

УДК 528.9:004

## СОЗДАНИЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ 3D-КАРТЫ

***Петр Юрьевич Бугаков***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плехотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных систем, тел. (383)343-18-53, e-mail: peter-bugakov@yandex.ru

***Елена Леонидовна Касьянова***

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

***Максим Владимирович Черкас***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плехотного, 10, аспирант кафедры картографии и геоинформатики, e-mail: cherkasmv@list.ru

Статья посвящена актуальной на сегодняшний день теме трехмерной графики в сфере картографии. Трехмерное моделирование помогает визуализировать объекты, что дает возможность потребителю лучше интерпретировать координированно привязанную информацию. Масштабное соответствие системы координат модели поверхности и размеров объектов помогает оценить такие детали, которые не доступны при рассмотрении местности на двумерной карте. В статье обосновывается необходимость создания и значимость геоморфологических карт (на примере территории полуострова Крым). Для лучшего восприятия геоморфологических элементов, тесно взаимосвязанных с рельефом, в качестве основы решено сначала создать 3D-модель рельефа полуострова, а потом на нее нанести геоморфологическое содержание. В статье кратко описан процесс составления карты: создан проект карты с указанием проекции; произведен импорт растровой карты Республики Крым в проект и выполнена его привязка по двум точкам с масштабированием; добавлены описания и графические представления новой семантики в классификатор слоев; выполнена оцифровка карты по растру; в проект добавлена матрица высот на территорию Республики Крым.

**Ключевые слова:** рельеф, геоморфология, 3D-модель, тематическое содержание, основа, масштаб, трехмерная графика, геоморфологические карты, морфологический облик рельефа.

В 2014 г. в политической жизни нашей страны произошло много значимых событий. Одно из них – проведение 16 марта 2014 г. референдума в Крыму (за воссоединение полуострова с Россией проголосовало 95,5 % участников). Уже 17 марта депутаты Верховного совета Крыма приняли постановление о независимости автономии. Новое государство тут же обратилось к Российской Федерации с просьбой о принятии в свой состав. 12 апреля 2014 г. официально в свою силу вступила Конституция Российской Федерации на территории Крыма.

Для России присоединение Крыма несет в себе множество положительных аспектов как в стратегическом, так и в экономическом плане. Состояние полуострова требует масштабной работы во многих сферах, в том числе в области геодезии и картографии. Требуется обновление всей картографической инфор-

мации, так как сбор и обработка геоданных на территорию полуострова проводились в семидесятые годы прошлого столетия.

Большое прикладное значение во многих отраслях промышленности и хозяйства получили геоморфологические исследования. Полная характеристика геоморфологических условий может быть получена только в том случае, если текст иллюстрирован геоморфологическими картами. Поэтому потребность в них очень велика и вопросы их оформления имеют большое значение.

Рельеф на географических картах является одним из важных элементов содержания, необходимо передать его характерные формы, типы, верно изобразить направление и крутизну скатов склонов, их расчлененность. Очень важно, чтобы были правильно отображены морфологический облик типов рельефа, его структурные особенности; наглядно переданы крупные формы рельефа по их протяженности, высоте, характеру и степени расчлененности, форме и профилю склонов; точно показано положение крупных форм рельефа, характерных линий и точек; верно отображен характер вертикального и горизонтального расчленения местности.

С древних времен рельеф на карте передавался различными способами. Существует несколько основных способов изображения рельефа на картах, применение которых определяется типом карты и ее назначением. Основными из этих способов являются: изображение штрихами (рис. 1, *а*), отмывкой (рис. 1, *б*), горизонталями (рис. 1, *в*), горизонталями с послойной окраской (гипсометрический способ) (рис. 1, *г*) [1], подписями высот и орографических объектов. Чаще всего на топографических и тематических картах используется сочетание нескольких способов (рис. 2). Все эти способы наглядно показывают формы рельефа, но не строение.

