

СОЗДАНИЕ АНАГЛИФИЧЕСКИХ КАРТ РЕЛЬЕФА В ГИС С ОТКРЫТЫМ ОБЪЕКТНЫМ КОДОМ

С.А. Тесленок, А.В. Заикин, А.А. Скурихин, А.А. Обрядин, У.С. Федосеева*

ЮГУ, г. Ханты-Мансийск, Россия

*teslenok-sa@mail.ru

Аннотация. На сегодняшний день никого не удивит 3D-технологиями, для пользователей стали обычными и привычными экраны мониторов с визуализацией в виде объемных 3D-изображений. Известно множество способов придания объема неподвижным и движущимся изображениям. Соответственно, чрезвычайно разнообразны по своей природе и технологии создания трехмерной графики, позволяющие моделировать виртуальные объекты и создавать изображения на их основе. При этом наиболее эффективны и характеризуются максимальной степенью наглядности разнообразные системы визуализации многочисленных объемных 3D-моделей (включая цифровые модели рельефа) с использованием стереоэффекта. Это определяет цель данной работы – изучить и проанализировать возможности и особенности создания анаглифических карт рельефа с использованием свободного программного обеспечения географических информационных систем с открытым объектным кодом. Объемные геоизображения рельефа создавались путем реализации анаглифического метода на примере территории Республики Мордовия. Актуальность представляемого исследования определяется, прежде всего тем, что активное и повсеместное внедрение различных вариантов 3D-геоизображений в нашу повседневную жизнь и практику научных исследований одновременно выявляет и наличие ряда проблем, так или иначе связанных с технологиями и средствами их получения и восприятия. Были изучены теоретические аспекты и современные способы создания анаглифических изображений рельефа с помощью различных ГИС-продуктов, выявлены их недостатки и преимущества. Результаты работы подтверждают возможность и доступность применения функционала ГИС с открытым объектным кодом для создания анаглифических геоизображений. С использованием возможностей функционала открытых ГИС SAGA и QGIS была получена серия карт-анаглифов рельефа на территорию Республики Мордовия. Результаты выполненных исследований, полученные данные и созданные авторские материалы подтверждают необходимость и определяют возможные пути совершенствования общей технологической схемы создания анаглифических карт и планов. Приведенные технологические схемы создания анаглифических геоизображений и полученные материалы могут быть использованы при организации и проведении дальнейших исследований особенностей рельефа Республики Мордовия.

Ключевые слова: 3D-изображения, геоизображения, анаглифический метод, анаглифы, стереопара, рельеф, картографическая визуализация, анаглифические карты, создание карт, ГИС, свободное и открытое программное обеспечение, SAGA, QGIS, Республика Мордовия.

CREATION OF ANAGLYPHIC RELIEF MAPS IN GIS WITH OPEN OBJECT CODE

S.A. Teslenok, A.V. Zaikin, A.A. Skurihin, A.A. Obryadin, U.S. Fedoseeva*

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

*teslenok-sa@mail.ru,

Abstract. To date, no one will be surprised by 3D technologies, for users, monitor screens with visualization in the form of three-dimensional 3D images have become common and familiar. There are many ways to add volume to still and moving images. Accordingly, technologies for creating three-dimensional graphics are extremely diverse in nature, allowing you to model virtual objects and create images based on them. At the same time, various visualization systems of numerous three-dimensional (3D) models (including digital terrain models (DEM)) using stereo effect are the most effective and characterized by the maximum degree of clarity. This

determines the purpose of this work – to study and analyze the possibilities and features of creating anaglyphic relief maps using free software for geographic information systems with open object code. Three-dimensional geo-images of the relief were created by implementing the anaglyphic method on the example of the territory of the Republic of Mordovia. The relevance of the presented research is determined primarily by the fact that the active and widespread introduction of various variants of 3D geo-images into our daily life and the practice of scientific research simultaneously reveals the presence of a number of problems related in one way or another to technologies and means of obtaining and perceiving them. The theoretical aspects and modern methods of creating anaglyphic relief images using various GIS products were studied, their disadvantages and advantages were revealed. The results of the work confirm the possibility and accessibility of using the GIS functionality with open object code to create anaglyphic geo-images. Using the functionality of the open GIS SAGA and QGIS, a series of relief anaglyph maps for the territory of the Republic of Mordovia was obtained. The results of the research performed, the data obtained and the author's materials created confirm the need and identify possible ways to improve the overall technological scheme for creating anaglyphic maps and plans. The given technological schemes for the creation of anaglyphic geo-images and the obtained materials can be used in organizing and conducting further studies of the features of the relief of the Republic of Mordovia.

Keywords: 3D images, geo-images, anaglyphic method, anaglyphs, stereogram, relief, cartographic visualization, anaglyphic maps, compilation of maps, GIS, free and open software, SAGA, QGIS, Republic of Mordovia.

Введение

На сегодняшний день уже никого не удивит 3D-технологиями, для пользователей стали обычными и привычными несколько типов выпускаемых производителями экранов мониторов, позволяющими визуализировать объемные 3D-изображения, давно и прочно вошедшие в нашу повседневную жизнь. Существует множество способов придать объем изображению, находящемуся и в неподвижном состоянии, и в движении. Технологии создания трехмерной графики, которые позволяют моделировать виртуальные объекты и создавать изображения на их основе, чрезвычайно разнообразны по своей природе [1, 2, 3, 4]. При этом наиболее эффективны и характеризуются максимальной степенью наглядности различные системы визуализации многочисленных объемных 3D-моделей (включая важнейшую для географии составную часть математико-картографического моделирования [5] – цифровое моделирование рельефа, как основной способ его представления в геоинформационном картографировании [6, 7, 8; 9, 10 и др.] и результат этого процесса – широко распространенные и имеющие важное практическое значение цифровые модели местности и рельефа [6, 7], дающие наиболее реалистичную картину изучаемой территории, визуализирующие трехмерность ее рельефа и геологического строения [11, 12]) с использованием стереоэффекта.

Это определяет цель данной работы – изучить и проанализировать возможности и особенности создания анаглифических карт рельефа с использованием свободного программного обеспечения географических информационных систем (ГИС) с открытым объектным кодом. В связи с этим, главный объект исследования – объемное (стерео, стереоскопическое, трехмерное, 3D, 3d) геоизображение рельефа территории Республики Мордовия, а предмет – особенности создания карт рельефа указанного региона путем реализации анаглифического метода с использованием ГИС с открытым объектным кодом.

Представляемая работа актуальна в связи с тем, что активное и повсеместное внедрение различных вариантов 3D-геоизображений в нашу повседневную жизнь и практику научных исследований одновременно выявляет и наличие ряда проблем, так или иначе связанных с технологиями и средствами их получения и восприятия. Кроме того, анаглифические геоизображения относят к новым видам цифровой картографической продукции [13, 14, 15, 16], широко применяемой, в том числе и для картографо-геоинформационного обеспечения устойчивого развития геосистем и территорий [17].

Материалы и методы исследования

Сейчас уже давно известны и находят очень широкое распространение и применение самые разные способы придания объема как неподвижному, так и движущемуся изображению на плоскости (как правило, экране компьютерного монитора). При этом анаглифический метод (от греч. «anaglyphos» – «рельефный») является одним из основных и имеющих наибольшее распространение способов получения изображений с объемным эффектом в 3D-формате (наряду с самым известным стереоскопическим) [3] и их последующего анализа, особенно – применительно к анализу цифровых моделей рельефа.

В случае использования традиционных стереоскопических изображений-анаглифов, получаемых на основе природной специфики бинокулярного человеческого зрения, соответствующий стереоэффект (объемность) формируется цветовым сдвигом двух изображений, полученных из двух пространственно разнесенных точек (принцип спектрального разделения цветов или цветовой сепарации).

Также, как и в других способах, для каждого глаза зрителя формируются отдельные картины и это – самый ранний по времени использования принцип стереоскопического 3D-эффекта и 3D-видео. Именно различие двух видов одной и той же территории или объекта при обязательном условии наличия параллакса (изменения видимого положения объекта относительно удаленного фона с учетом положения наблюдателя) и позволяет зрительной системе человека сгенерировать соответствующее стереоскопическое представление [3, 18, 19].

