

**К.С. Тесленок**<sup>1</sup>, А.П. Муштайкин<sup>2</sup>, С.А. Тесленок<sup>3</sup>**ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА****АННОТАЦИЯ**

В статье выделены этапы работы, в ходе которой выявлялось влияние отдельных свойств рельефа на пахотные угодья. Изучалась возможность использования цифровых моделей рельефа для обнаружения тех характеристик, которые могут оказать наиболее значительное воздействие. Были сделаны выводы о наличии связи между этими характеристиками и угодьями, определено их место в ряду других характеристик пахотных земель.

Первоначальный этап работы заключался в подборе исходных данных на исследуемую территорию и их получении в нужном виде. При этом обрабатывались методики автоматизированного получения ЦМР. На следующем этапе рассматривались и анализировались отдельные характеристики рельефа, проблемы их получения и ранжирование по степени важности для используемой методики. На заключительном этапе проводился анализ пахотных сельскохозяйственных угодий, их связь с рельефом и его отдельными характеристиками, были сделаны выводы, и на их основе составлены практические рекомендации.

Исследуемая территория — бассейн р. Виндрей — весьма репрезентативна для демонстрации преимуществ обрабатываемой технологии. Она занята как обширными сельскохозяйственными угодьями в восточной части бассейна, так и лесными участками на западе. При отработке методики было важно продемонстрировать возможности использования анализируемой технологии в сфере природопользования и повышения экономической эффективности использования территории.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** геоинформационное картографирование, ЦМР, анализ рельефа, ГИС ArcGIS, сельское хозяйство

**Kirill S. Teslenok**<sup>4</sup>, Anton P. Mushtaykin<sup>5</sup>, Sergey A. Teslenok<sup>6</sup>**STUDYING THE PECULIARITIES OF AGRICULTURAL LANDS  
WITH THE USE OF DIGITAL RELIEF MODELS****ABSTRACT**

The article highlights the stages of work during which the impact of individual terrain properties on arable farming was identified. The possibility of using digital elevation models (DEM) to identify those characteristics that can have a significant impact on such lands was studied. Findings have been made about the relationship between these features and the sites, and their place among other arable land features has been determined.

<sup>1</sup> Сурская горно-геологическая компания, ул. Ст. Разина, д. 17а, 430011, Саранск, Россия

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва, Географический факультет, ул. Большевикская, д. 68, 430005, Саранск, Россия; *e-mail*: [anton169@mail.ru](mailto:anton169@mail.ru)

<sup>3</sup> Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва, Географический факультет, ул. Большевикская, д. 68, 430005, Саранск, Россия; *e-mail*: [teslserg@mail.ru](mailto:teslserg@mail.ru)

<sup>4</sup> Sursk Mining and Geological Company, 17A, Stepan Razin str., 17a, 430011, Saransk, Republic of Mordovia, Russia

<sup>5</sup> National Research Ogarev Mordovia State University, Faculty of Geography; Bolshevistskaya str., 68, 430005, Saransk, Republic of Mordovia, Russia; *e-mail*: [anton169@mail.ru](mailto:anton169@mail.ru)

<sup>6</sup> National Research Ogarev Mordovia State University, Faculty of Geography; Bolshevistskaya str., 68, 430005, Saransk, Republic of Mordovia, Russia; *e-mail*: [teslserg@mail.ru](mailto:teslserg@mail.ru)

The initial step was to select the baseline data for the area under study and obtain it in the form we needed. Here, techniques for automated DEM acquisition are being developed. At the next stage, individual terrain characteristics, complexity of their acquisition and ranking by importance for this methodology were considered and analyzed. At the final stage the analysis of agricultural lands, their connection with the relief and its characteristics was carried out, practical conclusions were drawn and recommendations were made based on them.

It should be noted that the study area — the Vindrei River basin — is very illustrative for showing the advantages of the technology being developed. Its territory is occupied both by extensive agricultural land and forest areas. During the development of the methodology it was important to demonstrate the possibilities of using the technology in the field of nature management and improving economic efficiency of the area.

