

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ КАРТЫ УСЛОВИЙ ПРОХОДИМОСТИ

А. С. ЧЕРЕНКО¹⁾, Д. М. КУРЛОВИЧ¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Описана методика создания карты условий проходимости местности с использованием программных продуктов конструкторского бюро «Панорама» и программно-информационного комплекса «Составление специальной карты», разработанного Объединенным институтом проблем информатики НАН Беларуси. Рассмотрены и проанализированы исходные картографические материалы для составления карт условий проходимости. В результате их изучения выявлены особенности в правилах цифрового описания векторных объектов топографических карт, не позволяющие создавать качественные карты условий проходимости. Внесены изменения в эти правила. Взамен типологии карт проходимости по сезонам года рекомендована классификация по климатическим и погодным условиям, которая основана на оценке поверхностного состояния грунта. Составлена карта проходимости для традиционного подхода, предназначенного для вставки в аналоговые топографические карты. В целях повышения ее информативности разработаны новые условные знаки. Для геоинформационного подхода, предназначенного для использования в электронном варианте, создана карта условий проходимости в целях ее применения с данными дистанционного зондирования Земли и графом дорог. Для разработки карты проходимости предложено привлечение специалистов по геоинформационным системам, а также специалистов в сферах инженерных войск и разведки, обладающих знаниями о тактико-технических характеристиках применяемого вооружения. Сделан вывод о необходимости создания для Республики Беларусь и прилегающих к ней территорий топографической основы без разделения по номенклатурным листам с учетом современных требований, которые предъявляются к войскам.

Ключевые слова: карта условий проходимости; цифровые топографические карты; геоинформационные технологии; специальные карты местности; проходимость местности.

THE USE OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES FOR THE FORMATION OF A SPECIAL PASSABILITY MAP

A. S. CHERENKO^a, D. M. KURLOVICH^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: A. S. Cherenko (cherenko@bsu.by)

Using software products of the design bureau «Panorama» and the software and information complex «Compilation of special map» developed by the United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, the methodology for creating a passability map is described. The initial cartographic materials for their creation are considered and analysed. When studying them, the features in the rules of digital description of vector objects of topographic maps were revealed, which do not allow to create a high-quality passability map, therefore, changes for them were proposed. Instead of dividing the passability map by seasons, a classification based on climatic and weather conditions based on the surface condition of the soil is proposed. A passability map was created for the traditional approach designed to be

Образец цитирования:

Черенко АС, Курлович ДМ. Использование геоинформационных технологий для формирования специальной карты условий проходимости. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2023;1:33–46. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2023-1-33-46>

For citation:

Cherenko AS, Kurlovich DM. The use of geoinformation technologies for the formation of a special passability map. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2023;1:33–46. Russian. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2023-1-33-46>

Авторы:

Алексей Сергеевич Черенко – преподаватель общей военной кафедры военного факультета.
Дмитрий Мирославович Курлович – кандидат географических наук, доцент; первый проректор.

Authors:

Aliaksei S. Cherenko, lecturer at the combined arms department, military faculty.
cherenko@bsu.by
Dzmitry M. Kurlovich, PhD (geography), docent; first vice-rector.
kurlovich@bsu.by

imprinted into analog topographic maps. To increase its informativeness, new symbols were developed. For the geoinformation approach intended for use on a computer, a passability map was created for sharing with remote sensing data and a graph of roads. It is proposed to involve GIS specialists, engineering troops, intelligence, with knowledge of the tactical and technical characteristics of the weapons used in the development of the passability map. It is concluded that it is necessary to create a topographic basis for the entire the Republic of Belarus and the adjacent territory without dividing by nomenclature sheets, taking into account modern requirements that are imposed on the troops.

Keywords: passability map; digital topographic maps; geoinformation technologies; special terrain maps; terrain passability.

Введение

При планировании проведения боевых действий тщательное изучение и всесторонняя оценка таких тактических свойств местности, как проходимость, условия маскировки, наблюдения, ведения огня, ориентирования и защиты, являются одними из ключевых факторов, которые влияют на принятие решения командиром, и при грамотном анализе обеспечивают преимущество перед противником [1]. Несмотря на значительное технологическое развитие, с течением времени влияние свойств местности на процесс ведения боя не потеряло актуальности, но изменились средства ее изучения. Так, с появлением геоинформационных систем стали возможными интеграция огромного количества информации о местности, обеспечение процедур ее анализа, прогноза и визуализации инструментарием автоматизации. Это, в свою очередь, расширяет состав создаваемых средств топогеодезической информации традиционной системы топогеодезического обеспечения и трансформирует ее в систему ГИС-обеспечения военных действий, которая соответствует современным концепциям ведения военных действий на основе технологического и информационного превосходства [2].

Специальные карты (СК), создаваемые в дополнение к традиционным топографическим картам (ТК), позволяют получить данные, необходимые для организации передвижения войск и их навигации, сведения о тактических свойствах местности и другую специальную информацию. Фактически они представляют собой результат анализа состояния окружающей среды и ее влияния на планирование и ведение военных действий. СК, в сравнении с ТК, дают более детальные сведения о местности и уменьшают время, необходимое командиру на принятие решения.

Одним из самых значимых свойств ландшафта является проходимость местности, под которой понимается степень доступности местности для движения боевых и транспортных машин, а также уровень ее влияния на возможность маневрирования и скорость передвижения [1]. Недооценивание этого тактического свойства может привести к потере техники и личного состава при движении вне дороги и, как следствие, к недостижению цели военных действий или даже к поражению.

Исследования проходимости местности проводились многими учеными в различных научно-исследовательских учреждениях. Их проекты сосредоточены на анализе влияния на проходимость как отдельных факторов (растительность [3], снежный покров [4], грунты [5]), так и совокупности факторов [6–8].