Наиболее простой и имевший исторически максимальное распространение вариант анаглифического метода предполагал съемку двумя камерами с получением двух изображений на основе цветной фильтрации (для левого и правого глаза человека). Далее эти полученные два изображения проецируются (выводятся) на экран двумя проекторами (левым и правым), снабженными светофильтрами красного и контрастного ему синего или зеленого (традиционно и чаще всего) (либо смешанного голубого или бирюзового) цветов [3, 4]. Таким образом, анаглиф создается наложением двух изображений анаглифической стереопары (левого и правого) в различных цветах, когда красное изображение предназначено для левого глаза, а синее – для правого.

Зритель просматривает полученное в результате проецирования изображение через специальные анаглифические очки со светофильтрами таких же цветов, но теперь установленными в обратном порядке (красный – справа, синий – слева, red / cyan). При этом (из-за эффекта бинокулярного смещения цветов) каждый глаз видит изображение только своей части стереопары. Вычитание одного цвета другим приводит к цветовому разделению изображений для левого и правого глаза (сепарация ракурсов) и восприятию отдельных изображений в качестве единого объемного (стереоскопического). Получение подобного стереоэффекта при этом имеет главный существенный недостаток – изображение является монохромным (однотонным черно-белым или ахроматическим). Утрата цветовой адекватности в процессе цветопередачи и определяет подобную непригодность метода анаглифов для сепарации цветных изображений.

Разделенные (сепарированные) при производстве съемки изображения с цветной фильтрацией (каждое – предназначенное для «своего» глаза), кроме проецирования на экран также могут печататься вместе как единое изображение на одну и ту же поверхность, но окрашиваются при этом в разные, дополнительные друг к другу цвета [20, 21]. Кроме того, в настоящее время использование методов компьютерной графики дает возможность формировать анаглифические изображения на дисплее и чаще всего обработка пары цветных или монохромных исходных изображений (черно-белая стереопара) осуществляется с использованием специализированных компьютерных графических программ, имитирующих эффект применения цветных светофильтров. Подобная процедура носит название микширования каналов и является разновидностью цифрового композитинга (смешивания).

Также важным преимуществом применения специализированного программного обеспечения, преодолевающим указанное нами ранее ограничение в отображении цветных стереопар,

является то, что с его использованием появляется возможность использования способов анаглифического кодирования, допускающих наличие цвета, причем с использованием как цветной, так и монохромной исходной стереопары. Еще в 70-х годах прошлого века С. Гибсон предложил к использованию патентованную систему очков «Дип вижн» (англ. «Deep Vision») с бирюзовыми фильтрами вместо традиционных зеленых, что дало возможность получить более приближенный к естественному и практически полный набор цветов видимого спектра. При этом в наименьшей степени искажается зеленый цвет, а в максимальной – красный, воспринимаемый почти черным [3, 19, 20].

Как видим, технологическая схема создания и использования анаглифических изображений предполагает последовательное выполнение трех групп действий: от получения пары изображений с параллактическим смещением, через применение к каждому созданному изображению цветового фильтра до последующего совмещения их в единую картину.

Результаты исследования

Все вышесказанное о анаглифах в полной мере относится и к картографическим изображениям. Соответственно, в картографии давно известен и широко применяется метод получения стереоскопических (стереофотограмметрических) моделей рельефа, работа с которыми возможна в процессе просмотра стереопары – двух смежных перекрывающихся аэрофотоснимков [10]. В случае, когда такие снимки напечатаны с использованием двух дополнительных цветов (например, красного и зеленого), речь идет уже об использовании анаглифического метода [21, 22]. В качестве стереопар могут быть использованы не только соседние аэрофотоизображения с частичным перекрытием, полученные из двух разнесенных в пространстве точек, но и аналогичные, снятые с подобным перекрытием с двух соседних трасс пары космических, а также наземных или подводных снимков.

В структуре современной картографии и в материалах, производимых в результате ее функционирования, ее продукции, сегодня ведущие позиции занимает геоинформационное картографирование [6, 7], практически реализуемое широко развитыми средствами современного программного обеспечения ГИС. В первую очередь это определяется широко представленными в современные ГИС огромными возможностями графической (преимущественно картографической) визуализации имеющих пространственную географическую привязку объектов, процессов, явлений, их цифровых моделей и информации (наряду с высокоразвитым цифровым инструментарием сбора, организации, хранения, обработки и анализа географических данных, а также средствами пространственного моделирования) [6, 7]. Их довольно серьезный недостаток – высокая трудоемкость работ – с лихвой восполняется главным преимуществом – качеством получаемых моделей [11, 12, 23]. Ну и, конечно, особого внимания заслуживает и дает значимые практические результаты интеграция трехмерного компьютерного моделирования и ГИС [7, 24, 25].

В связи с этим представляет теоретический и практический интерес определение возможностей создания и последующего анализа анаглифических карт (карт-анаглифов) с использованием программного обеспечения ГИС, а с учетом современных возможностей и особенностей применения зарубежного программного обеспечения в нашей стране – в ГИС с открытым объектным кодом (свободных, открытых) [26, 27]. Результатом подобной визуализации, применительно к цифровому моделированию рельефа и получаемым в его результате цифровым моделям, являются анаглифические карты (карта-анаглиф, анаглиф; англ. «Anaglyphic(al) map», «Anaglyph»). Они создаются методом цветных анаглифов, аналогично им и по указанной выше технологии, печатаются двумя взаимодополняющими (как правило, сине-зеленым и красным) цветами, с параллактическим смещением для образования стереопары изображений. Бинокулярный просмотр такого геоизображения через специальные очки с красным и сине-зеленым светофильтрами, как и в случае других, рассмотренных ранее видов анаглифов, дает для пользователя черно-белое стереоскопическое (объемное) изображение рельефа местности [28].

Работы по обработке технологии получения анаглифических изображений, выявлению возможностей их последующего анализа и применения полученных результатов выполнялись с использованием программные обеспечения бесплатных свободных ГИС с открытым исходным объектным кодом [26, 27, 29] SAGA [30] и QGIS [29, 31], обладающих большим набором нужных для работы функций и инструментов. Район исследования был представлен территорией в пределах границ Республики Мордовия. Вообще, конкретно для данного региона первый опыт применения ГИС с открытым исходным объектным кодом SAGA [30] и GRASS [32] относится еще к 2013 г. и в тот же период были получены и самые первые анаглифические карты и модели рельефа этой территории [11 и др.].

Работа по подготовке анаглифических карт начинается с подбора исходных данных. Поскольку целью исследования являлись изучение и анализ возможностей создания анаглифических карт рельефа, одним из главных источников при создании базы исходных данных на картографируемую территорию Республики Мордовия стал набор готовых векторных слоев цифровой географической основы [33], полученный с сайта Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ, или Институт Карпинского) [34]. Эти материалы представлены в достаточно подробном виде, включая детальные данные о рельефе и гидрографии на всю территорию Российской Федерации.

Для создания картографической базы данных на ту или иную территорию важно использовать не только векторные данные, но и растровые, например [35], так как эти оба типа цифровой картографической информации имеют как свои преимущества, так и недостатки, а в случае их совместного использования существенно улучшается качество выполняемой работы и получаемых результатов. На современном этапе технического развития программное обеспечение ГИС позволяет одновременно работать с обоими видами данных. Несмотря на все недостатки растровых данных, создание картографической базы данных без их использования невозможно, так как все ранее созданные аналоговые карты на первоначальном этапе переводятся в электронный формат путем растеризации (сканирования) традиционных бумажных исходников.

К растровым данным относят не только сканированные карты, но и широко используемые в настоящее время данные дистанционного зондирования Земли. Использование космических снимков обосновано тем, что информация, содержащаяся на них актуальна, а разрешение современных космоснимков достаточно велико, что так же положительно влияет на качество работы, существенно улучшая полученные результаты [36]. В данном исследовании дополнительно были использованы файлы, представленные на сайте CGIAR-CSI Consortium for Spatial Information [37] (рис. 1), предоставляющем данные SRTM [38].

Сейчас известны и широко используются большое число различных цифровых моделей, но при этом многие из них имеют различные недостатки, включая наличие разного рода искажений для территорий равнинных регионов, к которым относится и исследуемая территория, где ошибки высот превышали изменчивость топографии [39, 40].