**KEYWORDS:** GIS mapping, DEM, analysis of relief, the GIS ArcGIS, agriculture

## ВВЕДЕНИЕ

Геоморфометрический анализ — это количественный анализ поверхности рельефа без разделения её на отдельные формы [Кузьмин и др., 2007; Готов, 2013]. Получение морфометрических характеристик рельефа чрезвычайно важно при комплексном изучении и картографировании территории, прогнозировании и ландшафтном планировании. Именно рельеф и его параметры признаются наиболее важными при выделении природно-территориальных комплексов наиболее различных классификационных рангов [Тесленок и др., 2019]. Не менее важным является изучение малых форм рельефа, приуроченных к отдельным районам или, как в нашем случае, бассейнам малых рек [Кащавцева, Шипулин, 2011; Абакумова, 2016; Муштайкин, Тесленок, 2018]. Изучение и анализ подобных форм рельефа всегда отличались особой сложностью из-за недостатка или недоступности данных по ним, невозможности применения к ним общепризнанных методик геоморфометрического анализа.

Основной целью используемой технологии является предварительный анализ сельскохозяйственных и пахотных угодий и их дистанционная квалификация, что позволяет сэкономить время в процессе дальнейшего изучения их качества, включающего анализ важных лимитирующих факторов в конкретных ландшафтных условиях — плодородия почв и характера их увлажнения. Результаты, получаемые с помощью данной технологии, могут помочь в планировании и решении задач оптимизации и рационализации природопользования на региональном и локальном уровнях. В нашем случае это относится к территориям Торбеевского, Атюрьевского, Ковылкинского и Зубово-Полянского муниципальных районов Республики Мордовия, в пределах которых расположен бассейн р. Виндрей.

В связи с этим основой работы стали поиск и отработки методик, позволяющих формировать цифровые модели рельефа (ЦМР) с минимальными искажениями относительно его реальных характеристик для бассейнового моделирования [Кащавцева, Шипулин, 2011; Абакумова, 2016; Муштайкин, Тесленок, 2018] с целью их дальнейшего практического применения, прежде всего, в сфере сельского хозяйства.

В этой отрасли нашли свое применение характеристики, получаемые в результате геоморфометрического анализа рельефа. С их помощью можно определить участки, особенности рельефа которых благоприятствуют или, наоборот, препятствуют организации и осуществлению тех или иных видов сельскохозяйственной деятельности, применению различных технологий, оптимальному использованию и повышению продуктивности сельскохозяйственных угодий.

Исследуемая территория — это водосборный бассейн р. Виндрей, протекающей в западной части Республики Мордовия [Ямашкин, 1998], являющейся правым притоком р. Цны, относящейся к бассейну р. Волги. Абсолютные отметки высот в пределах бассейна изменяются от 97 м (минимальная) до 223 м (максимальная). Территория занята

обширными сельскохозяйственными угодьями (преобладающими в восточной части бассейна) и лесными участками (в западной).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для выбора исходной ЦМР было выполнено изучение доступных данных о высотах территории исследования. Всю исследуемую территорию покрывали как растровые изображения из свободно распространяемых баз SRTM (с пространственным разрешением в 90 м), так и векторные слои горизонталей цифровой топографической карты Республики Мордовия м-ба 1: 200 000, полученные по результатам соответствующей работы [Тесленок и др., 2019]. Они сравнивались с данными топографической съёмки м-ба 1: 5 000 на несколько населённых пунктов исследуемой территории [Муштайкин и др., 2019] методами аппаратных вычислений и визуального анализа, в результате чего векторные слои как более точные были выбраны в качестве основы для работы.

Все работы по анализу и картографированию проводились в ГИС ArcGIS, функционал которой позволяет осуществлять бассейновое моделирование и проводить анализ полученных морфометрических характеристик рельефа. Исходные слои (рис. 1) были экспортированы в программу, и была получена ЦМР на территорию исследуемого района (рис. 2).

С целью повышения качества и степени точности модели, она строилась с определённым запасом за границами изучаемого района, а позже была обрезана по ним [Кащавцева, Шипулин, 2011].