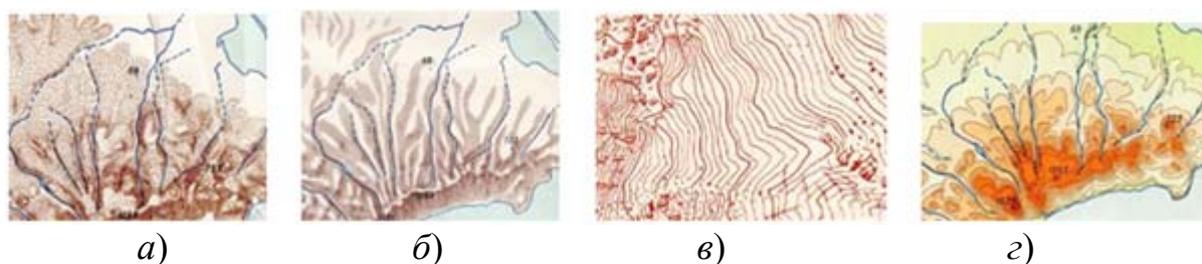


Рис. 1. Способы отображения рельефа:

а) штрихов; б) отмывки; в) изогипс (горизонталей); г) послойной окраски

Геоморфология – наука о рельефе, его внешнем облике, происхождении, истории развития, современной динамике и закономерностях географического распространения. Геоморфологи пытаются понять историю и динамику изменения рельефа и предсказывают будущие изменения, проводя полевые измерения, физические эксперименты и математическое моделирование. На практике

дисциплина непосредственно связана с географией, геологией, геодезией, археологией, почвоведением, планетологией, а также со строительством.



Рис. 2. Сочетание нескольких способов изображения рельефа: горизонталей, гипсометрической окраски, отмывки

Формы рельефа выделяют согласно их генезису и размеру. Рельеф формируется под влиянием эндогенных (тектонических движений, вулканизма и кристаллохимического разуплотнения вещества недр), экзогенных (денудация) и космогенных процессов.

Практическое применение геоморфологии состоит в инженерной оценке рельефа при строительстве, измерении влияния изменения климата, прогнозе и смягчении последствий катастрофических явлений (оползней, обвалов и др.), контроле за водообеспеченностью территорий, береговой защите.

Геоморфологические карты – карты, характеризующие рельеф земной поверхности по морфографии и морфометрии, по происхождению и возрасту, они передают генетическую характеристику форм современного рельефа, их морфометрию, морфологию и современные процессы рельефообразования. У этих карт сложная легенда с двумя входами: генезис и морфология. Легенды таксономические, в которых сначала даются крупные комплексы (равнины, горы), а в их пределах идет более детальное подразделение форм рельефа на группы типов и типы. При отображении происхождения рельефа отмечают его обусловленность различными эндогенными и экзогенными факторами [2]. Различают общие геоморфологические карты широкого (комплексного) содержания и частные, составляемые по отдельным признакам рельефа (морфометрическим, структурно-геоморфологическим и др.).

Общие геоморфологические карты, отвечающие запросам наиболее широкого круга потребителей, планомерно создаются на всю территорию Российской Федерации в процессе комплексной геологической съемки. Кроме того, различают специальные геоморфологические карты, предназначенные для решения специальных научных или хозяйственных задач (например, при поисках

месторождений определенных видов полезных ископаемых, при дорожном или гидротехническом строительстве и пр.).

Для характеристики рельефа дна океанов и морей составляют геоморфологические карты подводного рельефа, подразделяющиеся на общие, частные и специальные, которые в связи со слабой изученностью подводного рельефа и формирующих его процессов обычно составляются в мелких масштабах, поэтому обладают меньшей детальностью. Морфология, динамика и происхождение рельефа береговой зоны находят отображение на геоморфологических картах берегов.

Первые геоморфологические карты оформлялись в основном в черно-белом варианте по методу одноцветной штриховки.

Такой подход не обладает наглядностью изображения и не отражает полного содержания карты. Невозможно показать штрихами пластику рельефа, а также его типы и возраст (рис. 3).

