

**МЫНОВ А. А., ТЕСЛЕНОК К. С.**

**ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА КАК ПЕРВЫЙ ЭТАП  
ВЫЯВЛЕНИЯ МЕСТ ВОЗМОЖНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ЦЕНТРОВ  
ГОРНОЛЫЖНОГО ТУРИЗМА В РЕСПУБЛИКЕ МОРДОВИЯ<sup>1</sup>**

**Аннотация.** Рассмотрены особенности начального этапа определения участков, потенциально пригодных для размещения горнолыжных центров. Исследования выполнены с использованием возможностей геоинформационных технологий создания и анализа цифровой модели рельефа и полученных на ее основе производных моделей. Работы такого рода особенно актуальны для равнинных регионов с малопересеченным рельефом, типичным для большей части территории Республика Мордовия.

**Ключевые слова:** геоинформационная система, ГИС, ГИС-технологии, цифровое моделирование рельефа, цифровая модель рельефа, ЦМР, геоинформационное картографирование и моделирование, горнолыжный центр, горнолыжный спорт, горнолыжный туризм, Республика Мордовия.

**MYNOV A. A., TESLENOK K. S.**

**DIGITAL TERRAIN MODELING AS A FIRST STEP IN PLACING  
OF ALPINE SKIING TOURISM CENTERS IN MORDOVIA REPUBLIC**

**Abstract.** The article considers the initial stage of identifying potentially suitable places for alpine ski centers. The study was carried out by using of geoinformation technologies for creating and analyzing a digital elevation model and its derivatives. Such studies are particularly relevant to the lowland flat ground which makes a large part of the territory of Mordovia Republic.

**Keywords:** geoinformation system, GIS, GIS technology, digital terrain modeling, digital elevation model, DEM, geoinformation mapping and modeling, ski center, alpine skiing, ski tourism, Mordovia Republic.

Мордовия заслуженно имеет славу спортивной республики. Она входит в число четырех лучших регионов России по развитию массового физкультурного движения. Основой этих достижений стали республиканский закон «О физической культуре и спорте» и более десяти Указов Главы и Постановлений Правительства Мордовии, создавшие условия как для высших спортивных достижений, так и развития массового физкультурного движения, «спорта для всех». Тем не менее, массовым спортом в Мордовии охвачено пока не более 15% населения. Немаловажную роль в этом играет приуроченность большей части спортивных сооружений к столице республики или крупным районным центрам. Так,

---

<sup>1</sup> Статья выполнена при поддержке РФФИ (проект №14-05-00860-а).

единственный Региональный центр по зимним видам спорта, включающий лыжный стадион с биатлонным комплексом (лыжно-биатлонный центр Республики Мордовия) и функционирующее на его базе Автономное учреждение дополнительного образования «Региональный центр – специализированная детско-юношеская спортивная школа олимпийского резерва по зимним видам спорта Республики Мордовия» расположены в Саранске. В то же время, в республике имеется значительное количество мест, не в меньшей степени пригодных для развития массового горнолыжного спорта и туризма.

Анализ спроектированной, разработанной и построенной нами карты регионов России с развитыми центрами горнолыжного спорта и туризма (рис. 1) выявил парадоксальную ситуацию: Мордовия (как, кстати, и другие финно-угорские регионы), имея значительную долю представителей коренной титульной нации с традиционным занятием (особенно для северных регионов) зимними видами спорта, не относится к числу таких субъектов.