Стоит отметить исследования влияния на проходимость совокупности факторов, поскольку они являются наиболее актуальными и перспективными с точки зрения использования ГИС-технологий. Наиболее полно и подробно оценка проходимости с использованием ГИС-технологий дана в источнике [7]. Методика построения в нем состоит из следующих действий:

- разделения местности на ячеистые области установленного размера, соответствующие определенному воинскому формированию, которому требуется коридор проходимости установленной ширины: чем меньше ячейка, тем точнее результат (это ведет к более сложным вычислениям);
- присвоения значения индекса проходимости ранее сгенерированным ячеистым областям, где значение 0 соответствует полностью непроходимой местности, а значение 1 – полностью проходимой местности;
- преобразования ранее сгенерированных карт проходимости в граф, состоящий из ребер и узлов, где каждому ребру присваивается значение индекса проходимости;
- исключения из модели узлов и ребер, пересекающих непроходимые территории (здания, водные объекты и др.);
- определения оптимального маршрута движения между двумя точками;
- экспорта сгенерированных маршрутов в файл формата SHP.

Особого внимания заслуживают публикации, в которых описывается модель мобильности *NRMM* (*NATO reference mobility model*). Данная модель представляет собой совокупность уравнений и алгоритмов, позволяющих прогнозировать передвижение военной техники по пересеченной местности [9; 10]. В основу создания этих уравнений и алгоритмов положен ряд стандартизирующих документов¹ [11].

В Вооруженных силах Республики Беларусь анализ и оценка местности, в том числе ее проходимости, осуществляются в соответствии с учебными пособиями [12–14]. Основным из них является учебное

¹STANAG-3992. Military geographic documentation. Terrain analysis. AGeoP-1 (A) [Electronic resource]. URL: <https://standards.globalspec.com/std/464406/STANAG%203992> (date of access: 06.07.2021).

пособие [14]. В этих источниках раскрыта методика оценки местности по условиям проходимости без использования ГИС-технологий, т. е. вручную. Применение ГИС-технологий при анализе и оценке проходимости описано в учебном пособии [15].

В соответствии с исследованными литературными источниками основным картографическим способом изображения проходимости является способ качественного фона. В свою очередь, в большинстве случаев местность делится на три основные группы:

- проходимую;
- труднопроходимую или ограниченно проходимую;
- непроходимую.

Это разделение основано на анализе и оценке влияния различных факторов (рельеф, растительность, гидрография, населенные пункты, дорожная сеть, климат и т. д.) на тяговые возможности транспортных средств. В качестве показателей, на базе которых оценивается степень проходимости местности, выступают количественные физические величины, полученные путем измерений таких характеристик, как крутизна скатов, расстояние между деревьями, толщина стволов деревьев, ширина и глубина рек и каналов, толщина льда на водоемах, заболоченность и физический состав грунта. Такой подход позволяет командиру составить план движения войск и по возможности предотвратить маршруты, пересекающие непроходимые и труднопроходимые зоны.

Первоначально разделением территории на зоны проходимости вручную занимался опытный исполнитель, который был в состоянии проанализировать местность с учетом всех вышеперечисленных критериев. Соответственно, это занимало много времени и требовало от картографа большого опыта. С возникновением ГИС появилась возможность провести автоматизированный анализ местности на основе цифровых данных и составить карту условий проходимости (КУП). Роль исполнителя заключается в том, чтобы задавать параметры карты: тип и характеристики техники, климатические и погодные условия, занятые противником территории и др.

Автоматизированное составление КУП реализовано в программно-информационном комплексе (ПИК) «Составление СК», который разработан Объединенным институтом проблем информатики НАН Беларуси. С векторных ТК берутся все необходимые данные для построения КУП местности. На этих картах отображаются три зоны по уровню проходимости местности с учетом сезонов года, коридоры проходимости с градацией скорости движения по ним (существующая дорожная сеть является для них основой), а также классифицированные в зависимости от характеристик мосты. Также при составлении КУП есть возможность задать характеристики техники, для которой создаются эти карты, и текущее состояние местности, дифференцированное с учетом погодных условий (рис. 1). Стоит отметить, что ПИК «Составление СК» в первую очередь предназначен для подготовки СК к изданию, а не для использования их в ГИС.

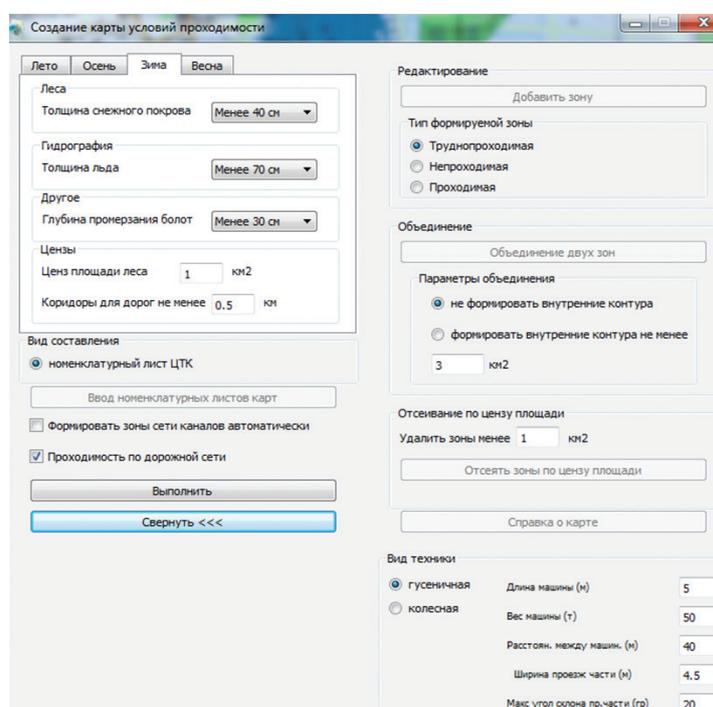


Рис. 1. Создание КУП в ПИК «Составление СК»

Fig. 1. Creating a passability map in the software and information complex «Compilation special map»

Ввиду того что данных, содержащихся в цифровых ТК, имеется недостаточно и дополнительные источники не применяются, картографу приходится значительно дорабатывать сгенерированные КУП вручную из-за некорректного конечного результата, что уменьшает эффективность использования возможностей автоматизированного составления цифровых КУП. В связи с этим основными целями данного исследования являются рассмотрение способов применения ГИС-технологий при создании КУП и выработка предложений по усовершенствованию исходных картографических материалов (ИКМ) и условных знаков (УЗ).