Оценка качества полученной ЦМР, подтверждающая адекватность цифрового описания рельефа, была выполнена сравнением исходных и интерполированных горизонталей [Тесленок и др., 2019].

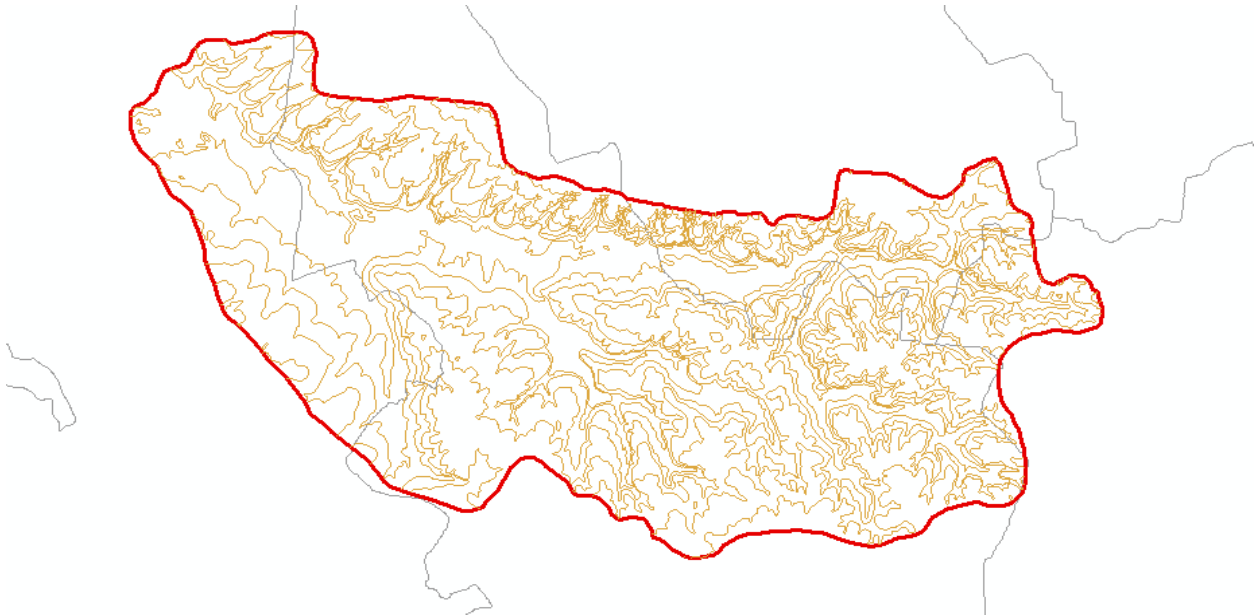


Рис. 1. Векторный слой горизонталей на территорию бассейна реки Виндрей  
Fig. 1. Vector layer of horizontals in the Vindrei River basin