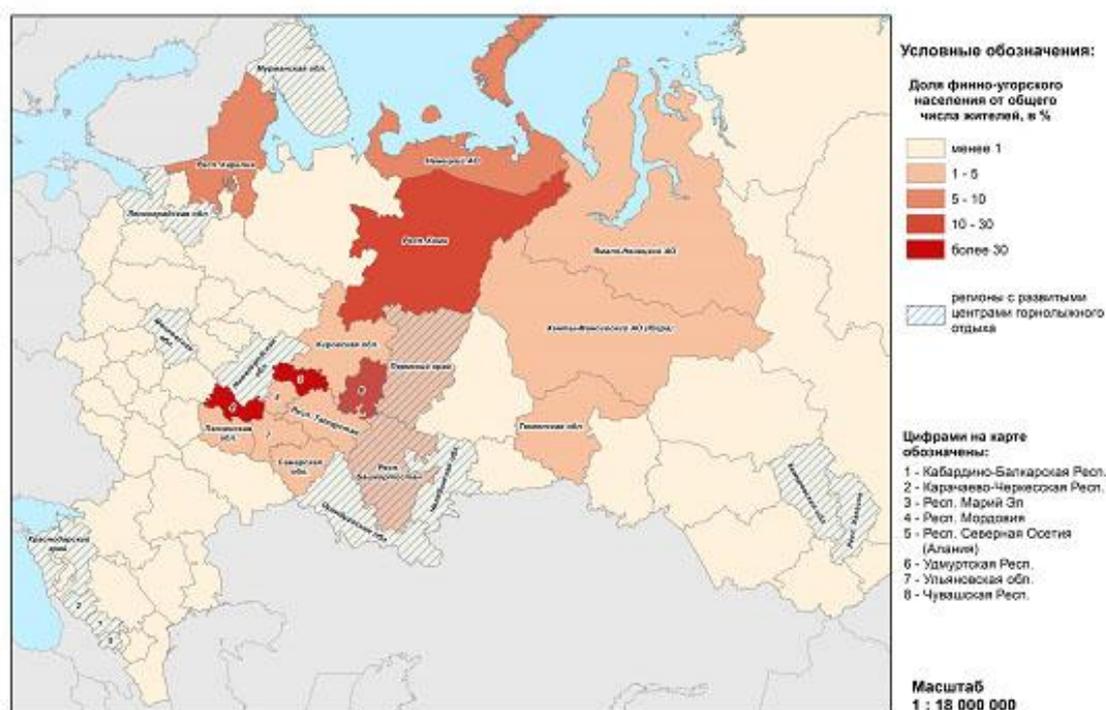


Рис. 1. Регионы России с развитыми центрами горнолыжного спорта и туризма.

Как и любая территория, Республика Мордовия с методологических позиций может быть представлена в виде сложной территориально-общественной геосистемы, единства взаимодействия компонентов ландшафтно-экологического и социально-экономического комплекса «природа – население – хозяйство» [9; 10]. Ее частным локальным проявлением могут быть признаны горнолыжные комплексы и горнолыжные центры, результаты исследования которых в виде выявленных характеристик и взаимосвязей, пригодных для решения практических задач управления, могут быть отображены в серии геоинформационно-картографических моделей. Картографический метод исследования, как

один из важнейших традиционных методов в науках о планетах Солнечной системы, Земле и человеческом обществе, находит широкое и многоплановое практическое применение. Использование карт для познания изображенных на них явлений и процессов подразумевает изучение структуры, взаимосвязей, динамики и эволюции объектов, явлений и процессов во времени и пространстве, прогноз их развития, получение их различных качественных и количественных характеристик.

Исследование территорий и комплексов различной природы и их отдельных компонентов, предполагает также и широкое использование количественных методов их интерпретации, выраженных в исследовании закономерностей пространственной дифференциации этих систем, их компонентов и свойств, анализе связей между ними. Основным методом изучения многообразных связей и закономерностей признан математический анализ [6], а его важной особенностью является сочетание с традиционными картографическими методами [10]. Сегодня все большую популярность получило тематическое картографирование и математико-картографическое моделирование окружающей среды для различных целей [3–10], (включая спортивную и туристско-рекреационную деятельность [1; 2 и др.]), позволяющее получать полную количественную и качественную информацию по исследуемым объектам, процессам и явлениям.

С конца прошлого и, особенно, с начала нынешнего века, интерес к изучению различных территориальных систем существенно возрастает именно в связи с лавинообразным развитием компьютерной обработки изображений, систем автоматизированного картографирования, географических информационных систем (ГИС) и геоинформационных технологий. Управление горнолыжными комплексами и горнолыжными центрами на основе картографирования предполагает обработку и анализ больших массивов данных – как о состоянии их природного блока [8; 9], так и об особенностях всестороннего практического использования. При оперировании этой информацией наиболее приемлемым и оправданным с разных точек зрения является проектирование, разработка и создание соответствующих геоинформационных систем разных уровней и направленности, в которых в разнообразных видах (картографическом, графическом, текстовом и др.) представляется и визуализируется выходная информация максимально полных банков исходных данных [3–5; 7–10].