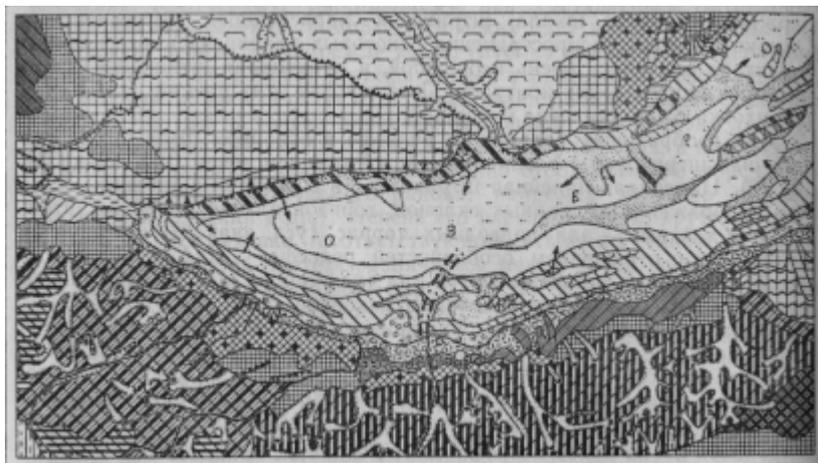


Рис. 3. Геоморфологическая карта, составленная по принципу одноцветной штриховки

Для оформления современных геоморфологических карт используют систему накладываемых друг на друга обозначений в виде цветного фона, штриховки, значков, изолиний, индексов (рис. 4).

По степени обобщения и способу отображения геоморфологических показателей различают геоморфологические карты синтетические и аналитические. На синтетических выделяют естественные морфологические комплексы, или морфогенетические типы рельефа, изображаемые цветным фоном и характеризующиеся по синтетическим геоморфологическим показателям. На аналитических выделяют элементы рельефа или элементарные поверхности, однородные по своему происхождению и возрасту. На этих картах морфографические и морфометрические особенности рельефа отображают изогипсами, внемасштабными и линейными знаками, высотными отметками, генезис —

цветным фоном, возраст – интенсивностью цветного фона. Каждая генетическая категория элементов рельефа изображается своим особым цветом. Цветными немасштабными и линейными знаками, штриховкой разного рисунка изображают элементы и формы рельефа, не выражающиеся в масштабе карты, а также элементы и формы рельефа структурно-денудационного и тектонического происхождения.



Рис. 4. Фрагмент геоморфологической карты

В настоящее время с развитием вычислительной техники и программных систем в картографии сформировалось новое перспективное направление по составлению трехмерных картографических произведений на основе обработки пространственных данных. Применение технологий трехмерной графики в картографии способствует существенному повышению степени наглядности и узнаваемости объектов местности и, следовательно, формированию у пользователя максимально достоверного восприятия пространственной геоинформации в целом [3, 4]. В связи с этим, немаловажной, интересной и актуальной задачей является создание трехмерных карт Республики Крым различного назначения и тематического содержания, в том числе и геоморфологических карт.

Основной целью работы стало создание трехмерной геоморфологической карты на территорию Республики Крым средствами геоинформационной систем ГИС «Карта 2011». Процесс построения модели в этой программе выполняется быстро, при этом обрабатывается информация по векторным картам, матрицам высот, триангуляционным моделям рельефа (TIN), цифровым фотоснимкам местности. Наличие всех перечисленных составляющих не обязательно. На трехмерной модели их можно использовать в различных комбинациях, определяя соответствующие параметры отображения для текущего сеанса работы [5, 6].

Выбор данного программного обеспечения для построения трехмерной модели рельефа местности и нанесения на нее геоморфологической нагрузки

обоснован, прежде всего, широким спектром функциональных возможностей ГИС «Карта 2011», в том числе при построении трехмерных моделей местности. Построение трехмерной модели рельефа в выбранной ГИС осуществляется по двухмерной карте и матрице высот. Результирующая поверхность может быть образована TIN или GRID-моделью. Для построения объемной модели с учетом объектов, расположенных на данной карте, должна быть использована библиотека трехмерных изображений объектов, добавляемая в классификатор создаваемой карты. В составе ГИС «Карта 2011» имеются стандартные классификаторы и библиотеки трехмерных условных знаков для различных масштабов. Вместе с этим, пользователи создают объемные изображения с помощью встроенного редактора условных знаков.

Немаловажным критерием, повлиявшим на выбор геоинформационной системы ГИС «Карта 2011», стало наличие в ее составе развитых средств навигации по трехмерным моделям местности. Программные средства ГИС обеспечивают свободное перемещение по модели, выполнение наклонов под нужным углом, изменение освещения и т. д. Трехмерная и двухмерная карты могут работать в синхронном режиме, при этом все действия, производимые над картами (движение, изменение состава данных, редактирование объектов), синхронизированы для обеих карт. Таким образом, создаются условия для максимально удобной работы пользователя с созданной трехмерной моделью.