После получения всех необходимых исходных данных о рельефе изучаемого региона производится их подготовка, и выбираются растровые изображения, на которых представлена территория Республики Мордовия [38] (рис. 2). Этот и все последующие этапы работы выполняются в рамках геоинформационных проектов, созданных в соответствующих ГИС-программах [41, 42].

Так как растровые изображения не представляют единого целого и разбединены, для удобства работы необходимо создать их общее изображение в виде мозаики растров. Для этого сначала создается набор растровых данных, а затем, с использованием соответствующих инструментов создания Мозаики, получается единое изображение в формате *.tif (рис. 3).

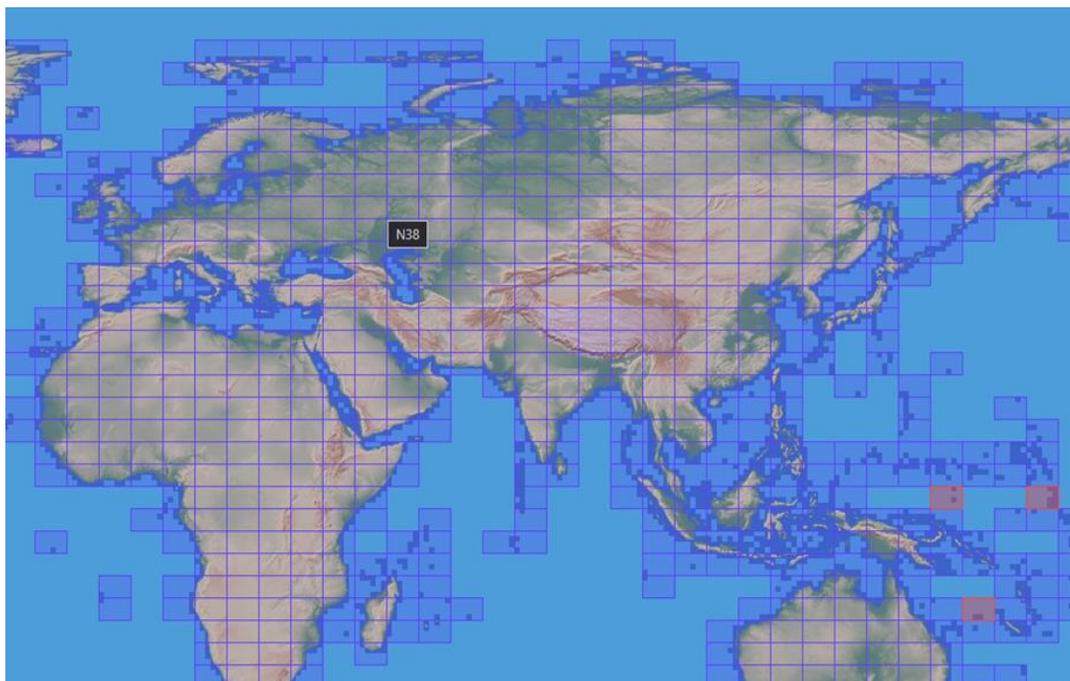


Рис. 1. Сайт CGIAR-CSI Consortium for Spatial Information
Fig. 1 Website of the CGIAR-CSI Spatial Information Consortium

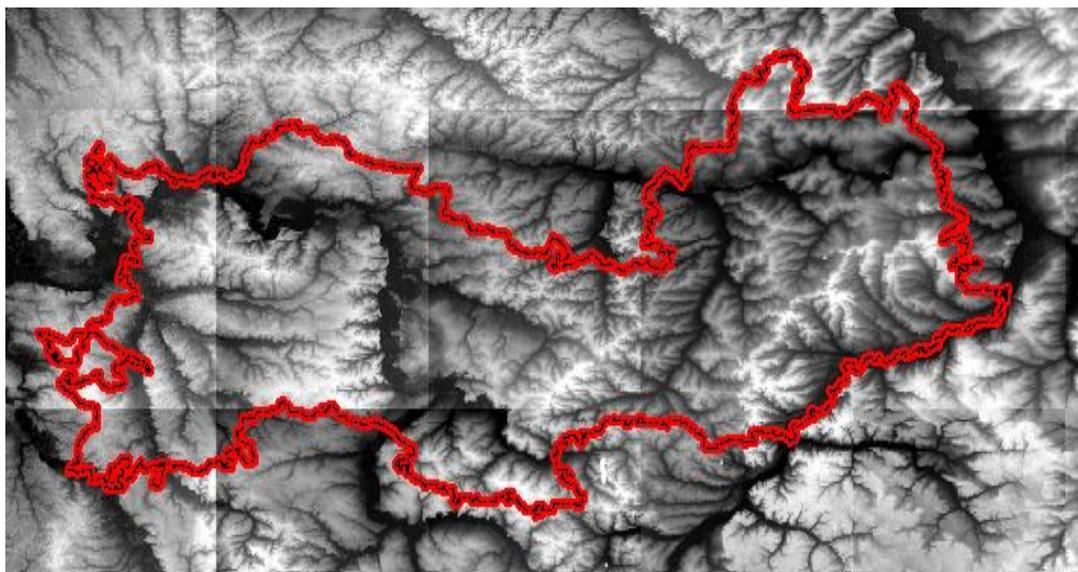


Рис. 2. Отдельные растровые изображения
Fig. 2 Individual bitmaps

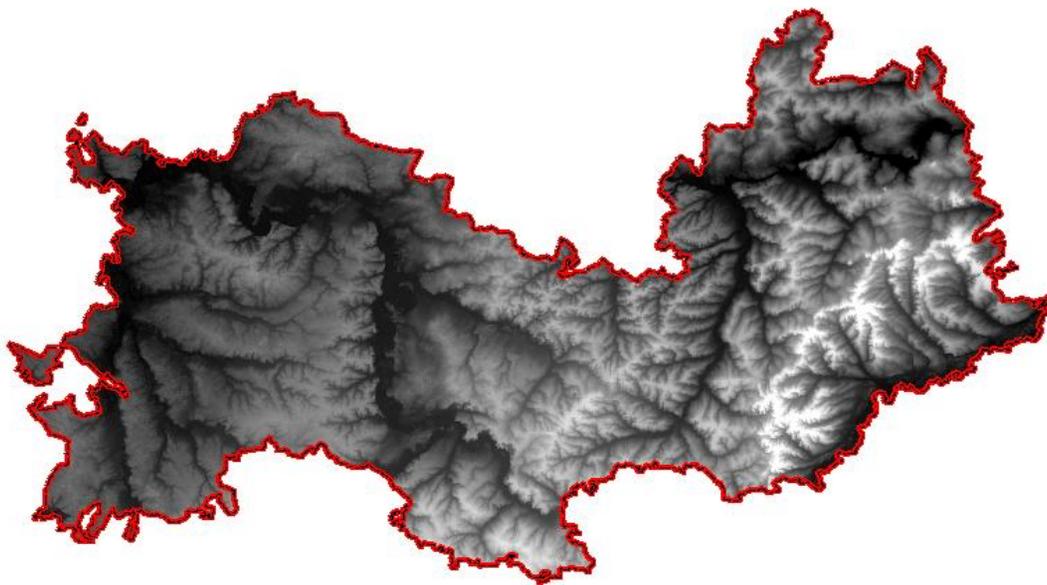


Рис. 3. Единое представление SRTM
Fig. 3 A single SRTM view

Для построения анаглифической карты рельефа в ГИС SAGA [30] после начала работы программы необходимо выполнить следующие этапы в технологической схеме действий.

1. Подгружается подготовленный ранее SRTM-файл в формате *.sgrd (рис. 4).
2. Загружается модуль «Show 3D – View».
3. В настройках устанавливается система координат и источник высот, а для получения более качественного отображения – изображение увеличивается.