Для определения мест, в максимальной степени соответствующих требованиям размещения горнолыжных комплексов и горнолыжных центров, было решено использовать возможности цифрового моделирования рельефа и геоинформационно-картографического анализа полученных цифровых моделей рельефа (ЦМР) и их производных.

Под ЦМР понимается математическое представление (модель) участка земной

поверхности, полученное путем обработки данных о высотном положении [3; 5; 7]. Методика и технология построения ЦМР разных масштабных уровней на базе разнообразного программного обеспечения достаточно хорошо апробирована как для территории исследуемого региона [7], так и для ряда других [3; 8 и др.].

Для определения на базе ЦМР участков, потенциально пригодных для размещения горнолыжных центров, нами были использованы возможности, предоставляемые ГИС ArcView и ArcGIS. Исходная цифровая основа была представлена точечной темой отметок высот и урезов воды на территорию Республики Мордовия масштаба 1:200 000 в формате shp ГИС ArcView [7]. В качестве одного из методов интерполяции был определен Inverse Distance to a Power (обратно-взвешенных расстояний, IDW, ОВР), основанный на взвешивании точек таким образом, что влияние известного значения затухает с увеличением расстояния до неизвестной точки, параметры которой необходимо определить. Взвешивание присваивается исходным точкам со значениями абсолютной высоты на основе коэффициента взвешивания, контролирующего, как влияние точки будет уменьшаться с увеличением расстояния до нее. Чем выше коэффициент взвешивания, тем меньше будет эффект, оказываемый точкой. По мере возрастания коэффициента значение неизвестной точки будет приближаться к значению ближайшей точки с известным значением [1; 3; 5].

Метод интерполяции IDW (как, впрочем, и другие) не лишен недостатков. Так, качество получаемых результатов может достаточно существенно снизиться, если распределение исходных точек данных с известными значениями будет иметь неравномерный характер. Кроме того, экстремальные (максимальные и минимальные) значения интерполированной поверхности могут быть зафиксированы только в точках исходных данных, что нередко приводит к небольшим пикам и углублениям вокруг них (артефактам). В связи с этим, метод IDW может быть использован в случаях, когда множество точек с исходными данными является достаточно плотным для выявления степени локального изменения отображаемой поверхности [1; 3; 5].

Использование метода IDW в нашем случае позволило получить корректную цифровую модель рельефа (рис. 2), когда экстремальные значения отметок абсолютной высоты рельефа полученной модели совпали с действительными значениями высоты на местности. Кроме того, автоматическое создание ЦМР на основе метода IDW позволяет получить наиболее оптимальную для существующей в пределах исследуемой территории степени вертикального расчленения местности шкалу высот [1].