В результате работы, проделанной средствами геоинформационной системы ГИС «Карта 2011», был составлен фрагмент трехмерной геоморфологической карты на территорию Республики Крым. В качестве основных картографических источников были взяты карты: «Физико-географическая карта Крыма» масштаба 1 : 1 500 000 и «Геоморфологическая карта Украины» масштаба 1 : 3 000 000. Для построения трехмерной модели рельефа была использована готовая матрица высот, взятая с сайта <http://mapgroup.com.ua>.

Процесс составления карты состоял из следующих этапов:

- 1) создан проект карты с указанием проекции (цилиндрическая Меркатора) масштаба 1 : 3 000 000 и классификатора слоев, семантических характеристик и объектов инженерной геологии;
- 2) произведен импорт растровой карты Республики Крым в проект и выполнена его привязка по двум точкам с масштабированием, а также по двум точкам с поворотом (рис. 5);
- 3) добавлены описания и графические представления новой семантики в классификатор слоев, семантических характеристик и объектов инженерной геологии согласно основному картографическому источнику (рис. 6);
- 4) выполнена оцифровка карты по растру (рис. 7);
- 5) в проект добавлена матрица высот на территорию Республики Крым (рис. 8) и на ее основе построена трехмерная модель рельефа [7–10].

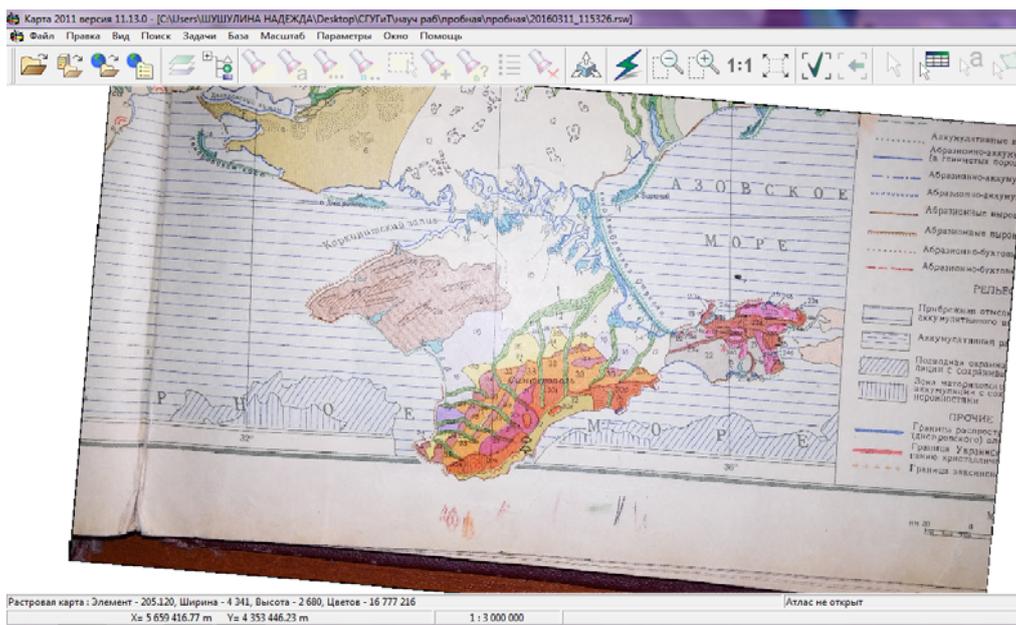


Рис. 5. Импорт растровой карты

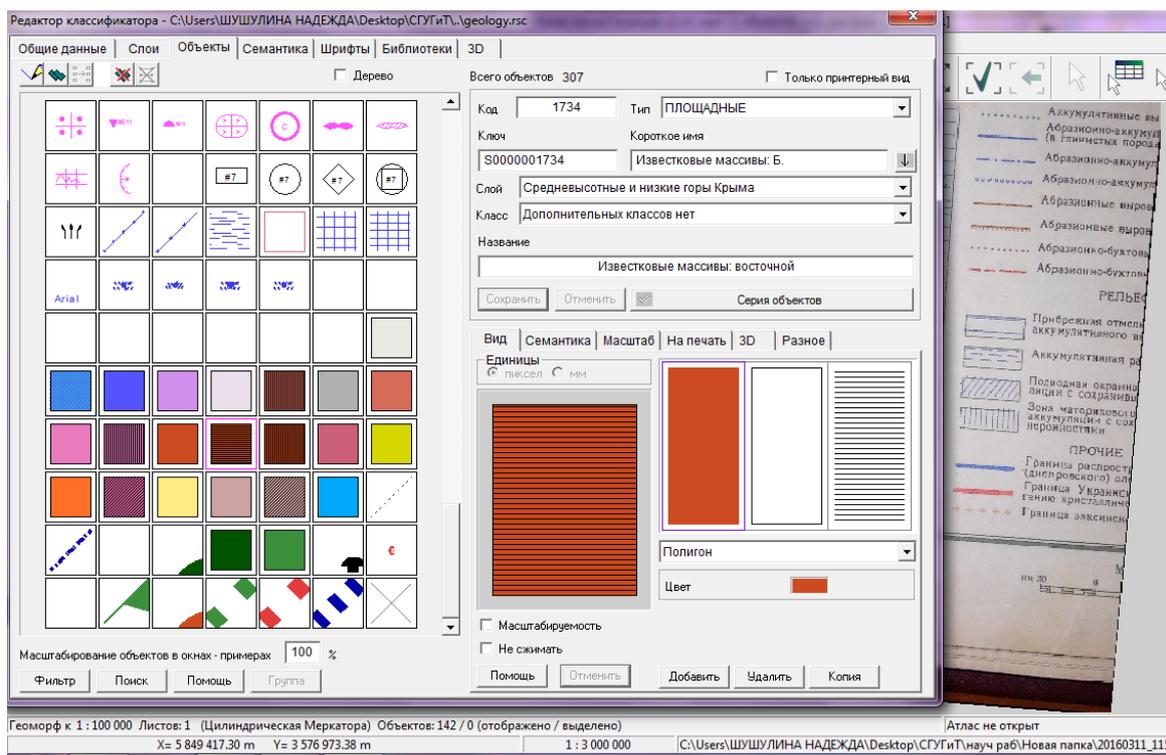


Рис. 6. Редактирование классификатора слоев, семантических характеристик и объектов инженерной геологии