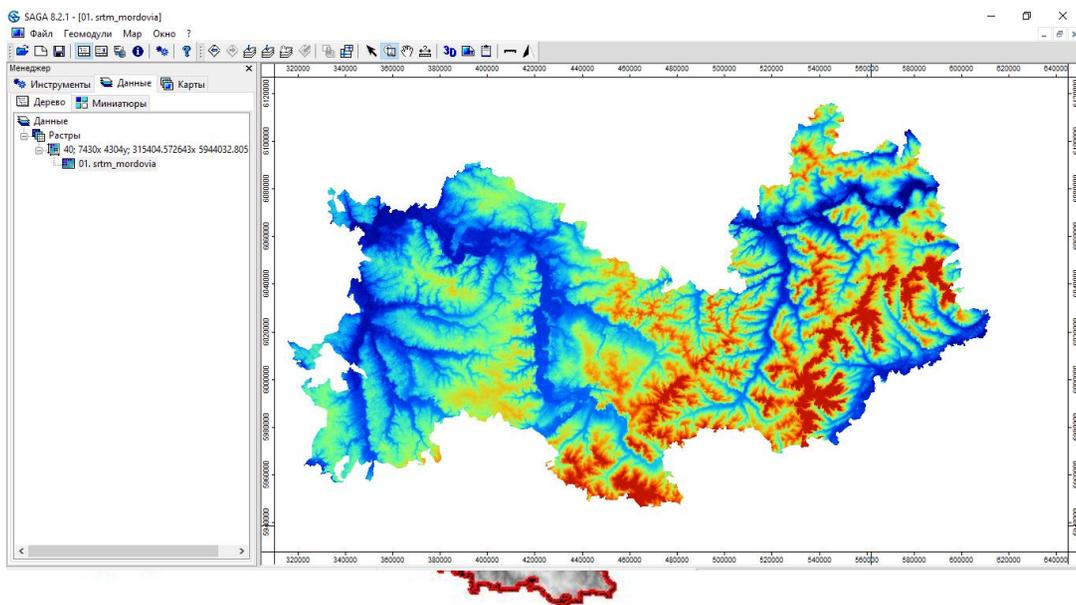


Рис. 4. Подгруженный SRTM-файл
Fig. 4 Uploaded SRTM file

4. Выбирается функция «Анаглиф» с помощью, которой формируется готовая стерео-модель рельефа, исследуемой территории (рис. 5).

Дополнительно разработка анаглифических геоизображений на основе цифровой модели рельефа возможна с использованием модулей *d.anaglyph* и / или *m.nviz.image* (NVIZ) [32].

Созданная в ГИС SAGA анаглифическая карта рельефа представлена на рис. 6.

Для построения анаглифической карты рельефа в ГИС QGIS после начала работы программы выполняется следующая технологическая последовательность действий.

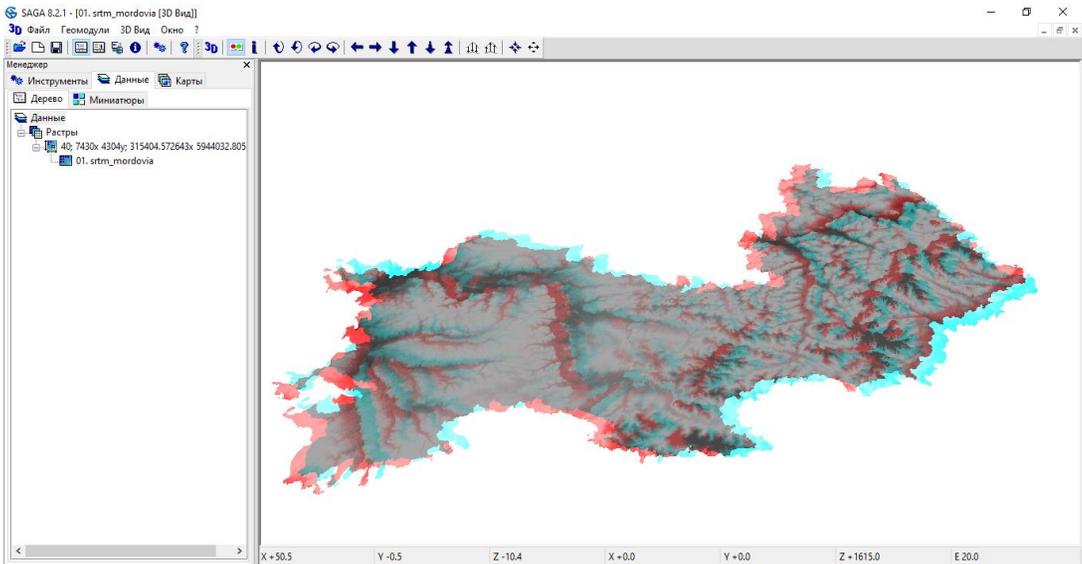


Рис. 5. Результат работы модуля «Анаглиф»

Fig. 5 The result of the “Anaglyph” module

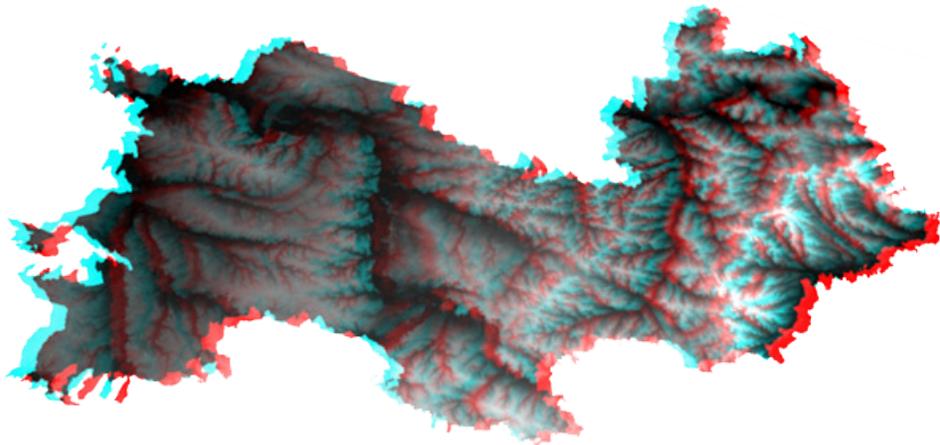


Рис. 6. Анаглифическое изображение рельефа территории Мордовии

Fig. 6 Anaglyphic image of the relief of the territory of Mordovia

1. Подгружаются и объединяются полученные ранее данные SRTM с получением единого растра.
2. Растр обрезается по маске анализируемой территории с получением результата, показанного на рис. 7.
3. В свойствах целевого слоя настраивается цветовая схема.
4. В режиме 3D-визуализации запускается просмотр анаглифического изображения.