Материалы и методы исследования

Для создания КУП применялись ГИС «Панорама ×64» (14-я версия) и «Оператор» (11-я версия), а также ПИК «Составление СК». Создание карт начинается с подготовки и обработки ИКМ. Основным источником данных, по которому создаются КУП, являются электронные ТК.

Изначально аналоговые ТК создавались в интересах военных, поэтому размещенная на них информация фактически отражала тактические свойства местности. Проходимость местности была заложена в пояснительных подписях, содержащих сведения о ширине дорог, от которой зависит возможность двустороннего движения техники по ним, и материале их покрытия. Характеристика лесной растительности вмещала информацию о толщине деревьев и расстоянии между ними, что позволяло определить проходимость этих лесных массивов военной техникой. Проходимость рек и каналов определялась по пояснительной подписи, содержащей информацию о ширине, длине и характере грунта в данном месте водного потока. Пояснительные подписи к мостам включали данные о грузоподъемности, ширине, длине и материале сооружения, что использовалось командирами для определения проходимости мостов техникой (рис. 2).

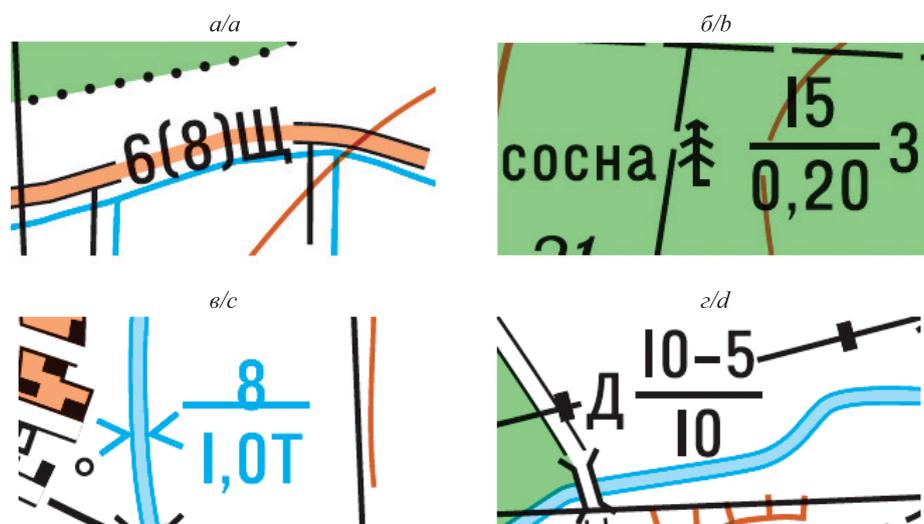


Рис. 2. Пояснительные подписи УЗ, характеризующие проходимость:
а – дороги; б – леса; в – реки или канала; г – моста

Fig. 2. Explanatory signatures of symbols characterising the passability:
a – of road; b – of forest; c – of a river or canal; d – of a bridge

Электронные ТК формата SXF, используемые и стандартизированные² в Республике Беларусь, близки по составу к аналоговой ТК. В классификаторах ТК 25t05g, 50t05g, 100t05g, 200t05g и 500t05g есть семантика под номером 63, которая кодифицирует объекты по степени их проходимости. Эта семантика доступна только для пяти площадных объектов, причем она является обязательной для болот и солончаков и возможной для леса (рис. 3). Фактически семантика проходимости данных объектов была взята из аналоговых карт, так как в источниках³ только болота и солончаки имели это свойство.

²СТБ 1793-2007. Цифровые карты местности. Цифровое представление информации о местности в формате SXF. Минск : Беларус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2007. 32 с.

³ГКНП 05-016-2018. Условные знаки для топографической карты масштаба 1 : 10 000. Минск : Белгеодезия, 2018. 122 с. ; ГКНП 05-015-2018. Условные знаки для топографической карты масштаба 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000. Минск : Белгеодезия, 2018. 101 с. ; ГКНП 05-019-2018. Условные знаки для топографической карты масштаба 1 : 200 000 и 1 : 500 000. Минск : Белгеодезия, 2018. 59 с.

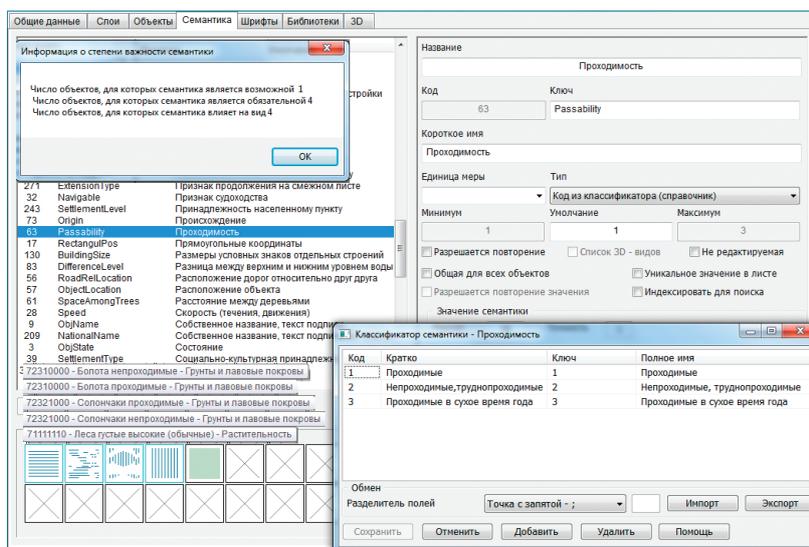


Рис. 3. Семантика проходимости в классификаторе ТК

Fig. 3. The semantics of passability in the classifier of a topographic map

Добавление в классификатор ТК свойства «проходимые в сухое время года» и сведений о степени важности семантики является свидетельством того, что усовершенствование электронных ТК формата SXF путем внесения в объекты дополнительной информации, по сравнению с аналоговыми картами, является возможным, и, вероятно, оно закладывалось на этапе разработки классификатора. Анализ существующих оцифрованных ТК формата SXF показал, что семантика проходимости для леса нигде не применялась.