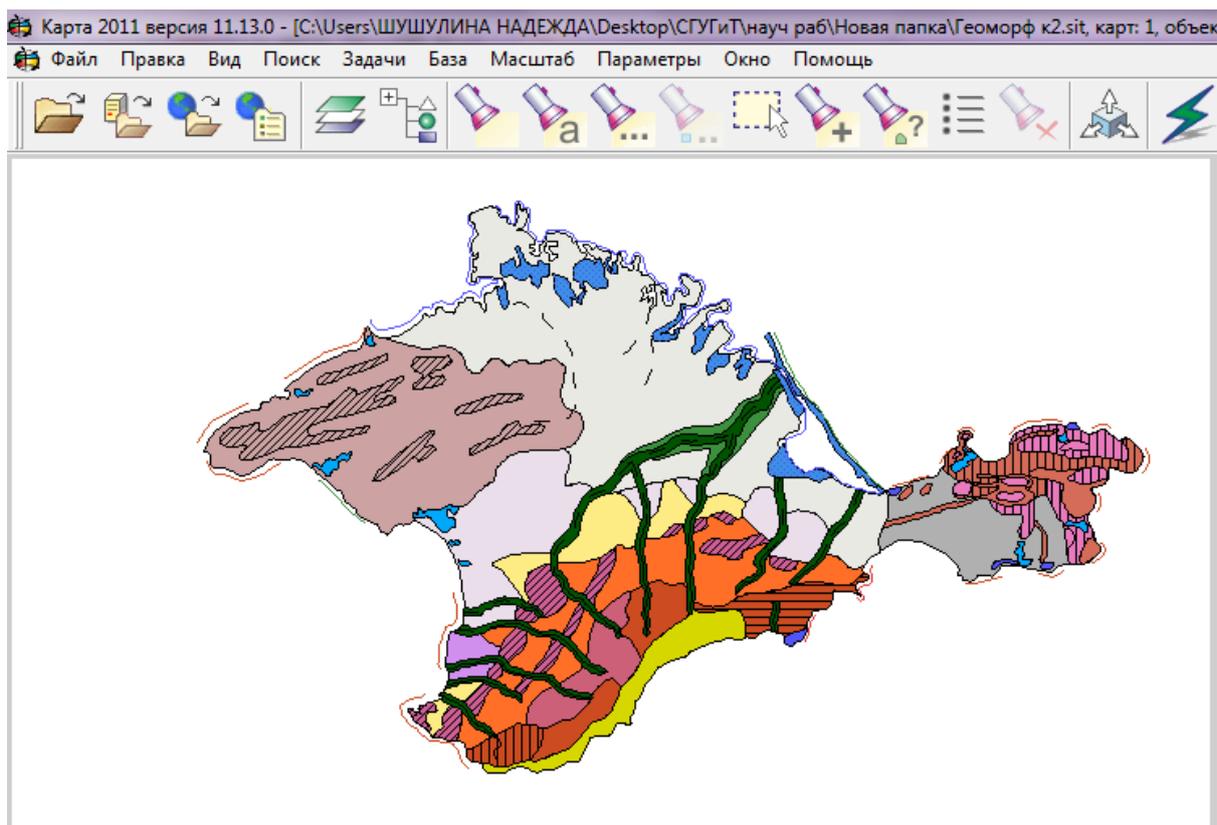


Рис. 7. Результат оцифровки геоморфологической растровой карты

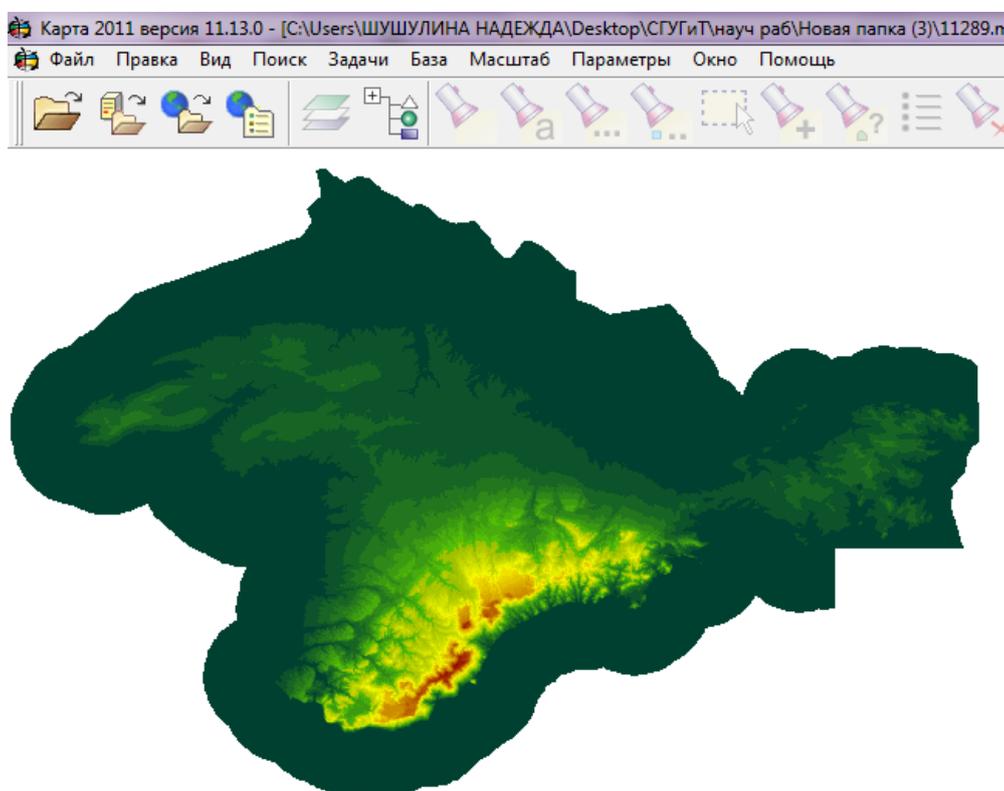


Рис. 8. Матрица высот на территорию Республики Крым

Фрагмент трехмерной геоморфологической карты на территорию Республики Крым показан на рис. 9. Навигация по карте производится мышью. Колесо мыши отвечает за масштабирование, левая кнопка – за перемещение по модели, правая кнопка – за вращение.