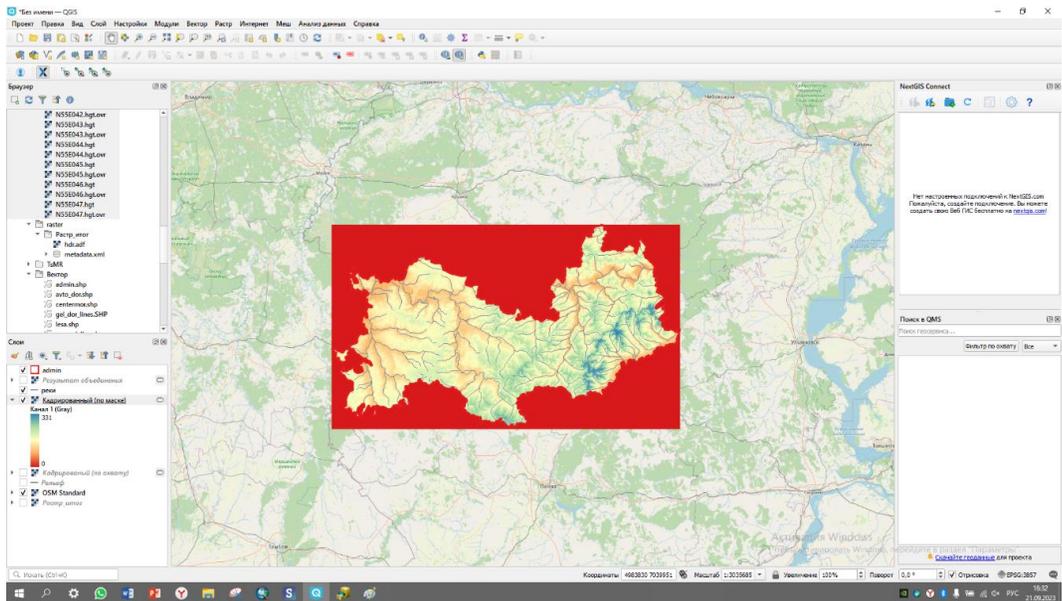
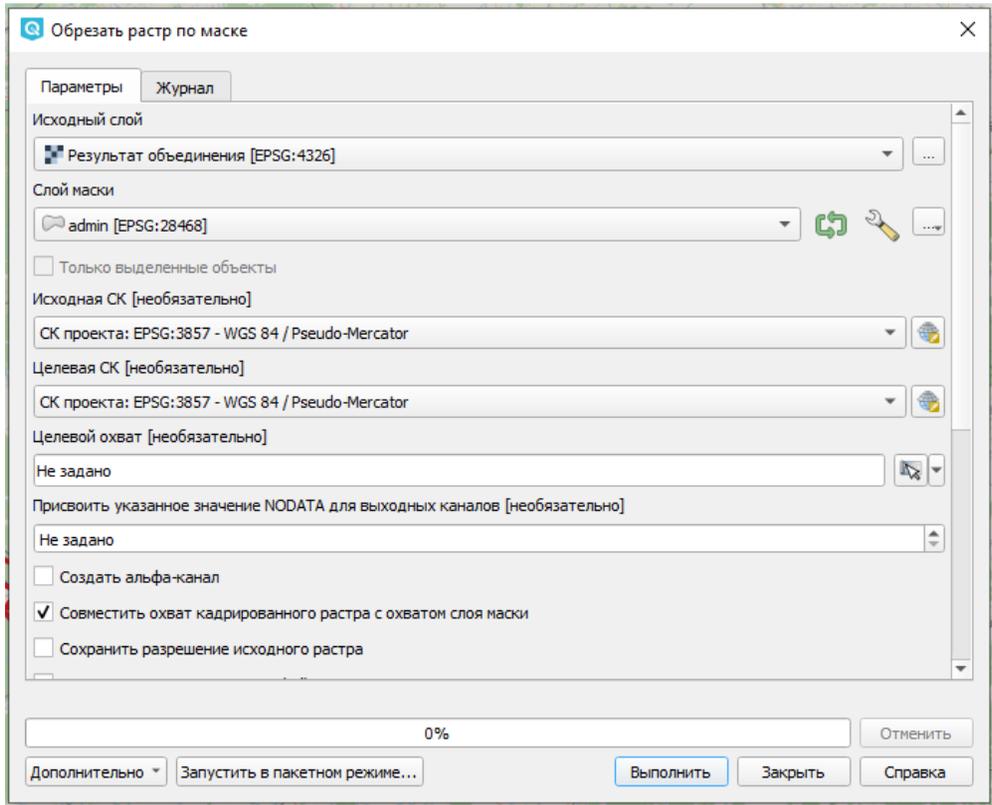


Рис. 7. Подготовка растра путем обрезки по маске
Fig. 7 Preparation of the raster by trimming by mask

5. Во вкладке 3D-визуализации свойств слоя с помощью ползунка настраивается качества изображения и светотеневой эффект (рис. 8).

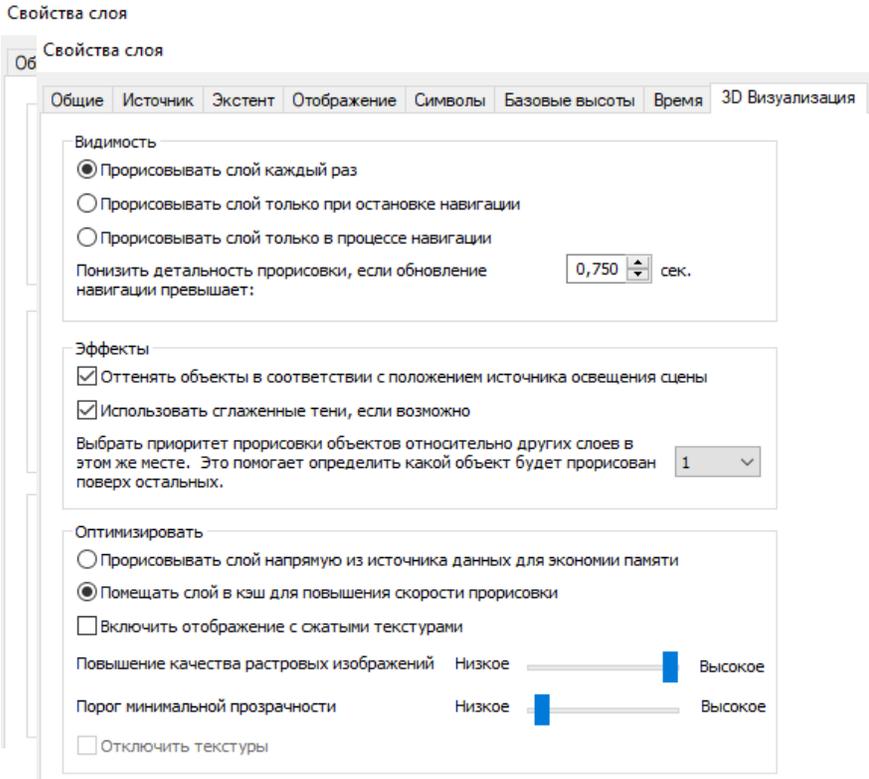


Рис. 8. Настройка 3D-визуализации

Fig. 8 Setting up 3D Visualization

Дополнительно возможно создание анаглифических геоизображений на основе цифровой модели рельефа с использованием модуля Orfeo Toolbox [31]. Созданная в ГИС QGIS анаглифическая карта рельефа представлена на рис. 9.

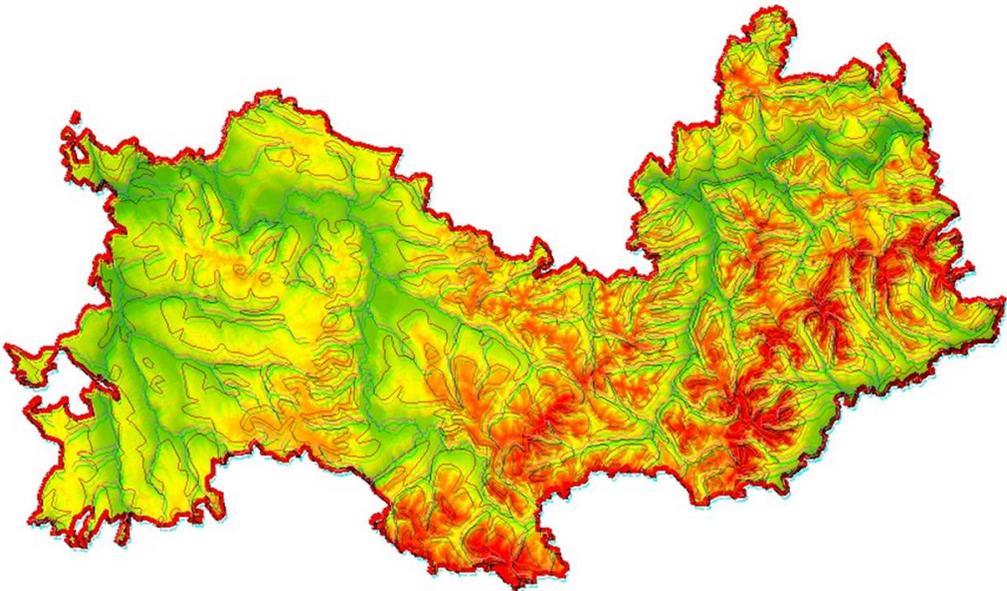


Рис. 9. Анаглифическое геоизображение рельефа территории Мордовии

Fig. 9 Anaglyphic image of the relief of the territory of Mordovia

Результатом данной работы является изучение теоретических аспектов, а также современных способов создания анаглифических изображений рельефа и их последующего анализа с помощью различных ГИС-продуктов, выявление их недостатков и преимуществ. Важное значение имеет анализ и выявление возможностей практического применения полученных результатов [8, 9, 11, 12, 15, 23, 26, 27, 43 и др.].

Заключение

Важнейшими достоинствами и преимуществами анаглифических карт являются сравнительная простота их получения, генерализованность изображений, возможности пространственной визуализации и визуального изучения объектов и их характеристик, по-другому представленных при их отображении в двумерном пространстве.