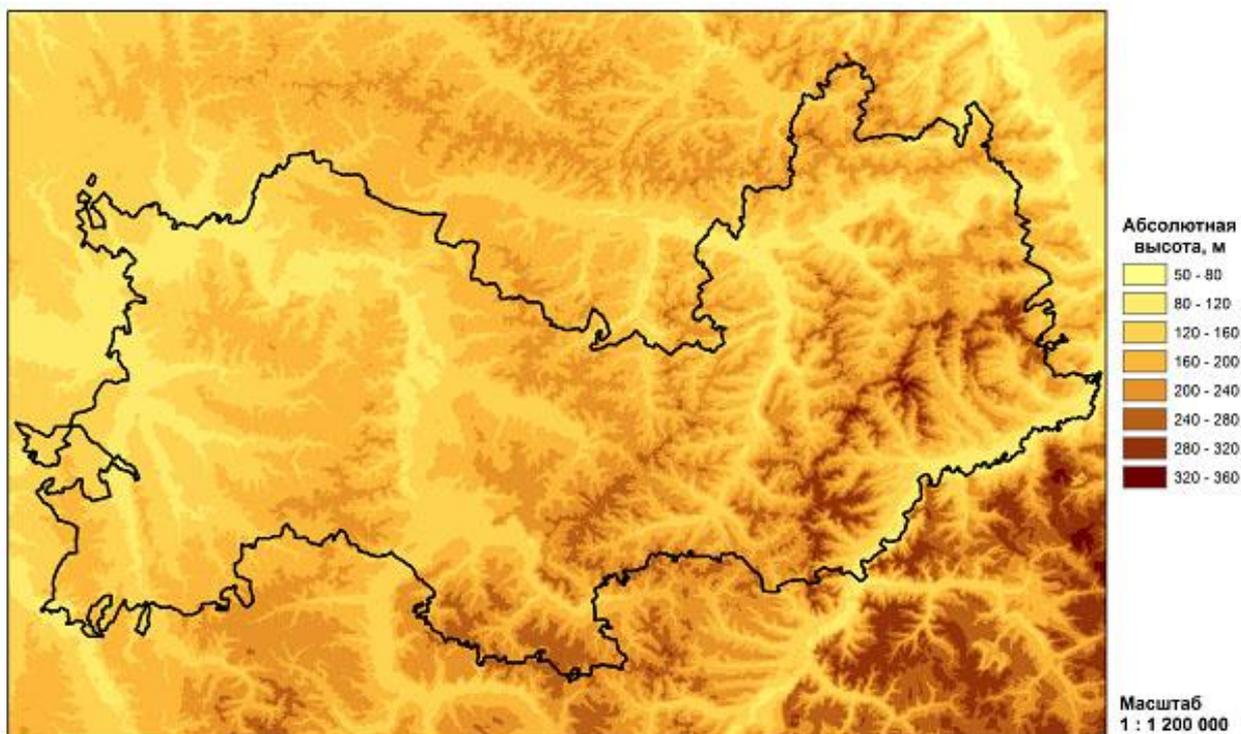


Рис. 2. Цифровая модель рельефа Республики Мордовия.

Алгоритм построения ЦМР в ГИС ArcGIS включал такие технологические этапы, как:

- загрузка исходных данных для ЦМР (точечные и полилинейные векторные данные в виде отметок высот, урезов воды, горизонталей);

- выполнение работы в ArcToolbox: «Инструменты 3D Analyst» → «Интерполяция растра» → «Топо в растр»;

- выбор ранее загруженных слоев в качестве входных данных → выбор значений высоты «NV» в колонке «Поле», выбор в колонке «Тип» для слоев урезов воды и отметок высот PointElevation, для слоя с горизонталями – Contour → определение размера входной ячейки (значение 50);

- осуществление настройки высоты сечения рельефа.

Полученная цифровая гипсометрическая модель рельефа территории Республики Мордовия и прилегающих районов (в пределах соответствующих листов топографической карты масштаба 1:200 000) после выполнения необходимых дополнительных настроек и корректирования, представлена на рисунке 2.

Таким образом, начальный подготовительный этап комплексного изучения особенностей территории Республики Мордовия, применительно к выбору наиболее оптимальных мест размещения горнолыжных комплексов и горнолыжных центров, позволил разработать структуру и создать базу данных, получить различные варианты ЦМР, провести оценочные работы с получением качественных и количественных характеристик рельефа и составлением аналитических картосхем с результатами оценок.

Для получения производных карт, использованных на следующем этапе исследований для определения потенциальных и отбора наиболее оптимальных по разным показателям пригодности участков размещения горнолыжных комплексов и горнолыжных центров, были использованы возможности расширений базовых ГИС ArcView и ArcGIS «Spatial Analyst» и «3D Analyst». Этот этап включал построение карт уклонов и экспозиции склонов в ArcToolbox:

- проведение работы в ArcToolbox: «Инструменты Spatial Analyst» → «Поверхность» → «Уклон/Экспозиция»;

- использование в качестве входного растра ЦМР, построенной на предыдущем шаге;
- осуществление настройки полученных карт уклонов и экспозиции склонов.

Соответствующие цифровые модели на всю территорию республики и прилегающие районы, полученные после выполнения необходимых настроек и корректирования, представлены на рисунке 3.

Далее с целью отбора допустимых и недопустимых (пригодных и непригодных для размещения горнолыжных комплексов, и горнолыжных центров) значений величин уклонов и экспозиции склонов нами были выполнены операции переклассификации (реклассификации) и оверлея (наложения, пересечения) слоев [3; 5].