Существующие правила цифрового описания (ПЦО) информации, отображаемой на ТК и планах населенных пунктов⁴, не позволяют в полной мере использовать семантику объектов ТК для создания КУП. Например, при цифровом описании лесов различие в характеристиках древостоя массива леса на ИКМ не выступает основанием для деления его на самостоятельные объекты. В связи с этим, когда на цифровой ТК имеется сплошной массив леса, ему присваиваются обобщенные характеристики «толщина деревьев» и «расстояние между деревьями», которые являются средним арифметическим значением соответствующих характеристик, встречающихся на ТК в данном массиве. Стоит отметить, что для небольших по площади лесов отсутствуют характеристики «толщина деревьев» и «расстояние между деревьями». Также отсутствует семантика глубины и характера грунта в линейных объектах гидрографии, но в то же время она присутствует в векторных характеристиках к ним. Это приводит к тому, что в ПИК «Составление СК» указывается неверный тип проходимости для этих территорий, несмотря на то что в нем заложены правильные алгоритмы расчета.

Недостатком ТК масштаба от 1 : 50 000 до 1 : 200 000 для создания КУП является заложенная при их составлении картографическая генерализация. Из-за нее не все важные для проходимости элементы местности (лесные дороги, небольшие участки леса, улицы и проезды в кварталах населенных пунктов, поляны в лесу и др.) отображаются на ТК. Это обусловлено требованиями к ТК, которые в первую очередь предназначаются для аналоговых карт и подразумевают их подготовку к изданию, что не позволяет отобразить на них подробную информацию о местности. Масштабом ТК, на которой показываются абсолютно все элементы местности без генерализации, является 1 : 10 000, но использование данного масштаба ограничено его закрытостью. В связи с этим дополнительно применялись карты *OpenStreetMap* (OSM) и *Yandex*, поскольку они имеют более подробную информацию, особенно сведения о составе дорожной сети населенных пунктов.

Большое влияние на проходимость местности оказывает рельеф. Фактор рельефа был учтен с помощью модуля расчетных и военно-прикладных задач «комплекс инженерных задач», входящего в состав ГИС «Оператор». В нем есть режим «проходимость по рельефу» (рис. 4), в котором проходимость местности вне дорог определяется ее пересеченностью и крутизной скатов и представляется в виде матрицы уклонов [16].

⁴СТБ 1753-2016. Цифровые карты местности. Правила цифрового описания информации, отображаемой на топографических картах и планах населенных пунктов. Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2009. 132 с.

Подразделение в пешем порядке							
Крутизна ската, градусы	меньше 3	3 - 6	6 - 10	10 - 15	15 - 20	больше 20	
Скорость движения, км/ч	больше 6	6 - 5	5 - 4	4 - 3	3 - 2,5	меньше 2,5	
Автомобиль повышенной проходимости							
Крутизна ската, градусы	меньше 3	3 - 6	6 - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 30	больше 30
Скорость движения, км/ч	больше 20	20 - 15	16 - 12	12 - 8	8 - 5	5 - 0	0
Гусеничный тягач с прицепом							
Крутизна ската, градусы	меньше 3	3 - 6	6 - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 30	больше 30
Скорость движения, км/ч	больше 12	12 - 10	10 - 7	7 - 5	5 - 3	3 - 0	0
Танк							
Крутизна ската, градусы	меньше 3	3 - 6	6 - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 35	больше 35
Скорость движения, км/ч	больше 15	15 - 12	12 - 10	10 - 6	6 - 4	4 - 0	0

Рис. 4. Построение матрицы уклонов в режиме «проходимость по рельефу»

Fig. 4. Construction of the slope matrix in the «relief passability» mode

Проходимость местности зависит также от грунта и определяется такими его свойствами, как плотность, текучесть и сила сцепления. Эти свойства зависят в первую очередь от погодных условий и влияют на определение коэффициента проницаемости, а также влажности грунта. Например, если в сухую погоду для большинства транспортных средств непроходимыми являются болота, заболоченные почвы и песок в рассыпчатом состоянии, то в дождливую погоду непроходимыми или труднопроходимыми становятся также илистые и глинистые участки.

Сведения о типе грунта в векторных ТК формата SXF отсутствуют. Информация о грунтах дана в аналоговых ТК масштаба 1 : 200 000 на обратной стороне карты вместе со справкой о местности. Для учета грунтов при создании КУП использовалась карта пользовательского векторного формата SIT «Грунты Республики Беларусь» масштаба 1 : 200 000.

Влияние климатических и погодных условий отражается в разделении КУП по сезонам года. Поскольку для территории Республики Беларусь географические закономерности по сезонам года являются в целом одинаковыми, а для других территорий Земли – различными, предлагается классификация КУП в зависимости от климатических и погодных условий, основанная в первую очередь на поверхностном состоянии грунта. Выделяются следующие климатические периоды:

- сухой теплый период;
- влажный теплый период с размокшим грунтом, который образовался в результате обильных осадков или таяния снега;
- холодный период с образованием мощного ледяного покрова и промерзанием грунтов без осадков;
- холодный период с образованием устойчивого высокого снежного покрова после осадков.

Важным фактором при составлении КУП является то, для передвижения какой техники устанавливается степень проходимости местности. На пересеченной местности проходимость может рассчитываться для передвижения пешеходных подразделений, но чаще она вычисляется для перемещения конкретной военной техники. Существует стандартное разделение транспортных средств на гусеничную и колесную технику, причем последняя считается менее проходимой. Стоит учесть, что на вооружении многих стран имеются машины на шинах сверхнизкого давления, которые предназначены в первую очередь для передвижения по пересеченной местности. Данная техника легко преодолевает болотистую и заснеженную местность, поэтому подобные машины иногда называются снегоболотоходами. Конкурировать по проходимости вне дорог с этой техникой могут только судна на воздушной подушке или шнекороторные вездеходы.

Имеется множество различных видов военной техники, поэтому заранее составить КУП для всех существующих моделей затруднительно. Также многое зависит от вида воинского формирования (взвод, рота, батальон, полк и т. д.), поэтому оптимальным решением данной проблемы является учет тактико-технических характеристик военной техники и типа подразделения перед созданием КУП.

