Ways of Representing the World*. Longman, P. 184.
6. Bugakov, P. Yu. (2012). Methods of creating perspective maps based on 3D terrain models. *Candidate's thesis*. Novosibirsk [in Russian].
7. Sladkopevtsev, S. A. (2016). Cartography at the turn of the century. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 1, 56–62 [in Russian].
8. Komedchikov, N. N., & Lyuty, A. A. (1995). *Ekologiya Rossii v kartakh [Ecology of Russia in maps]*. Moscow: Institute of Geography RAS Publ., 559 p. [in Russian].
9. Nguen An Taj. (2015). Cartographic method of 2-dimension map transformation into 3 – dimension map with the help of GIS-technology. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 3(31), 87–97 [in Russian].
10. Stepanova, L. A., & Smirnova, I. I. (2013). 3D-modeling in the geoinformation system. *Programmnye produkty i sistemy [Software Products and Systems]*, 1, 122–125 [in Russian].
11. Pereira, A. G., Rinaudo, J.-D., Jeffrey, P., Blasques, J., Quintana, S. C., Courtois, N., Funtowicz, S., & Petit, V. (2003). ICT Tools to Support Public Participation in Water Resources Governance & Planning: Experiences from the Design and Testing of a Multi-Media Platform. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 5(3), 395–420.
12. Van Driel, N. J. (1989). Three dimensional display of geologic data. In *Three Dimensional Applications in Geographical Information Systems* (pp. 1–9). J. Raper (Ed.). CRC Press.
13. The world of ArcGIS. (n. d.). Cartography in three dimensions. Retrieved from <https://learn.arcgis.com/ru/arcgis-book/chapter6/>.
14. Latkin, V. A. (2020). Special mapping in land management and cadastre. *Vestnik molodezhnoy nauki Altayskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta [Bulletin of Youth Science of the Altai State Agrarian University]*, 1, 190–193 [in Russian].

15. Raper, J. F. (1989). Key 3D modelling concepts for geoscientific analysis. In *Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop: Three-dimensional Modeling with Geoscientific Information Systems* (pp. 215–232). A. K. Turner (Ed.). Santa Barbara, California, USA: Springer.
16. Vakhrusheva, A. A. (2017). Three-dimensional modeling in ground navigation. In *Sbornik nauchnykh dokladov molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Inzhenernaya grafika i trekhmernoe modelirovanie [Proceedings of Youth Scientific and Practical Conference: Engineering Graphics and Three-Dimensional Modeling]* (pp. 29–31). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
17. Lisitsky, D. V., & Bugakov, P. Yu. (2012). Methodological foundations of digital three-dimensional mapping. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 6, 37–42 [in Russian].
18. Nurmukhametova, A. T. (2017). Three-dimensional modeling in geodesy // Engineering graphics and three-dimensional modeling. In *Sbornik nauchnykh dokladov molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Inzhenernaya grafika i trekhmernoe modelirovanie [Proceedings of Youth Scientific and Practical Conference: Engineering Graphics and Three-Dimensional Modeling]* (pp. 76–81). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
19. MacEachren, A. M., & Kraak, M. J. (2001). Research challenges in geovisualization. *Cartography and Geographic Information Science*, 28(1), 3–12.
20. Kraak, M. J. (2002). Current trends in visualisation of geospatial data with special reference to cartography. *Proceedings of the XXII Indian National Cartographic Association (INCA) International Congress* (pp. 319–324). Ahmedabad, India.
21. Döllner J. Non-Photorealistic 3D Geovisualization / W. Cartwright, M. P. Peterson, G. Gartner (Eds.) // *Multimedia Cartography* (2nd ed.). – Springer, 2007. – P. 229–239.
22. Durand, F. (2002). An Invitation to Discuss Computer Depiction. *Proceedings of the 2nd International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering (NPAR)* (pp. 111–124). Annecy, France.
23. KB Panorama. (n. d.). Specialized GIS. Retrieved from https://gisinfo.ru/products/products_special.htm.
24. Germs, R., Van Maren, G., Verbree, E., & Jansen, F. W. (1999). A multi-view VR interface for 3D GIS. *Computers & Graphics*, 23(4), 497–506.
25. Terribilini, A. (1999). Maps in transition: Development of interactive vector-based topographic 3D-maps. *Proceedings of the 18th ICA/ACI International Cartographic Conference*. Ottawa.
26. Kraak, M. J. (2002). Visual exploration of virtual environments. In *Virtual Reality in Geography* (pp. 58–67). D. Unwin, P. Fisher (Eds.). New York: Taylor & Francis.
27. Lin, H., & Zhu, Q. (2006). Virtual Geographic Environments. In *Large-scale 3D Data Integration: Challenges and Opportunities* (pp. 211–232). S. Zlatanova S. D. & Prospero (Eds.). CRC Press.

Received 23.11.2020

© V. A. Latkin, 2021