Рассмотренные и проанализированные технологии создания анаглифических геоизображений позволяют сэкономить значительные временные, трудовые и финансовые ресурсы, так как не требует крупных вложений и основаны на использовании общедоступной информации и бесплатного свободного программного обеспечения.

Важно, что нет необходимости постоянного использования ресурсов компьютерной техники и вычислительных сетей, а также дорогостоящего и сложного технического и программного обеспечения [43]. Рассмотренные технологии получения анаглифических геоизображений, основанные на принципе цветового сдвига, не нуждаются в использовании сложных и дорогих фотограмметрических технологий и оборудования [2, 10].

С использованием возможностей функционала открытых ГИС SAGA и QGIS была получена серия карт-анаглифов рельефа на территорию Республики Мордовия. Результаты выполненных исследований, полученные данные и созданные авторские материалы подтверждают необходимость и определяют возможности совершенствования общей технологической схемы создания анаглифических карт и планов.

По результатам проведенной работы были исследованы методы и определены способы анаглифического анализа, выявлено, что наиболее точную и актуальную информацию о рельефе на сегодняшний день можно получить, дополнительно используя данные SRTM, проведен сравнительный анализ двух ГИС-программ с открытым объектным кодом и задействованных алгоритмов получения анаглифических геоизображений.

Анаглифические карты и модели, полученные по предлагаемой авторами технологической схеме, с полным основанием могут быть признаны наиболее дешевым способом геопространственной визуализации стереоскопической информации о рельефе исследуемой территории.

Приведенные технологические схемы и полученные материалы могут быть использованы при организации и проведении дальнейших исследований особенностей рельефа территории не только Республики Мордовия, но и других регионов Российской Федерации.

Литература

1. Виртуальные географические среды / под ред. В.С. Тикунова. – Краснодар : Краснодарская панорама досуга, сор. 2015. – 351 с. – Текст : непосредственный.
2. Горобцов, С.Р. Трехмерное моделирование и визуализация городских территорий с использованием современных геодезических и программных средств / С.Р. Горобцов, А.В. Чернов // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23. – № 4. – С. 165-179. – Текст : непосредственный.
3. 3D теория. Обзор методов создания и просмотра стереоизображений. ООО «Триаксес Лайн», Россия, Калининград // ООО TRIAXES, 2017. – URL : <https://triaxes.com/docs/3DTheory-ru/3D1.html> (дата обращения: 04.07.2024). – Текст: электронный.
4. 3D видео – вредно ли для здоровья? // Ferra.ru. – URL : <https://www.ferra.ru/review/tv/107733.htm> (дата обращения: 04.07.2024). – Текст: электронный.
5. Жуков, В.Т. Математико-картографическое моделирование в географии / В.Т. Жуков, С.Н. Сербенюк, В.С. Тикунов. – Москва : Мысль, 1980. – 224 с. – Текст : непосредственный.

6. ГОСТ Р 50828-95. Геоинформационное картографирование. Пространственные данные, цифровые и электронные карты. Общие требования. – Москва : Госстандарт России, 1996. – 19 с. – Текст : непосредственный.
7. ГОСТ Р 52055-2003. Геоинформационное картографирование. Пространственные модели местности. Общие требования. – Москва : Издательство стандартов, 2003. – 8 с. – Текст : непосредственный.
8. Геоинформатика : в 2 кн. Кн. 1 : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др. / Под. ред. В.С. Тикунова. – Москва : Издательский центр «Академия», 2008. – 384 с. – Текст : непосредственный.
9. Лурье, И.К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков: учебник / И.К. Лурье. – Москва : КДУ, 2010. – 424 с. – Текст : непосредственный.
10. Новаковский, Б.А. Комплексное геоинформационно-фотограмметрическое моделирование рельефа: учебное пособие / Б.А. Новаковский, Р.В. Пермяков. – Москва : Изд-во МИИГАиК. – 2019. – 175 с. – Текст: непосредственный.
11. Тесленок, С.А. 3D моделирование рельефа Республики Мордовия / С.А. Тесленок, А.А. Чендырев, К.С. Тесленок // Геоинформационное картографирование в регионах России : мат-лы V Всерос. науч.-практ. конф. (Воронеж, 19-22 сент. 2013 г.). – Воронеж : Научная книга, 2013. – С. 161-166. – Текст : непосредственный.
12. Тесленок, С.А. Цифровое моделирование рельефа Республики Мордовия / С.А. Тесленок, В.Ф. Манухов, К.С. Тесленок // Геодезия и картография. – 2019. – № 7. – С. 30-38. DOI: 10.22389/0016-7126-2019-949-7-30-38. – Текст : непосредственный.
13. Кочуров, Б.И. Геоэкологическое картографирование: учеб. пособие для студентов высших. учебных заведений / Б.И. Кочуров, Д.Ю. Шишкина, А.В. Антипова, С.К. Костовска. – Москва : Издательский центр «Академия», 2012. – 224 с. – Текст : непосредственный.
14. Боков, В.А. Экологическое картографирование : учеб. пособие / В.А. Боков, Р.В. Горбунов, И.Г. Черванёв. – Симферополь : ИТ «АРИАЛ», 2016. – 238 с. – Текст : непосредственный.
15. Тесленок, С.А. Использование карт : учеб. пособие / С.А. Тесленок– Саранск : Изд-во Мордов. университета, 2021. – 97 с. – 2,66 Мб. – URL : https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010776558/?ysclid=Ireadffk9093221090 (дата обращения: 04.07.2024). – Текст: электронный.
16. Тесленок, С.А. Экологическое картографирование : учеб. пособие / С.А. Тесленок. – Саранск : Изд-во Мордов. университета, 2022. – 141 с. – 1,33 Мб. – URL : <http://catalog.inforeg.ru/Inet/GetEzineByID/338160> (дата обращения: 04.07.2024). – Текст: электронный.
17. Тикунов, В.С. Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение / В.С. Тикунов, Д.А. Цапук. – Москва, Смоленск: Изд-во СГУ, 1999. – 176 с. – Текст : непосредственный.
18. Востокова, А.В. Оформление карт. Компьютерный дизайн: учебник / А.В. Востокова, С.М. Кошель, Л.А. Ушакова. – Москва : Аспект Пресс, 2002. – 288 с. – Текст : непосредственный.
19. ГрафиКон'2014 : 24-я Международная конференция по компьютерной графике и зрению : Ростов-на-Дону, Академия архитектуры и искусств, Институт механики, математики и компьютерных наук, Южный федеральный университет, 2014. Труды конференции. – Ростов-на-Дону, 2014. – 85 с. – URL : <https://www.graphicon.ru/html/2014/Proceedings.pdf> (дата обращения : 04.07.24). – Текст: электронный.
20. Рожков, С.Н. Стереоскопия в кино, фото, видеотехнике. Терминологический словарь / С.Н. Рожков, Н.А. Овсянникова. – Москва : «Парадиз». – 2003. – 136 с. – Текст : непосредственный.
21. Андрухина, Ю.Н. Исследование возможности использования современных методик 3D-печати при создании тактильных карт и планов / Ю.Н. Андрухина // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2019. – Т. 24. № 1. – С. 72-82. – Текст: непосредственный.
22. Анаглифический метод. – URL : https://geography_ru.academic.ru/289/анаглифический_метод (дата обращения : 04.07.24). – Текст: электронный.
23. Тесленок, К.С. Возможности использования цифровых моделей рельефа в управлении земельными ресурсами региона / К.С. Тесленок, С.А. Тесленок. // Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». – 2014. – Т. 20. – С. 358-370. – DOI: 10.24057/2414-9179-2014-1-20-358-370. – Текст: непосредственный.