При составлении КУП следует учитывать инженерные заграждения в районе действий, занятые противником территории, завалы и пожары в лесах и населенных пунктах, разрушения дорог, мостов, гидротехнических сооружений и других объектов, возникающие в результате боевых действий, особенно с применением ядерного оружия. Поэтому разделение СК в навигационно-топографической службе на СК, изготавливаемые заблаговременно, и СК, создаваемые при подготовке и в ходе боевых действий, применимо и к КУП. Исходя из этого, в военное время подобная карта должна составляться с учетом карт оперативно-тактической обстановки.

С учетом вышеизложенного для создания КУП использовались следующие исходные данные:

- карта грунтов формата SIT для территории Республики Беларусь;
- единый классификатор СК;
- матрица уклонов рельефа;
- космические снимки и *Yandex*-карты;
- векторные карты OSM;
- граф дорог.

Методика создания КУП включала в себя несколько этапов.

Этап 1: преобразование ТК согласно требованиям алгоритмов определения степени проходимости, заложенным в ПИК «Составление СК».

Этап 2: автоматизированное создание КУП в ПИК «Составление СК по ТК».

Этап 3: импорт составленных КУП в ГИС «Панорама».

Этап 4: создание матрицы уклонов и пользовательских карт проходимости рельефа.

Этап 5: учет грунтов при составлении КУП в первую очередь во влажный теплый период.

Этап 6: определение проходимости дорог для традиционного подхода и создание графа для геоинформационного подхода.

Этап 7: оформление КУП.

Результаты и их обсуждение

В настоящее время при создании СК с использованием компьютерных технологий применяются два подхода:

- традиционный (карта создается под аналоговую печать по номенклатурным листам ТК);
- геоинформационный (карта создается под использование в электронном виде с топографической основой без разделения на номенклатурные листы и совместно с множеством других слоев информации) [17].

В данном исследовании КУП для номенклатуры N-35-069 изготавливается на сухой теплый период для традиционного и геоинформационного подходов. Основным источником ИКМ для создания КУП были карты более крупного масштаба (1 : 50 000). С учетом вышеизложенных проблем выполнено преобразование ТК для составления КУП.

Произведена сшивка номенклатурных листов с помощью режима «объединение данных», находящегося в группе приложений «обработка листов карт и генерализация». Благодаря этому режиму удалось преобразовать четыре смежных номенклатурных листа в пользовательский слой формата SIT. В перспективе с использованием данного режима возможно создание единого слоя топографической информации, который состоит из ТК соответствующего масштаба, в рамках геоинформационного подхода для всей территории Республики Беларусь. Этот слой заменит используемые сшивки электронных ТК, в которых по линиям разграфки идет разделение объектов векторной карты. Также он в несколько раз уменьшит количество используемых в работе файлов.

Объект «леса густые, высокие» был разбит на лесные кварталы по номерам, поскольку именно для них в лесничествах имеются таксационные описания, содержащие информацию о высоте и диаметре деревьев. В этих объектах были оцифрованы все поляны, поросли, горелые вырубленные леса вне зависимости от их размеров, так как, кроме КУП, эти изменения будут актуальны и для СК условий маскировки. Вдоль крупных дорог участки леса были вырезаны (рис. 5, *a*), а не оцифрованы поверх них (рис. 5, *b*). Подобная оцифровка присутствует в других векторных данных, используемых в ГИС (рис. 5, *в* и *г*). Небольшие площади леса, кустарника и иных растений, если это не одиночные объекты, были оцифрованы площадными полигонами, поскольку ГИС затруднительно определить проходимость леса по точечным и векторным объектам.

Чтобы повысить информативность ТК по проходимости объектов гидрографии, в них была добавлена возможная семантика глубины, ширины, характера грунта и скорости течения с пояснительными подписями к УЗ, поскольку эти характеристики изначально отсутствуют в классификаторе ТК для данных объектов.

Прогнозируемость населенных пунктов в первую очередь рассчитывается по их улицам. Оцифровка улиц в формате SXF осуществляется с помощью объектов «сторона улицы» и «улицы». Векторизованы только те улицы, которые связаны сквозным проездом, соединяющим основные дороги (рис. 6, *a*). Соответственно, в крупных населенных пунктах оцифрованных улиц насчитывается мало (рис. 6, *b*). Это приводит к трудностям создания графа дорог на основании электронных ТК формата SXF и последующего анализа проходимости населенных пунктов в ГИС. В преобразованной векторной ТК были оцифрованы все улицы.

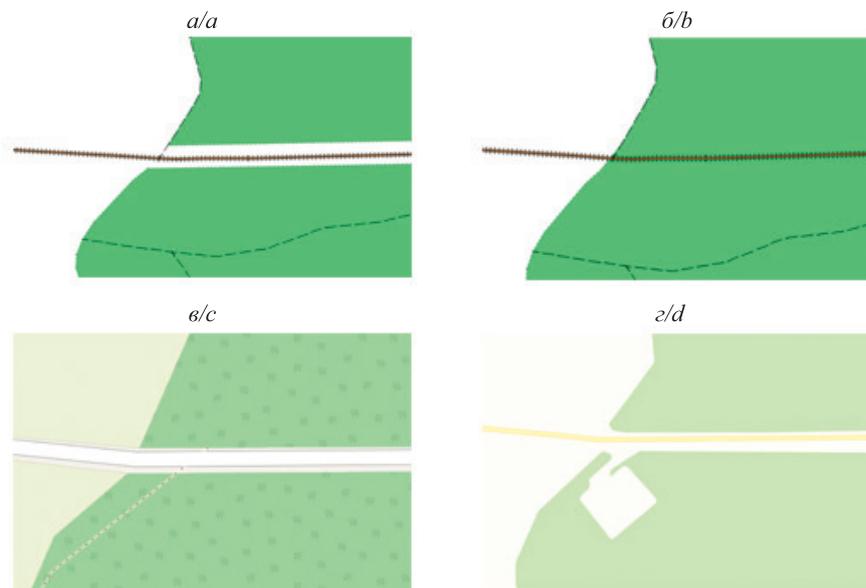


Рис. 5. Оцифровка леса в различных форматах:
a – в преобразованном формате SXF; *б* – в стандартном формате SXF;
в – в формате OSM; *г* – в формате Yandex-карт