Переклассификация и конвертирование в векторные данные так же выполнялись с использованием ArcToolbox:

- работа в ArcToolbox: «Инструменты Spatial Analyst» → «Переклассификация»;
- создание двух классов: допустимые (2) и недопустимые (1) значения уклона и экспозиции;
- работа в ArcToolbox → «Конвертация» → «Растр в полигоны», где в качестве входного растра используются переклассифицированные слои;

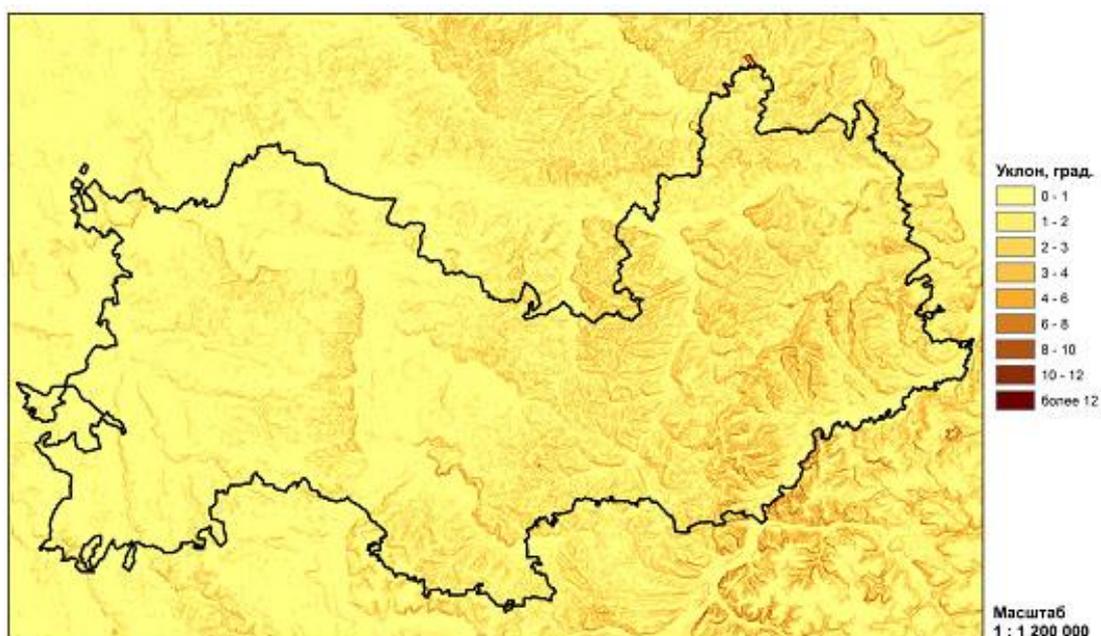
Пересечение производилось с использованием инструментария геообработки:

- Геообработка → «Пересечение»;
- входные объекты представлены полигональными данными по благоприятным (допустимым) значениям величин уклонов и экспозиции склонов.

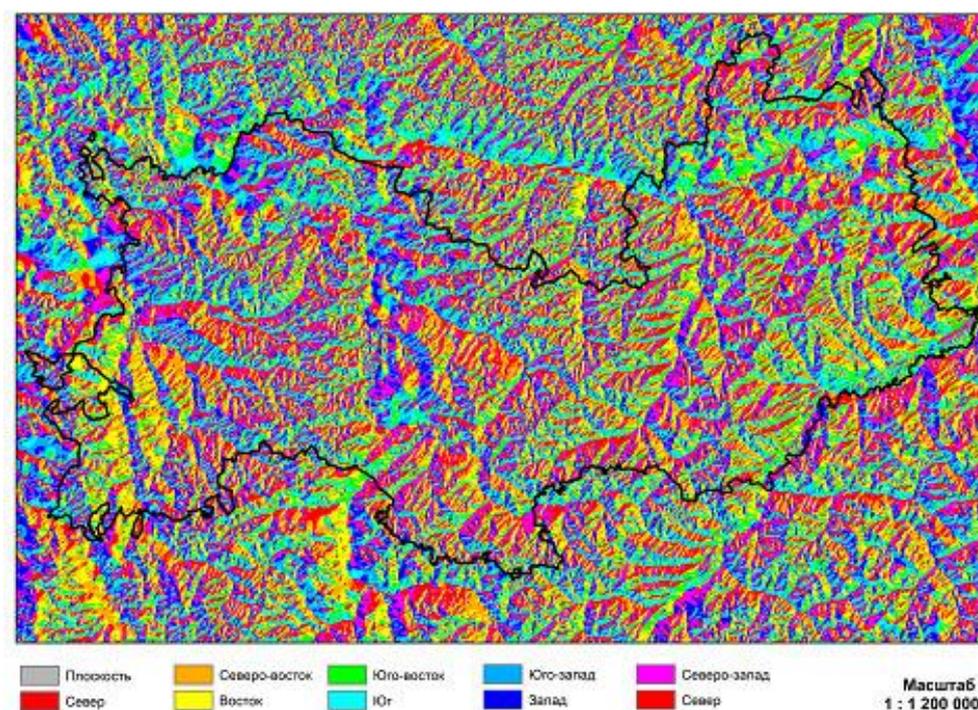
В качестве допустимых (благоприятных) величин крутизны склонов в соответствии с литературными данными отбирались показатели средней крутизны более 12°, экспозиции склонов – участки с северной составляющей (северо-восток, север, северо-запад) и северные, а также учитывалась площадь наиболее подходящих участков (свыше 0,3 км<sup>2</sup>, что является минимальным показателем для организации горнолыжного центра).