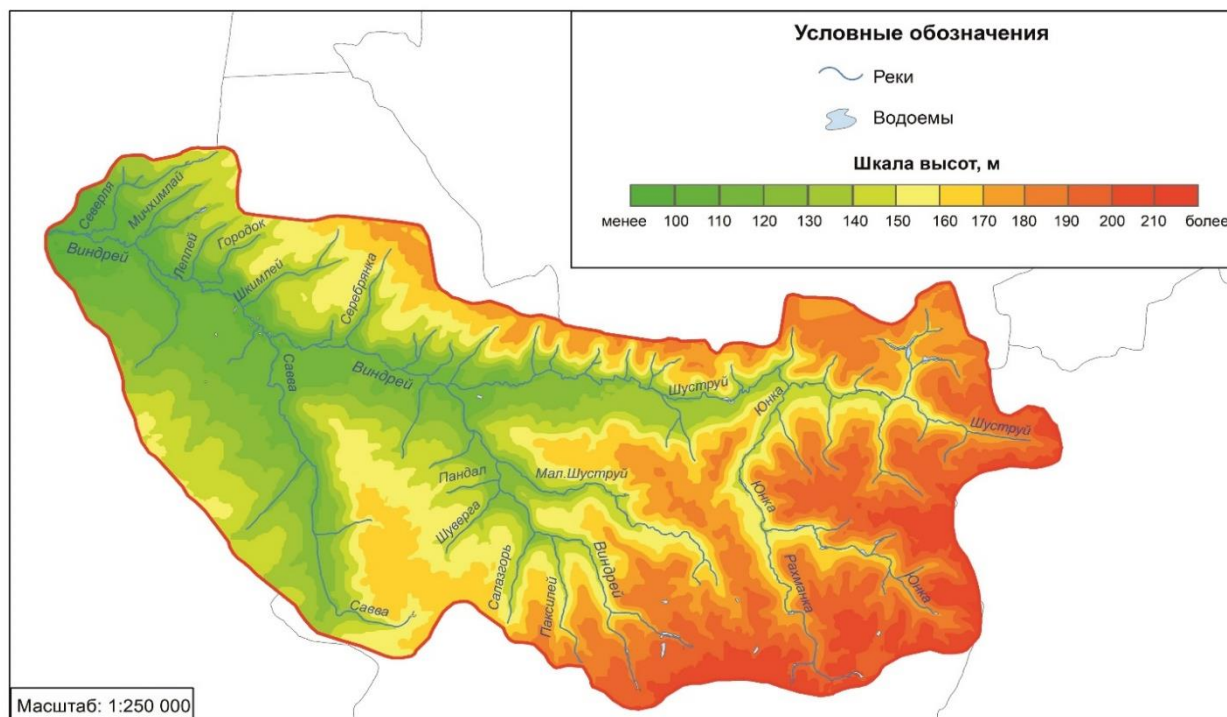


Рис. 2. Цифровая модель рельефа на территорию бассейна реки Виндрей  
 Fig. 2. Digital elevation model of the Vindrei River basin area

Далее на основе ЦМР были получены карты важнейших морфометрических показателей рельефа: уклонов поверхности рельефа (рис. 3) и экспозиции склонов (рис. 4), а также не менее важных для сельскохозяйственного производства и, особенно, земледелия, показателей плановой и профильной кривизны склонов, их вертикального и горизонтального расчленения, основных структурных линий [Симонов, 1998; Кузьмин и др., 2007; Готов, 2013; Тесленок и др., 2019].

Последние три характеристики определялись не автоматизированным методом, как первые четыре, а вручную, по изображению ЦМР, сравнением соседних ячеек раstra.

Использование показателей различной величины уклонов поверхности и амплитуды высот дает возможность выявить участки, подверженные опасности подтопления, затопления и заболачивания, а также такие, почвенный покров которых в разной степени подвержен негативному воздействию природных и антропогенно стимулированных процессов, прежде всего склоновой эрозии.

Значение каждого проанализированного показателя (уклон поверхности, экспозиция, плановая кривизна, профильная кривизна, вертикальное расчленение, горизонтальное расчленение, наличие и количество основных структурных линий) распределялось по двум категориям: положительное влияние на качество сельскохозяйственных пахотных угодий оценивалось в 1 балл, за отрицательное — 1 балл снимался.

Целью работы было исследование возможности выделения различных участков сельскохозяйственных угодий, но данная технология может прорабатываться в дальнейшем, имея возможность вводить и использовать значительное большее число квалификаций в рамках отдельных показателей.