Fig. 5. Digitisation of forests in various formats:
a – in transformative format SXF; *b* – in standard format SXF;
c – in format OSM; *d* – in format Yandex-maps



Рис. 6. Оцифровка улиц в населенных пунктах на ТК:
a – в сельском населенном пункте;
б – в городе (улицы выделены красным цветом)

Fig. 6. Digitisation of streets in localities on the topographic map:
a – in rural locality; *b* – in city (streets are highlighted in red)

Векторизация строений в кварталах населенных пунктов масштаба 1 : 50 000 также может привести к некорректному расчету типа проходимости местности, так как в большинстве случаев строения оцифровываются не на своем реальном местоположении и представляют собой векторные объекты, состоящие из двух точек в метрике. Полностью соответствуют своему местоположению строения на ТК масштаба 1 : 10 000.

Населенные пункты, кроме развитой в них дорожной сети, являются труднопроходимой зоной, поскольку в них имеется множество строений, растений, заборов и других объектов, затрудняющих передвижение по этим населенным пунктам. Оцифровка труднопроходимой зоны в населенных пунктах и их сравнение с векторизацией населенных пунктов на ТК и OSM представлены на рис. 7.

Для того чтобы ГИС улучшить считываемость проходимости с векторных ТК, необходимо изменить ПЦО невидимых контуров населенных пунктов, которые согласовываются с кварталами. В этом случае преобразованные контуры могут быть использованы для автоматизации составления КУП (рис. 8).

С помощью ГИС «Оператор» на основании рельефа ТК была построена матрица высот, а затем по ней – матрица уклонов с размером элемента 10 м (рис. 9, а). Далее в режиме «проходимость по рельефу» были сформированы векторные пользовательские карты проходимости рельефа формата SIT, предназначенные для перемещения пеших подразделений, автомобилей повышенной проходимости (рис. 9, б), гусеничных тягачей с прицепом и танков. На них способом количественного фона отображены территории в зависимости от уклона рельефа.

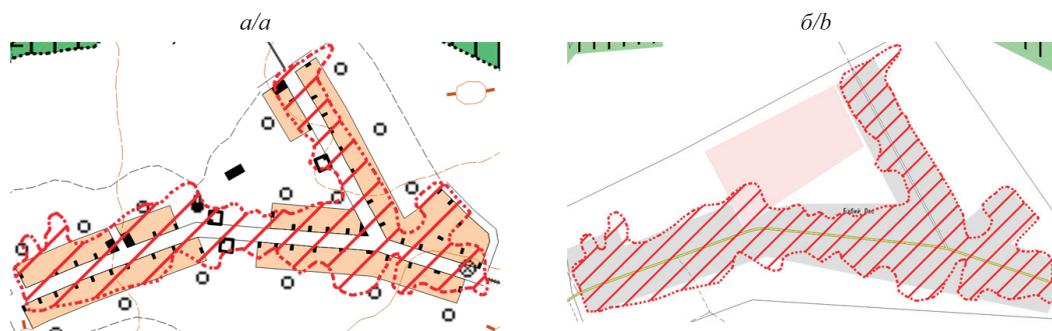


Рис. 7. Сравнение оцифровки труднопроходимой зоны и населенных пунктов на различных ИКМ: а – ТК; б – OSM

Fig. 7. Comparison of digitisation of the impassable zone and settlements on various source cartographic materials: а – topographic map; б – OSM



Рис. 8. Оцифровка контура населенного пункта:
а – предложенная оцифровка, которая совпадает с труднопроходимой зоной, считываемой с ИКМ; б – оцифровка по существующим ПЦО

Fig. 8. Digitisation of the contour of the settlement:
а – the proposed digitisation, which coincides with the impassable zone read from the the original cartographic materials;
б – digitisation according to the existing rules of digital description

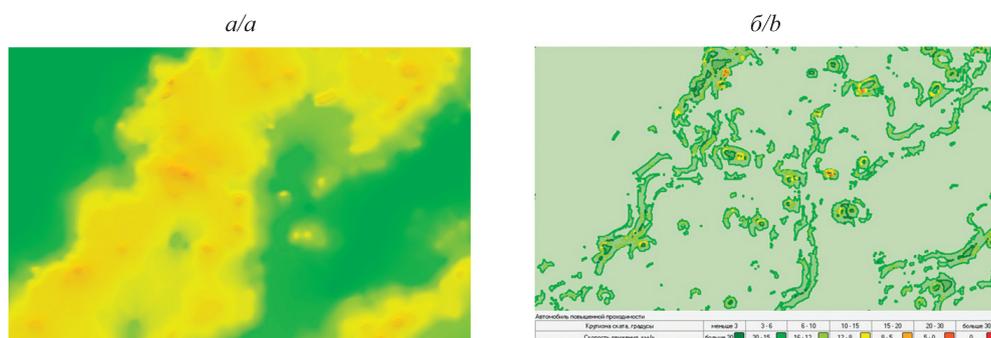


Рис. 9. ИКМ, использованные для учета рельефа при создании КУП:
а – матрица уклонов; б – векторная пользовательская карта проходимости рельефа для автомобилей повышенной проходимости

Fig. 9. The initial cartographic materials used to take into account the relief when creating a passability map:
а – slope matrix; б – vector custom relief passability map for cross-country vehicles

Создание КУП при традиционном подходе, когда дополнительная информация о проходимости местности впечатывается в аналоговые ТК, или при их изготовлении с нуля подразумевает картографирование площадными зонами, которые характеризуют степень проходимости местности. Одних этих зон на крупномасштабной ТК объективно недостаточно, поэтому были дополнительно разработаны УЗ. Прокладимость дорог показана линейными УЗ для колесной и гусеничной техники. Мосты выделены по количественной характеристике грузоподъемности, которая также отображает степень проходимости местности для передвижения колесной и гусеничной техники. УЗ, разработанные для колесной техники, имеют в своем содержании графическую форму круга, который ассоциируется с колесом, а УЗ, разработанные для гусеничной техники, – форму овала в горизонтальном положении, который напоминает гусеницу. В таблице для УЗ была использована система кодирования, описанная в публикации [17].