Привлечение на следующем этапе социально-экономических показателей – данных по транспортной доступности и дорожной сети (железным и автомобильным дорогам)

позволило получить приведенную на рисунке 4 модель 37 мест возможного размещения центров горнолыжного туризма.



А



Б

Рис. 3. Цифровые модели углов наклона (А) и экспозиции (Б) склонов Республики Мордовия.

Анализ созданной модели потенциально пригодных для размещения центров горнолыжного туризма участков показал, что сообразно особенностям рельефа республики (см. рис. 1, 2) их подавляющая часть (89,2%) расположена в ее восточной части.

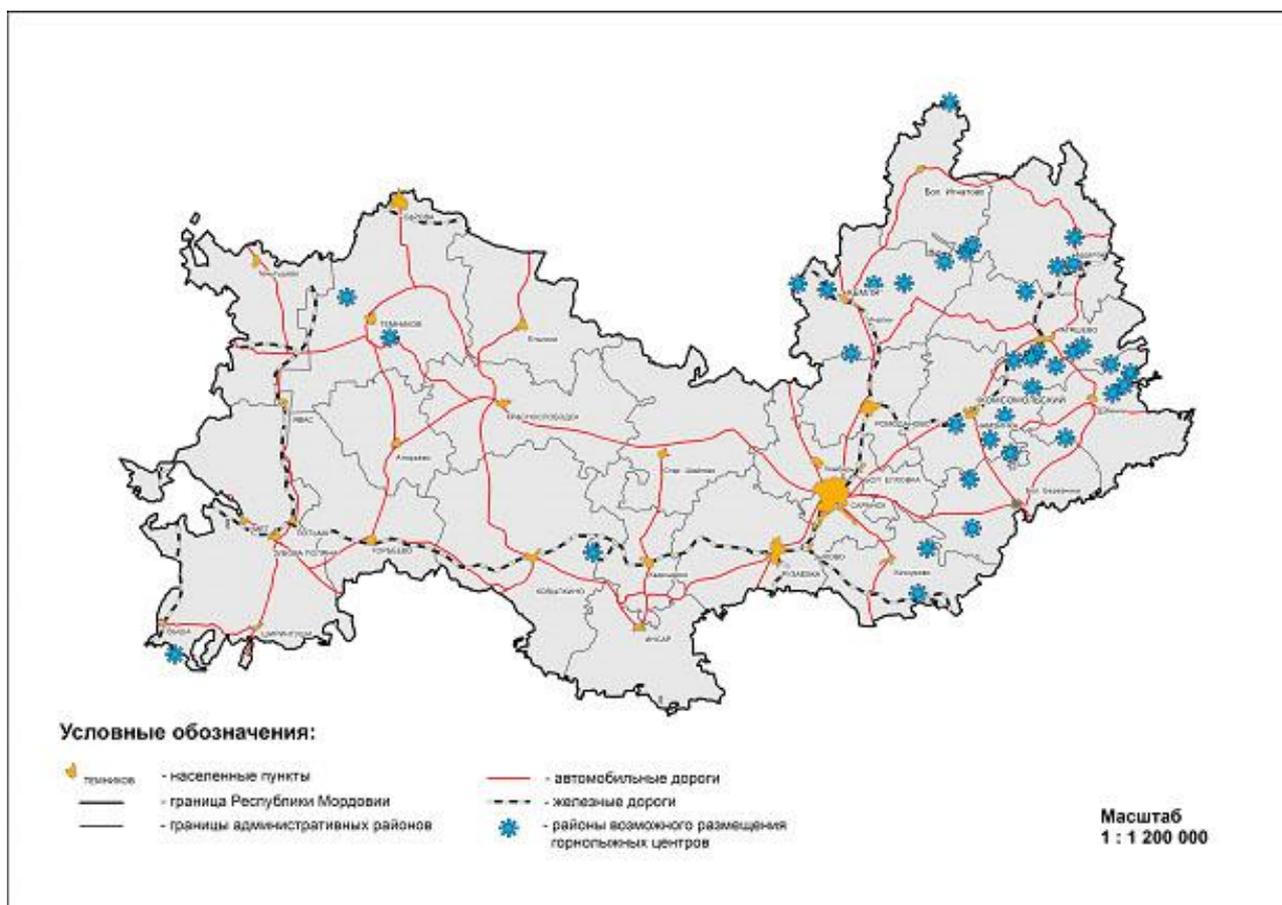


Рис. 4. Цифровая модель мест возможного размещения горнолыжных центров в Республике Мордовия.

Полученные на основе комплексного ГИС-анализа ЦМР производные геоинформационно-картографические модели могут найти широкое применение в организации планирования и размещения, создаваемых геосистем рекреационной направленности (от отдельных комплексов и центров до целых туристско-рекреационных зон) и управления ими, решая, в конечном счете, так же задачи оптимизации регионального природопользования, включая рациональное использование земельных ресурсов региона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вакулич О. А., Левашкина О. М., Тесленок С. А. Предварительная подготовка тематических слоев для создания карт туристско-рекреационных особых экономических зон // Картография и геодезия в современном мире: материалы второй Всерос. науч.-практ. конф., Саранск, 8 апр. 2014. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – С. 23–29.
2. Васильев О. Д., Чистов С. В. Опыт тематического картографирования (на примере карты эстафеты Олимпийского огня «Сочи-2014») [Электронный ресурс] // Огарев-online. Раздел «Науки о Земле». – 2015. – № 4. – URL: <http://journal.mrsu.ru/arts/opyt->