24. Гусев, И.А. Об опыте интеграции трехмерного компьютерного моделирования и ГИС / И.А. Гусев, Н.Г. Ивлиева. // Картография и геодезия в современном мире: мат-лы 2-й Всерос. науч.-практ. конф., Саранск, 8 апр. 2014 г. – Саранск : Изд-во Мордов. университета. – 2014. – С. 193-197. – Текст: непосредственный.
25. Ивлиева, Н.Г. Интеграция 3D-моделирования и ГИС / Н.Г. Ивлиева, В.Ф. Манухов // Научные труды КубГТУ: мат-лы XX Междунар. науч.-практ. конф. «Инновационные процессы в высшей школе». – 2014. – № 4. – URL : <http://ntk.kubstu.ru/> (дата обращения : 04.07.24). – Текст: электронный.
26. Малахова, О.Е. Компьютерное проектирование и моделирование общественных мест городских территорий / О.Е. Малахова, И.А. Семина, С.А. Тесленок, Л.Н. Фоломейкина. // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. Москва : Географический факультет МГУ. – 2023. – Т. 29. – Ч. 2. – С. 471-491. – DOI 10.35595/2414-9179-2023-2-29-471-491. – Текст: непосредственный.
27. Семина, И.А. Геоинформационные технологии компьютерного проектирования общественных мест городских территорий: проблемы и опыт (на примере г. Саранска) / И.А. Семина, О.Е. Малахова, С.А. Тесленок, Н.В. Яковенко. // Геоинформатика. – 2023. – № 4. – С. 15-28. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-4-15-28>. – Текст: непосредственный.
28. ГОСТ 21667-76 Картография. Термины и определения. – Москва : Издательство стандартов, 2002. – 40 с. – Текст : непосредственный.
29. Бесплатные геоинформационные решения QGIS и NextGIS // Хабр. – URL : <https://habr.com/ru/articles/321710/> (дата обращения : 04.07.24). – Текст: электронный.
30. SAGA – System for Automated Geoscientific Analyses. – URL : <https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html> (дата обращения : 04.07.24). – Текст: электронный.
31. QGIS – URL : <https://qgis.org/ru/site/> (дата обращения : 04.07.24). – Текст: электронный.
32. GRASS GIS – URL : <https://grass.osgeo.org/> (дата обращения : 04.07.24). – Текст: электронный.
33. Цифровая географическая основа. – URL : <https://geologyscience.ru/dgb/> (дата обращения 04.07.24). – Текст: электронный.
34. Научно-исследовательский геологический институт. – URL : <https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/> (дата обращения 04.07.24). – Текст: электронный.
35. Каталог растров (Георастры, БД Госгеолкарт). – URL : <https://webmapget.vsegei.ru/> (дата обращения 04.07.24). – Текст: электронный.
36. Коротин, А.С. Восстановление трехмерных моделей рельефа местности на основе материалов дистанционного зондирования Земли / А.С. Коротин, Е.В. Попов // Приволжский научный журнал. – Нижний Новгород : ННГАСУ. – 2014. – № 2 (30). – С. 29-34. – Текст: непосредственный.
37. CGIAR CSI. Consortium for Spatial Information – URL : <https://csidotinfo.wordpress.com/> (дата обращения 04.07.24). – Текст: электронный.
38. SRTM Data // CGIAR. Consortium for Spatial Information (CGIAR – CSI). – URL : <https://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/> (дата обращения: 04.07.24). – Текст: электронный.
39. Yamazaki, D. A high accuracy map of global terrain elevations / D. Yamazaki, D. Ikeshima, R. Tawatari, T. Yamaguchi, F. O’Loughlin, J.C. Neal, C.C. Sampson, S. Kanae, P.D. Bates. // Geophysical Research Letters. – 2017. – Vol. 44, Is. 11. – P. 5844-5853. DOI 10.1002/2017GL072874. – Текст: непосредственный.
40. Обутов, К.А. Автоматизация определения границ речных бассейнов малых рек на примере Хангаласского района РС (Я) / К.А. Обутов, Ю.Г. Данилов // Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле». – 2024. – № 2 (34). – С. 60-67. <https://doi.org/10.25587/2587-8751-2024-2-60-67>. – Текст: электронный.
41. Тесленок, К.С. Программы для создания 3D-моделей населенных пунктов / К.С. Тесленок. // Природно-социально-производственные системы регионов компактного проживания финно-угорских народов. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2011. – С. 310-312. – Текст: непосредственный.
42. Тесленок, К.С. Создание геоинформационного проекта и его использование в целях развития хозяйственных систем / К.С. Тесленок // Геоинформационное картографирование в регионах России: материалы VII Всерос. науч.-практ. конф. (Воронеж, 10-12 дек. 2015 г.). – Воронеж : Научная книга, 2015. – С. 134-138. – Текст : непосредственный.

43. Коротин, А. Формирование и использование изображений-анаглифов трехмерных моделей местности для рационального природопользования речных бассейнов / А. Коротин, Е. Попов. // Графикон'2014. Труды конференции. Академия архитектуры и искусств, Институт механики, математики и компьютерных наук, Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону, 2014. – С. 13-16. – Текст : непосредственный.

References

1. Virtual geographic environments Krasnodar: Krasnodar panorama of leisure, cop. 2015. – 351 s. – Text : direct.
2. Gorobtsov, S.R. Three-dimensional modeling and visualization of urban areas using modern geodetic and software tools / S.R. Gorobtsov, A.V. Chernov // Bulletin of SGUGiT. – 2018. – Т. 23. – № 4. – С. 165-179. – Text: direct.
3. 3D theory. An overview of methods for creating and viewing stereo images. Triak-ses Line LLC, Kaliningrad, Russia // TRIAXES LLC, 2017. – URL : <https://triauxes.com/docs/3DTheory-ru/3D1.html> / (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
4. 3D видео – вредно ли для здоровья? // Ferra.ru. – URL : <https://www.ferra.ru/review/tv/107733.htm> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
5. Zhukov V.T. Mathematical and cartographic modelling in geography / V.T. Zhukov, S.N. Serbenyuk, V.S. Tikunov. Text : original – Moscow: Mysl', 1980. – 224 s. – Text : direct.
6. GOST R 50828-95. Geoinformation mapping. Spatial data, digital and electronic maps. General requirements. – Moscow : Gosstandart of Russia, 1996. – 19 s. – Text : direct.
7. GOST R 52055-2003. Geoinformation mapping. Spatial models of the area. General requirements. – Moscow: Publishing House of Standards, 2003. – 8 s. – Text : direct.
8. Geoinformatics : in 2 books. Book 1 : textbook for students. higher. studies. institutions / E.G. Kapralov, A.V. Koshkarev, V.S. Tikunov, etc. / Edited by V.S. Tikunov. – Moscow: Publishing center “Academy”, 2008. – 384 s.
9. Lurie, I.K. Geoinformation mapping. Methods of geoinformatics and digital processing of satellite images: textbook / I.K. Lurie. – Moscow: KDU, 2010. – 424 p. – Text : direct.
10. Novakovskiy, B.A. Complex geoinformation-photogrammetric modeling of relief: a textbook / B.A. Novakovskiy, R.V. Permyakov.– Moscow : Publishing house of MIIGAiK. – 2019. – 175 s. – Text : direct.
11. Teslenok, S.A. 3D modeling of the relief of the Republic of Mordovia / S.A. Teslenok, A.A. Chentyrev, K.S. Teslenok // Geoinformation mapping in the regions of Russia : materials of the V All-Russian Scientific and Practical Conference (Voronezh, September 19-22, 2013). – Voronezh : Scientific Book, 2013. – S. 161-166. – Text : direct.
12. Teslenok S.A. Digital modeling of the relief of the Republic of Mordovia / S.A. Teslenok, V.F. Manukhov, K.S. Teslenok. Text : original // Geodesy and cartography. – 2019. – № 7. – С. 30-38. – Text : direct.
13. Kochurov B.I. Geoeological mapping: textbook a manual for higher education students. educational institutions / B.I. Kochurov, D.Yu. Shishkina, A.V. Antipova, S.K. Kostovska. Text : original. – Moscow: Publishing center “Academy”, 2012. – 224 s. – Text : direct.
14. Bokov, V.A. Ecological mapping : textbook. handbook / V.A. Bokov, R.V. Gorbunov, I.G. Chervanov. – Simferopol : IT “ARIAL”, 2016. – 238 s. – Text : direct.
15. Teslenok S.A. The use of maps: studies / S.A. Teslenok. – Saransk: Publishing house of Mordovian university, 2021. – 97 s. – 2.66 Mb. – URL : https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010776558/?ysclid=lpheadffk9093221090 (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
16. Teslenok S.A. Ecological mapping: textbook / S.A. Teslenok. – Saransk: Publishing House of Mordovian university, 2022. – 141 s. – 1.33 Mb. – URL : <http://catalog.inforeg.ru/Inet/GetEzineByID/338160> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
17. Tikunov V.S., Tsapuk D.A. Sustainable development of territories: cartographic and geoinformation support / V.S. Tikunov, D.A. Tsapuk. – Moscow, Smolensk : Publishing House of SSU, 1999. – 176 s. – Text : direct.