УЗ для КУП при традиционном подходе

Symbols for a passability map with the traditional approach

Наименование	Внешний вид	Код	Тип
Проходимая зона		1181000	Полигонный
Труднопроходимая зона		1182000	Полигонный
Непроходимая зона		1183000	Полигонный
Проходимая для колесной техники дорога		1161100	Линейный
Проходимая для гусеничной техники дорога		1161200	Линейный
Мост грузоподъемностью менее 15 т		1162100	Векторный
Мост грузоподъемностью от 15 до 30 т		1162200	Векторный
Мост грузоподъемностью более 30 т		1162300	Векторный

Стоит отметить, что дороги, проходимые для колесной техники, являются проходимыми для гусеничной техники, а мосты, проходимые для гусеничной техники, являются проходимыми для колесной техники. По сравнению с импортированными данными из ПИК «Составление СК» на итоговой карте были убраны коридоры проходимости, поскольку в зависимости от масштаба КУП они сильно изменяли метрику площадных зон проходимости, что в дальнейшем затрудняло бы их использование в ГИС (рис. 10).

Существенным преимуществом геоинформационного подхода над традиционным является возможность построения графа дорожной сети. Он способствует возрастанию оперативности принятия решения при планировании совершения марша. Впрочем, недостатком использования графа дорог является то, что построение оптимальных маршрутов движения производится лишь с помощью присутствующей дорожной сети без учета пересеченной местности.

Решение данной проблемы состоит в комбинированном использовании графа дорожной сети и КУП при планировании передвижения, причем в первую очередь маршрут строится по графу, поскольку перемещение по дорогам является более безопасным и эффективным, чем передвижение по пересеченной местности. При необходимости скрытного перемещения или блокировки, например, населенных пунктов маршрут прокладывается по проходимой пересеченной местности. И только в случае невозможности передвижения по предыдущим участкам осуществлять движение следует по труднопроходимой местности.



Рис. 12. КУП для геоинформационного подхода с отображением графа дорог и данных ДЗЗ

Fig. 12. A passability map for a geoinformation approach with a graph of roads and Earth remote sensing data

Также при геоинформационном подходе возможно совместное использование множества дополнительных слоев информации, которые позволяют с помощью операции «топологический оверлей» более качественно оценивать условия проходимости и подбирать оптимальное сочетание отображения слоев.

Заключение

Выполненные исследования по созданию КУП показали перспективность дальнейшей работы в данном направлении, так как степень проходимости местности является самой актуальной и востребованной информацией для органов военного управления. Можно выделить следующие результаты исследования.

1. Описана методика составления КУП с комбинированным использованием программных продуктов конструкторского бюро «Панорама» и ПИК «Составление СК».

2. Предложена классификация КУП по климатическим и погодным условиям взамен типологии по сезонам года.

3. Разработаны дополнительные УЗ для КУП.

4. Создана КУП для традиционного и геоинформационного подходов масштаба 1 : 100 000 с использованием ТК более крупного масштаба, OSM и Yandex-карт.

5. Предложено изменение ПЦО объектов на ТК для полноценного учета проходимости местности.

В связи с этим необходимо сформировать специализированный отдел в органах военного управления.

Для качественного создания КУП требуются:

- специалисты по разведывательным данным, которые предоставят сведения о противнике;
- представители инженерных войск для консультаций по вопросам проходимости местности и возможности сооружения заграждений для техники;
- картографы для ГИС-обеспечения;
- специалисты, обладающие знаниями о тактико-технических характеристиках применяемого с обеих сторон вооружения.

В перспективе для качественного составления КУП при ГИС-обеспечении военных действий необходимо создать для Республики Беларусь и прилегающих к ней территорий топографическую основу без разделения по номенклатурным листам с учетом современных требований, которые предъявляются к войскам. В качестве топографической основы можно использовать данные OSM, преобразовать их под военные задачи и на базе этих сведений создать слой проходимости местности и граф дорожной сети.

Библиографические ссылки

1. Утекалко ВК, Бирзгал ВВ, Василевский ВВ, Вечер НА, Паскробка СИ, Крутящий ГВ и др. *Рабочая карта командира*. Минск: Военная академия Республики Беларусь; 2013. 163 с.
2. Елюшкин ВГ. Геоинформационное обеспечение военных действий: от достаточности до превосходства. *Стратегическая стабильность*. 2017;3:13–16.
3. Rybansky M. Determination the ability of military vehicles to override vegetation. *Journal of Terramechanics*. 2020;91(2):129–138. DOI: 10.1016/j.jterra.2020.06.004.
4. Shoop S, Knuth M, Wieder W. Measuring vehicle impacts on snow roads. *Journal of Terramechanics*. 2013;50(1):63–71. DOI: 10.1016/j.jterra.2013.01.004.
5. Hubáček M, Almášiová L, Dejmal K, Mertová E. Combining different data types for evaluation of the soils passability. In: Ivan I, Singleton A, Horák J, Inspektor T, editors. *The rise of big spatial data. Proceedings of the Symposium GIS; 2016 March 16–18; Ostrava, Czech Republic*. Ostrava: Springer; 2016. p. 69–84. DOI: 10.1007/978-3-319-45123-7_6.
6. Бардачевский НН, Ефимов АН, Мамедов ГМ. Алгоритм определения маршрутов движения с использованием геоинформационных систем. *Интерэкспо ГЕО-Сибирь*. 2015;5(3):92–101.
7. Dawid W, Pokonieczny K. Methodology of using terrain passability maps for planning the movement of troops and navigation of unmanned ground vehicles. *Sensors*. 2021;21(14):4682. DOI: 10.3390/s21144682.
8. Алексеев ВФ, Осипов АГ, Прокофьев АВ, Телеш ВА. Методика создания синтетических карт оперативно-тактических свойств местности с использованием геоинформационных систем. *Труды Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского*. 2019;666:115–120.
9. Bradbury M, Dasch J, Gonzalez-Sanchez R, Hodges H, Iagnemma K, Jain A, et al. *Next-generation NATO reference mobility model (NG-NRMM)*. Warren: Tank Automotive Research, Development and Engineering Center; 2016. 250 p.
10. McCullough M, Jayakumar P, Dasch J, Gorsich D. The next generation NATO reference mobility model development. *Journal of Terramechanics*. 2017;73:49–60. DOI: 10.1016/j.jterra.2017.06.002.
11. United States Department of the Army. *Army field manual No. 5-33. Terrain analysis*. Washington: Department of the Army; 1990. 205 p.
12. Колибернов ЕС, Корнев ВИ, Сосков АА. *Справочник офицера инженерных войск*. Аганов СХ, редактор. Москва: Воениздат; 1989. 432 с.
13. Зинкевич ЭВ, Белый ВС, Мацука ДВ, Семененя ВИ, Батухтин АВ, Румянцев ДМ. *Военно-инженерная подготовка*. Минск: БГУ; 2019. 223 с.
14. Балута ВВ, Капцевич ВИ, Паскробка СИ, Брилевский ВИ, Сергиенко ВА, Соколов СВ и др. *Методики инженерных расчетов*. Минск: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; 2008. 201 с.
15. Утекалко ВК, Крючков АН, Бирзгал ВВ. *Изучение и оценка местности по электронной карте*. Минск: Военная академия Республики Беларусь; 2010. 147 с.
16. Маслов ВП, Исаков ЕЕ, Ковалёв ЮВ. Методика оценивания проходимости местности с учетом требований к повышению маневренности мобильных воинских подразделений воздушно-космических сил. *Воздушно-космические силы. Теория и практика*. 2020;13:46–53.
17. Черенко АС. Разработка единого классификатора специальных карт местности с использованием геоинформационных технологий. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2022;1:87–100. DOI: 10.33581/2521-6740-2022-1-87-100.