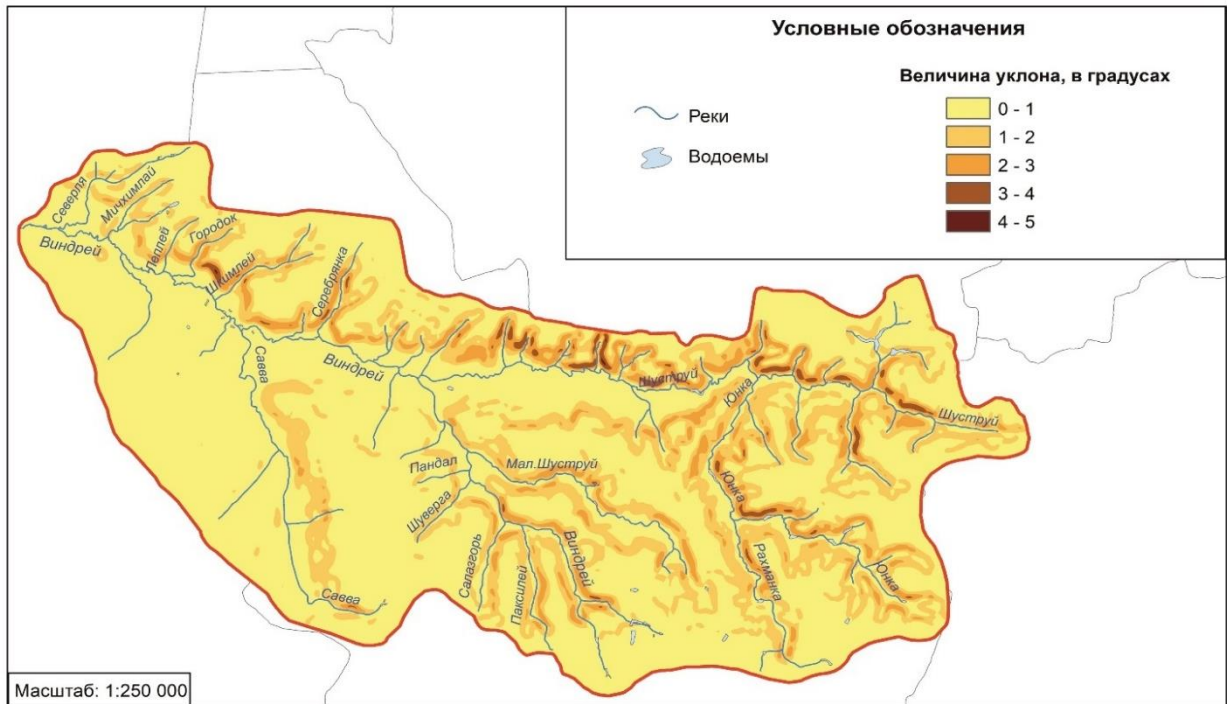


Рис. 3. Карта уклонов поверхности на территорию бассейна реки Виндрей  
 Fig. 3. Surface gradients map of the Vindrei River basin area