18. Vostokova, A.V. The design of maps. Computer design: textbook / A.V. Vostokova, S.M. Koshel, L.A. Ushakova. – Moscow : Aspect Press, 2002. – 288 p. – Text: direct.
19. GraphiCon'2014 : 24th International Conference on Computer Graphics and Vision : Rostov-on-Don, Academy of Architecture and Arts, Institute of Mechanics, Mathematics and Computer Sciences, Southern Federal University, 2014. Proceedings of the conference. – Rostov-on-Don, 2014. – 85 s. – URL : <https://www.graphicon.ru/html/2014/Proceedings.pdf> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
20. Rozhkov, S.N. Stereoscopy in cinema, photography, and video technology. Terminological dictionary / S.N. Rozhkov, N.A. Ovsyannikova. – Moscow : “Paradise”. – 2003. – 136 s. – Text : direct.
21. Andriukhina, Yu.N. Investigation of the possibility of using modern 3D printing techniques in creating tactile maps and plans / Yu.N. Andriukhina // Bulletin of SGUGiT (Siberian State University of Geosystems and Technologies). – 2019. – T. 24. № 1. – S. 72-82. – Text : direct.
22. The anaglyphic method. – URL : https://geography_ru.academic.ru/289/анаглифический_метод (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
23. Teslenok, K.S. Possibility of using Digital Terrain Models for Land Management in the Region / K.S. Teslenok, S.A. Teslenok // Proceedings of the International conference “InterCarto. InterGIS”. – 2014. – T. 20. – S. 358-370. – DOI 10.24057/2414-9179-2014-1-20-358-370. – Text : direct.
24. Gusev, I.A. On the experience of integrating three-dimensional computer modeling and GIS / I.A. Gusev, N.G. Ivlieva // Cartography and geodesy in the modern world: materials of the 2nd All-Russian Scientific and Practical Conference, Saransk, April 8, 2014 – Saransk: Publishing House of Mordovia. unta. – 2014. – S. 193-197. – Text: direct.
25. Ivlieva, N.G. Integration of 3D modeling and GIS / N.G. Ivlieva, V.F. Manukhov // Scientific works of KubSTU: materials of the XX International Scientific and Practical Conference «Innovation processes in higher education». – 2014. – № 4. – URL : <http://ntk.kubstu.ru/> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
26. Malakhova O.E. Computer design and modeling public places of urban areas / O.E. Malakhova, I.A. Semina, S.A. Teslenok, L.N. Folomeikina // InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow : Faculty of Geography of Moscow State University. – 2023. – T. 29. – Ch. 2. – S. 471-491. –DOI 10.35595/2414-9179-2023-2-29-471-491. – Text : direct.
27. Semina I.A. Geoinformation technologies for computer-aided design of public places in urban areas: problems and experience (on the example of Saransk) / I.A. Semina, O.E. Malakhova, S.A. Teslenok, N.V. Yakovenko // Geoinformatics. – 2023. – № 4. – S. 15-28. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-4-15-28>. – Text : direct.
28. GOST 21667-76 Cartography. Terms and definitions. – Moscow : Publishing House of Standards, 2002. – 40 s. – Text : direct.
29. Free geoinformation solutions QGIS and NextGIS // Habr. – URL : <https://habr.com/ru/articles/321710/> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
30. SAGA – System for Automated Geoscientific Analyses. – URL : <https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
31. QGIS – URL : <https://qgis.org/ru/site/> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
32. GRASS GIS – URL : <https://grass.osgeo.org/> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
33. Digital geographical basis. – URL : <https://geologyscience.ru/dgb/> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
34. Scientific Research Geological Institute. – URL : <https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
35. Catalog of rasters (Georasters, Gosgeolcart database). – URL : <https://webmapget.vsegei.ru/> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
36. Korotin, A.S. Restoration of three-dimensional terrain models based on materials of remote sensing of the Earth / A.S. Korotin, E.V. Popov. – Text: direct // Volga Scientific Journal. – Nizhny Novgorod: NNGASU. – 2014. – № 2 (30). – Pp. 29-34.37. CGIAR CSI. Consortium for Spatial Information. – URL : <https://csidotinfo.wordpress.com/> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.

38. SRTM Data // CGIAR. Consortium for Spatial Information (CGIAR – CSI). – URL: <https://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
39. Yamazaki, D. A high accuracy map of global terrain elevations / D. Yamazaki, D. Ikeshima, R. Tawatari, T. Yamaguchi, F. O’Loughlin, J.C. Neal, C.C. Sampson, S. Kanae, P.D. Bates. Text : original // Geophysical Research Letters. – 2017. – Vol. 44, Is. 11. – P. 5844-5853. DOI: 10.1002/2017GL072874. – Text : direct.
40. Obutov, K.A. Automation of Determining the Boundaries of river basins of small rivers: The Case of Khangalassky district, Sakha Republic (Yakutia) / K.A. Obutov, Yu.G. Danilov // Vestnik of North-Eastern Federal University Series «Earth Sciences». – 2024. – № 2 (34). – S. 60-67. <https://doi.org/10.25587/2587-8751-2024-2-60-67>. – Text : electronic.
41. Teslenok, K.S. Programs for the creation of 3 D-models of settlements / K.S. Teslenok // Natural-socio-production systems of the regions of compact residence of Finno-the Ugric peoples. – Saransk: Publishing House of Mordovians. un-t, 2011. – S. 310-312. – Text: direct/
42. Teslenok, K.S. Creation of a geoinformation project and its use for the development of economic systems / K.S. Teslenok. // Geo-information mapping in the regions of Russia: materials of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference (Voronezh, 10-12 Dec. 2015). – Voronezh: Scientific Book, 2015. – pp. 134-138. – Text: direct.
43. Korotin, A. Formation and use of anaglyph images of three-dimensional terrain models for rational nature management of river basins / A. Korotin, E. Popov. – Text: electronic // Graphicon’2014. Proceedings of the conference. Academy of Architecture and Arts, Institute of Mechanics, Mathematics and Computer Sciences, Southern Federal University. – Rostov-on-Don, 2014. – pp. 13-16. – Text: direct.

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по организации молодежной лаборатории в Югорском государственном университете (НИР 1022031100003-5-1.5.1) в рамках реализации национального проекта «Наука и университеты».

Сведения об авторах

ТЕСЛЕНОК Сергей Адамович – к.г.н., доцент Высшей экологической школы Югорского государственного университета, e-mail: teslenok-sa@mail.ru

TESLENOK Sergei – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Higher Ecological School, Yugra State University, e-mail: teslenok-sa@mail.ru

ЗАЙКИН Александр Васильевич – к.б.н., доцент Высшей экологической школы Югорского государственного университета, e-mail: zav20001@mail.ru

ZAIKIN Alexander – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Higher Ecological School, Yugra State University, e-mail: zav20001@mail.ru

СКУРИХИН Александр Александрович – аспирант Высшей экологической школы Югорского государственного университета, инженер лаборатории изучения пространственно-временной изменчивости углеродного баланса лесных и болотных экосистем средней тайги Западной Сибири Югорского государственного университета, e-mail: a.skurikhin98@mail.ru

SKURIHIN Alexandr – postgraduate student, Higher Ecological School, Yugra State University; engineer, Laboratory for studying the spatial and temporal variability of the carbon balance of forest and swamp ecosystems of the middle taiga of Western Siberia, Yugra State University, e-mail: a.skurikhin98@mail.ru

ОБРЯДИН Алексей Александрович – аспирант Высшей экологической школы Югорского государственного университета, e-mail: ob-aleks@mail.ru

ОБРЯДИН Alexey – postgraduate student, Higher Ecological School, Yugra State University, e-mail: ob-aleks@mail.ru

ФЕДОСЕЕВА Ульяна Сергеевна – магистрант Высшей экологической школы Югорского государственного университета, e-mail: fedoseeva.user@outlook.com

FEDOSEEVA Ulyana – Master’s student, Higher Ecological School, Yugra State University, e-mail: fedoseeva.user@outlook.com