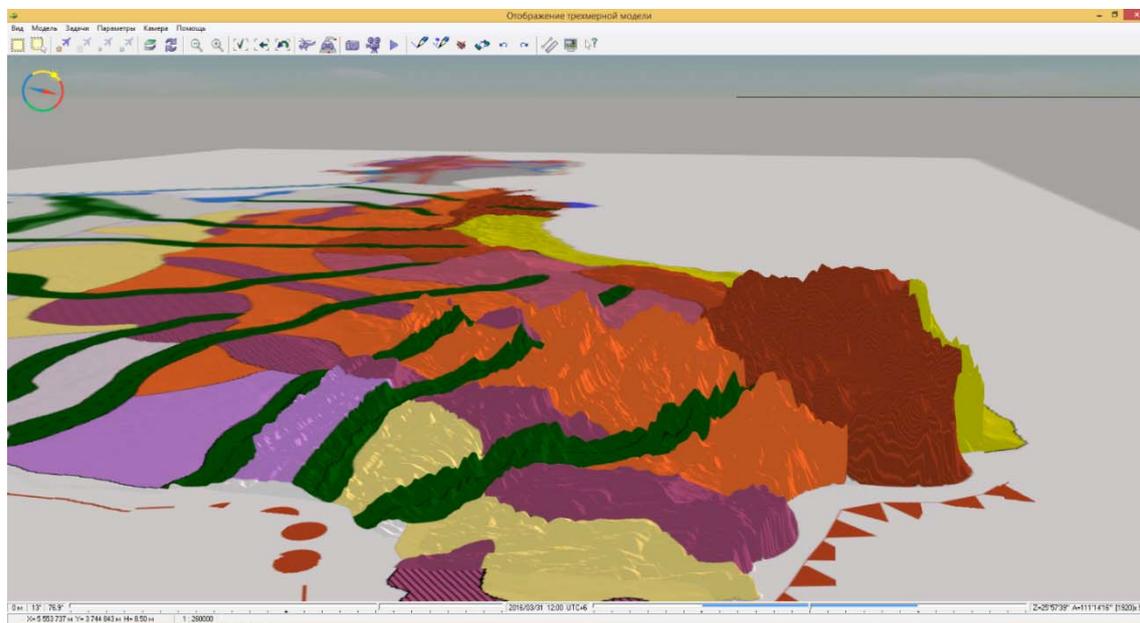


Рис. 9. Фрагмент трехмерной геоморфологической карты на территорию Республики Крым

В заключение стоит отметить, что полученная трехмерная геоморфологическая карта Республики Крым может быть использована при планировании, в научных изысканиях, в учебном процессе, для получения справочной информации и др.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Атлас офицера / под ред. М. К. Кудрявцева. – М. : Военно-топографическое управление, 1947. – 286 с.
2. Филиппов Ю. В. Вопросы проектирования раздела карт природы комплексных атласов (республик, краев и областей СССР) // Труды ЦНИИГАиК. – М. : Издательство геодезической литературы. – 1960. – Вып. 3. – 124 с.
3. Лисицкий Д. В. Картографическое отображение трехмерных моделей местности // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2/1. – С. 98–102.
4. Бугаков П. Ю. Принципы картографического отображения трехмерных моделей местности // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 3. – С. 156–161.
5. Колмогоров В. Г., Маноенков А. В. К вопросу о составлении карт деформационного состояния земной поверхности // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 1 (12). – С. 151–156.
6. Синёва О. А. Автоматизированное построение модели рельефа методом пространственной триангуляции // Вестник СГГА. – 2001. – Вып. 6. – С. 82–87.

7. Женибекова А. Б. К вопросу формализации картографических изображений // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 4 (28). – С. 124–129.

8. Лисицкий Д. В., Кацко С. Ю. Изменение сущности и функций картографических изображений на современном этапе развития общества // Геодезия и картография. – 2008. – № 2. – С. 26–28.