- tematicheskogo-kartografirovaniya-na-primere-karty-ehstafety-olimpijskogo-ognya-sochi-2014.
3. Капралов Е. Г., Кошкарев А. В., Тикунов В. С. и др. Геоинформатика: в 2 кн. – Кн. 1: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Под. ред. В. С. Тикунова. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 384 с.
  4. Ивлиева Н. Г., Карасев А. С., Манухов В. Ф. Применение ГИС-технологий в прикладных исследованиях в области финно-угроведения // Геодезия и картография. – 2012. – № 6. – С. 17–23.
  5. Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков: Учебник. – М.: КДУ, 2008. – 424 с.
  6. Справочник по картографии / А.М. Берлянт, А.В. Гедымин, Ю.Г. Кельнер и др. / Под ред. Е. И. Халугина. – М.: Недра, 1988. – 428 с.
  7. Тесленок К. С., Тесленок С. А. Цифровое моделирование рельефа в предотвращении и ликвидации некоторых чрезвычайных ситуаций природного характера // Картография и геодезия в современном мире: мат-лы второй Всерос. науч.-практ. конф., Саранск, 8 апр. 2014 г. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – С. 155–161.
  8. Тесленок С. А. Особенности визуализации элементарных природных комплексов цифровой ландшафтной карты // Вестник Воронежского университета. Серия География. Геоэкология. – 2014. – № 3. – С. 49–52.
  9. Тесленок С. А., Манухов В. Ф., Тесленок К. С. Ландшафтные карты информационных ресурсов интернета и их использование в учебном процессе // Изв. Смоленского государственного университета. – 2013. – № 3. – С. 337–347.
  10. Тикунов В. С. Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение. – М., Смоленск: Изд-во СГУ, 1999. – 176 с.