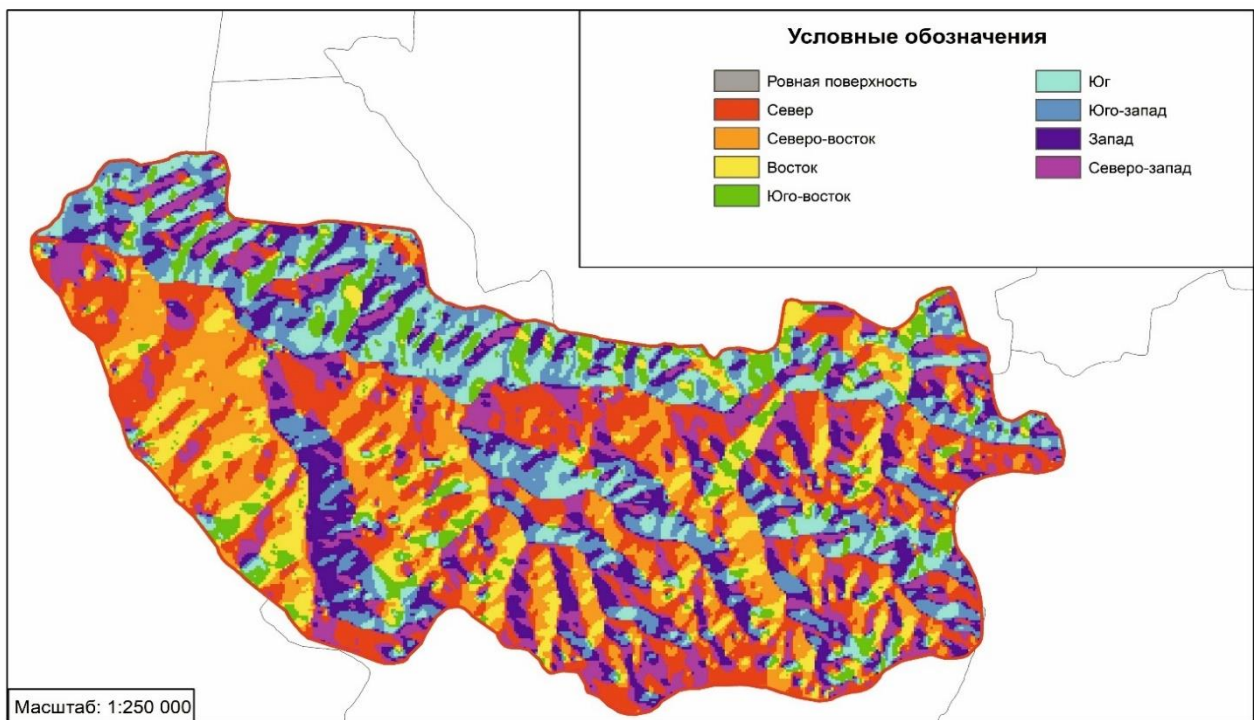
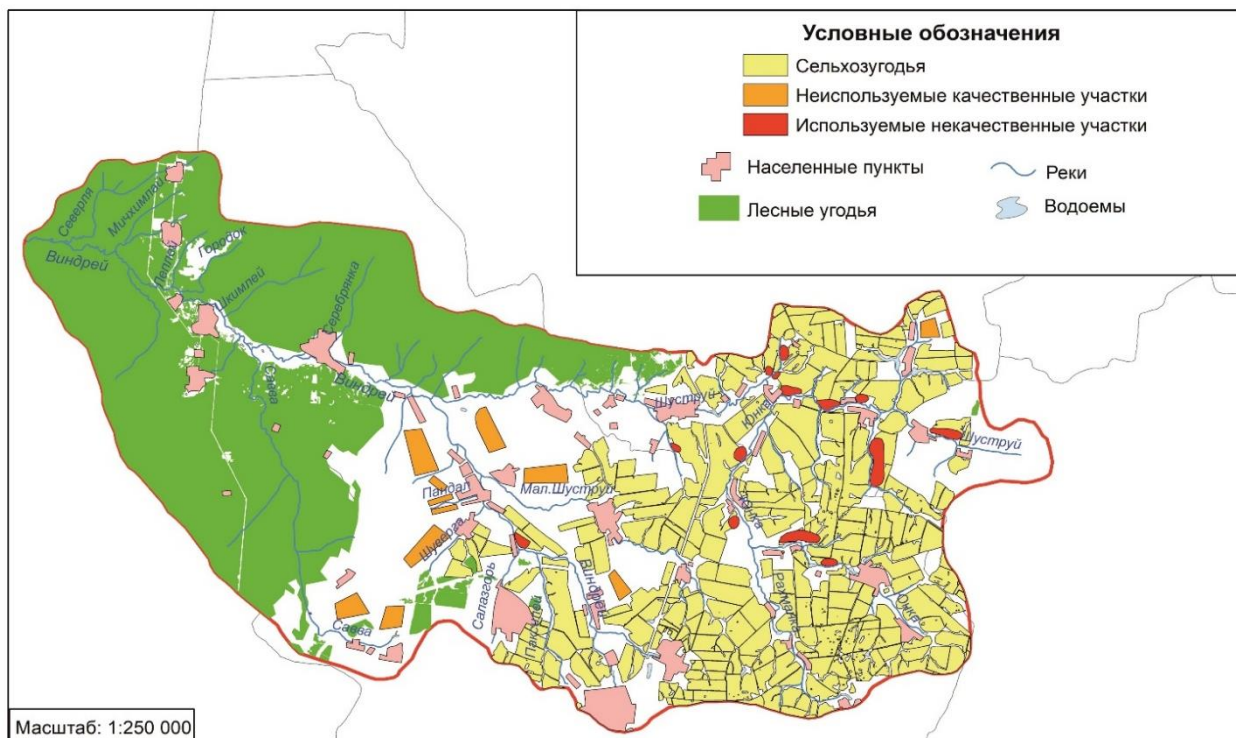