9. Дышлюк С. С., Николаева О. Н., Ромашова Л. А. К вопросу формализации процесса создания тематических карт в ГИС-среде // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 2 (30). – С. 78–85.

10. Дышлюк С. С., Павлов Е. В. К вопросу автоматизированного создания тематических карт // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 3. – С. 162–165.

Получено 15.09.2017

© П. Ю. Бугаков, Е. Л. Касьянова, М. В. Черкас, 2017

## **CREATION OF 3D-GEOMORPHOLOGICAL MAP**

***Petr Yu. Bugakov***

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Associate Professor, Department of Applied Informatics and Information Systems, phone: (383)343-18-53, e-mail: peter-bugakov@yandex.ru

***Elena L. Kas'yanova***

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

***Maksim V. Cherkas***

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D. Student, Department of Cartography and Geoinformatics, e-mail: cherkasmv@list.ru

The article is devoted to the actual topic of three-dimensional graphics in the field of cartography. 3D modeling helps to visualize objects, which enables the consumer to better interpret coordinated-tied information. The scale correspondence of the coordinate system of the model of the surface and the size of the objects helps to estimate such details that are not available when considering the terrain on a two-dimensional map. The necessity of creating and the importance of geomorphological maps (on the example of the Crimea peninsula) is substantiated in the article. For a better perception of the geomorphological elements, closely interrelated with the relief as a basis, it was decided first to create a 3D model of the relief of the peninsula, and then to apply geomorphological content to it. This article briefly describes the process of mapping: the project created maps showing projection; imported raster map of the Republic of Crimea to the project and made it binding by two points with scaling; added descriptions and graphic representations of new semantics in the classification of layers; completed the digitization of maps on the grid; the project added a dem to the territory of the Republic of Crimea.

**Key words:** relief, geomorphology, 3D-model, thematic content, basis, scale, three-dimensional graphics, geomorphological maps, morphological appearance of the relief.

## REFERENCES

1. Kudryavtsev, M. K. (Ed.). (1947). *Atlas ofitsera [Atlas of the officer]*. Moscow: Military topographic management [in Russian].
2. Filippov, Yu. V. (1960). Questions of designing a section of maps of nature of complex atlases (republics, territories and regions of the USSR). In *Trudy TsNIIGAiK: Vyp 133 [Proceedings of the Central Scientific Research Institute of Information Technologies and Communications: Issue 133]* (124 p.). Moscow: Geodetic Literature Publ. [in Russian].
3. Lisitsky, D. V. (2012). Cartographic mapping of three-dimensional terrain models. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 2/1, 98–102 [in Russian].
4. Bugakov, P. Yu. (2012). Principles of cartographic mapping of three-dimensional terrain models. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2012: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 3. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2012: International Scientific Conference: Vol. 3. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 156–161). Novosibirsk: SSGA [in Russian].
5. Kolmogorov, V. G., & Manoenvkov, A. V. (2010). To the question of mapping the deformation state of the earth's surface. *Vestnik SGGA [Vestnik SSGA]*, 1(12), 151–156 [in Russian].
6. Sineva, O. A. (2001). Automated construction of the model of relief by the method of spatial triangulation. *Vestnik SGGA [Vestnik SSGA]*, 6, 82–87 [in Russian].
7. Zhenibekova, A. B. (2014). To the question of formalization of cartographic images. *Vestnik SGGA [Vestnik SSGA]*, 4(28), 124–129 [in Russian].
8. Lisitsky, D. V., & Katsko, S. Yu. (2008). Changes in the essence and functions of cartographic images at the present stage of society development. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 2, 26–28 [in Russian].
9. Dyshlyuk, S. S., Nikolaeva, O. N., & Romashova, L. A. (2015). On the issue of formalization of the process of creating thematic maps in the GIS environment. *Vestnik SGGA [Vestnik SSGA]*, 2(30), 78–85 [in Russian].
10. Dyshlyuk, S. S., Pavlov, E. V. (2012). On the issue of automated creation of thematic maps. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2012: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 3. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2012: International Scientific Conference: Vol. 3. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 162–165). Novosibirsk: SSGA [in Russian].

Received 15.09.2017

© P. Yu. Bugakov, E. L. Kas'yanova, M. V. Cherkas, 2017