References

1. Utekalko VK, Birzgal VV, Vasilevskii VB, Vecher NA, Paskrobka SI, Krutyashchii GV, et al. *Rabochaya karta komandira* [Commander's work map]. Minsk: Belarusian Military Academy; 2013. 163 p. Russian.
2. Elyushkin VG. Geoinformation support of military action: from adequacy to excellence. *Strategicheskaya stabil'nost'*. 2017; 3:13–16. Russian.
3. Rybansky M. Determination the ability of military vehicles to override vegetation. *Journal of Terramechanics*. 2020;91(2):129–138. DOI: 10.1016/j.jterra.2020.06.004.
4. Shoop S, Knuth M, Wieder W. Measuring vehicle impacts on snow roads. *Journal of Terramechanics*. 2013;50(1):63–71. DOI: 10.1016/j.jterra.2013.01.004.
5. Hubáček M, Almášiová L, Dejmal K, Mertová E. Combining different data types for evaluation of the soils passability. In: Ivan I, Singleton A, Horák J, Inspektor T, editors. *The rise of big spatial data. Proceedings of the Symposium GIS; 2016 March 16–18; Ostrava, Czech Republic*. Ostrava: Springer; 2016. p. 69–84. DOI: 10.1007/978-3-319-45123-7_6.
6. Bardachevsky NN, Efimov AN, Mamedov HM. Algorithm for traffic routes using geographic information systems. *Interexpo GEO-Siberia*. 2015;5(3):92–101. Russian.
7. Dawid W, Pokonieczny K. Methodology of using terrain passability maps for planning the movement of troops and navigation of unmanned ground vehicles. *Sensors*. 2021;21(14):4682. DOI: 10.3390/s21144682.
8. Alekseev VF, Osipov AG, Prokofjev AV, Telesch VA. Method of creating synthetic maps of the operational and tactical properties of the terrain using geoinformation systems. *Proceedings of the Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky*. 2019;666:115–120. Russian.
9. Bradbury M, Dasch J, Gonzalez-Sanchez R, Hodges H, Iagnemma K, Jain A, et al. *Next-generation NATO reference mobility model (NG-NRMM)*. Warren: Tank Automotive Research, Development and Engineering Center; 2016. 250 p.
10. McCullough M, Jayakumar P, Dasch J, Gorsich D. The next generation NATO reference mobility model development. *Journal of Terramechanics*. 2017;73:49–60. DOI: 10.1016/j.jterra.2017.06.002.
11. United States Department of the Army. *Army field manual No. 5-33. Terrain analysis*. Washington: Department of the Army; 1990. 205 p.

12. Kolibernov ES, Kornev VI, Soskov AA. *Spravochnik ofitsera inzhenernykh voisk* [Handbook of an engineering officer]. Aganov SKh, editor. Moscow: Voenizdat; 1989. 432 p. Russian.

13. Zinkevich EV, Belyi VS, Matsuka DV, Semeneya VI, Batukhtin AV, Romyantsev DM. *Voенно-inzhenernaya podgotovka* [Military engineering training]. Minsk: Belarusian State University; 2019. 223 p. Russian.

14. Baluta VV, Kaptevech VI, Paskrobka SI, Brilevskii VI, Sergienko VA, Sokolov SV, et al. *Metodiki inzhenernykh raschetov* [Methods of engineering calculations]. Minsk: Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics; 2008. 201 p. Russian.

15. Utekalko VK, Kryuchkov AN, Birzgal VV. *Izucheniye i otsenka mestnosti po elektronnoi karte* [Study and assessment of the area on an electronic map]. Minsk: Belarusian Military Academy; 2010. 147 p. Russian.

16. Maslov VP, Isakov EE, Kovalyov YuV. Methodology for assessing terrain patency taking into account the requirements for increasing maneuverability of the aerospace forces mobile military units. *Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika*. 2020;13:46–53. Russian.

17. Cherenko AS. Development of unified classifier of special terrain maps using geoinformation technologies. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2022;1:87–100. Russian. DOI: 10.33581/2521-6740-2022-1-87-100.

Получена 15.12.2022 / исправлена 09.02.2023 / принята 06.03.2023.
Received 15.12.2022 / revised 09.02.2023 / accepted 06.03.2023.