Рис. 4. Карта экспозиции склонов на территорию бассейна реки Виндрей  
 Fig. 4. Slope exposure map for the Vindrei River basin area



*Рис. 5. Анализ использования сельскохозяйственных участков на территории бассейна реки Виндрей*  
*Fig. 5. Analysis of the use of agricultural areas on the territory of the Vindrei River basin*

На полученной по результатам морфометрического анализа ЦМР карте (рис. 5), в частности, выделены участки, которые в настоящее время не используются, но обладают высоким сельскохозяйственным потенциалом. Там же показаны участки, которые, наоборот, было бы целесообразно вывести из сельскохозяйственного фонда и передать под другие нужды, например, природоохранных цели или проведение на них лесовосстановительных работ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного геоморфометрического анализа ЦМР были получены следующие результаты.

1. Выделены неиспользуемые в настоящее время качественные участки, обладающие высоким агропотенциалом. Они характеризуются отсутствием резких уклонов и перепадов высот, а также не имеют риска потенциального подтопления, затопления и заболачивания. Это гарантирует высокую продуктивность размещенных на них сельскохозяйственных пахотных угодий и позволяет обеспечить значительный экономический эффект от их освоения и вовлечения в сельскохозяйственный оборот.

2. Выделены используемые в настоящее время некачественные участки, не обладающие высоким агропотенциалом. Для них, напротив, характерны вышеперечисленные негативные черты рельефа, отсутствующие у качественных участков.

Наиболее типичными здесь являются заболоченность и резкие перепады высот со значительными амплитудами. Такие участки рекомендуется вывести из состава земель сельскохозяйственного назначения и передать под другие нужды.

В дальнейшем, на основе показателей экспозиции и крутизны склонов предполагается выделить участки с различной степенью освещённости, количеством поступающей солнечной энергии (и, соответственно, разными величинами энергетического потенциала фотосинтетически активной радиации, расчёт которых позволит конкретизировать и уточнить полученные данные). В конечном счёте это позволит определять особенности локальных режимов тепловлагообеспеченности.

Картометрический анализ территории бассейна реки Виндрей даёт нам следующие данные. Доля неиспользуемых в настоящее время потенциально качественных, с точки зрения сельскохозяйственного использования, участков с соответствующими особенностями рельефа составляет 1,55 % от общей площади исследуемой территории, а используемых некачественных — 0,72 %. Учитывая, что речь идет о нескольких десятках км<sup>2</sup>, это в итоге даёт значительную по площади территорию, современное хозяйственное использование и эксплуатация природного потенциала которой осуществляется нерационально.

## ВЫВОДЫ

Полученные в результате комплексного геоморфометрического ГИС-анализа данные и геоинформационно-картографические материалы обладают достаточной степенью детальности и позволяют использовать их совместно с технологией определения качества сельскохозяйственных угодий. Данная технология успешно апробирована для территории Торбеевского муниципального р-на Республики Мордовия и может быть рекомендована к практическому применению на любой другой территории.

Здесь необходимо отметить возможность дополнительного использования методов анализа общедоступных дистанционных данных [Magagna et al., 2015], что особенно важно для слабоизученных и удалённых территорий. Отработанная методика обладает доступностью и достаточной дешевизной, а также способна принести долгосрочную потенциальную прибыль.

Использованная технология позволяет включить в оборот новые качественные сельскохозяйственные пахотные угодья или перераспределить существующие и может быть рекомендована к активному использованию как государственными, так и частными сельскохозяйственными предприятиями и их подразделениями, органами государственной власти, муниципального и местного управления.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, грант № 19-05-00066.

## ACKNOWLEDGMENTS

The study was funded by the Russian Foundation of Basic Research, grant No 19-05-00066.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумова В.Ю. Применение ГИС для изучения взаимосвязи рельефа и речной сети на примере бассейна малой реки (Забайкальский край). Молодой учёный, 2016. № 22. С. 119–124.
2. Глотов А.А. Использование ЦМР для задач рационального природопользования и мониторинга природных процессов. Управление развитием территории, 2013. № 2. С. 39–41.
3. Захаров П.С. Эрозия почв и меры борьбы с ней. М.: Колос, 1971. 191 с.
4. Кащавцева А.Ю., Шипулин В.Д. Моделирование речных бассейнов средствами ArcGIS 9.3. Учёные записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия «География», 2011. Т. 24 (63). № 3. С. 85–92.
5. Кузьмин С.Б., Данько Л.В., Черкашин Е.А., Осипов Э.Ю. Цифровые модели рельефа: методика построения и возможности использования при геоморфологическом анализе.

- Геоморфология, 2007. № 4. С. 33–41. DOI: <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2007-4-33-41>.
6. *Муштайкин А.П., Тесленок С.А.* Получение и анализ морфометрических характеристик рельефа и соответствующих карт и моделей на основе бассейнового моделирования. XXII Научно-практическая конференция молодых учёных, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарёва. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2018. С. 175–180.
7. *Симонов Ю.Г.* Морфометрический анализ рельефа. М., Смоленск: Издательство Смоленского государственного университета, 1998. С. 121–128.
8. *Тесленок С.А., Манухов В.Ф., Тесленок К.С.* Цифровое моделирование рельефа Республики Мордовия. Геодезия и картография, 2019. Т. 80. № 7. С. 30–38. DOI: 10.22389/0016-7126-2019-949-7-30-38.
9. *Ямашкин А.А.* Физико-географические условия и ландшафты Мордовии. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1998. 156 с.
10. *Magagna A., Giardino M., Perotti L., Ferrero E.* Geoscience education research merging smartphone-aided field trips and Google Earth for geomorphologic landscape analysis. GSA Annual Meeting, At Baltimore, Maryland, USA. V.: Geological Society of America Abstracts with Programs, 2015. V. 47. No. 7. P. 188.

## REFERENCES

1. *Abakumova V.Y.* Application of GIS for study of the relief and river network interconnection on the example of a small river basin (Transbaikalia Territory). Young Scientist, 2016. No 22. P. 119–124 (in Russian).
2. *Glotov A.A.* The use of DEM for the tasks of environmental management and monitoring of natural processes. Territory Development Management, 2013. No 2. P. 39–41 (in Russian).
3. *Kashhavytseva A.Yu., Shipulin V.D.* Modeling of river basins by means of ArcGIS 9.3. Scientific Notes of the Tauride National University named after V.I. Vernadsky. Geography Series, 2011. V. 24 (63). No 3. P. 85–92 (in Russian).
4. *Kuz'min S.B., Dan'ko L.V., Cherkashin E.A., Osipov E.Y.* Digital elevation models: methods of arrangement and possible implication in geomorphological researches. Geomorphology, 2007. No 4. P. 33–41. DOI: <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2007-4-33-41> (in Russian).
5. *Magagna A., Giardino M., Perotti L., Ferrero E.* Geoscience education research merging smartphone-aided field trips and Google Earth for geomorphologic landscape analysis. GSA Annual Meeting, At Baltimore, Maryland, USA. V.: Geological Society of America Abstracts with Programs, 2015. V. 47. No 7. P. 188.
6. *Mushtaikin A.P., Teslenok S.A.* Getting and analysis of morphometric characteristics of relief and corresponding maps and models on the basis of basin modeling. XXII Scientific-practical conference of young scientists, post-graduate students and students of the National Research Mordovian State University named after N.P. Ogaryov. Saransk: Mordovian State University, 2018. P. 175–180 (in Russian).
7. *Simonov Y.G.* Morphometric analysis of the relief. Moscow, Smolensk: Smolensk State University Publishing House, 1998. P. 121–128 (in Russian).
8. *Teslenok S.A., Manukhov V.F., Teslenok K.S.* Digital elevation modeling of the Republic of Mordovia. Geodesy and Cartography, 2019. V. 80. No 7. P. 31–38. DOI: 10.22389 / 0016-7126-2019-949-7-31-38 (in Russian).
9. *Yamashkin A.A.* Physico-geographical conditions and landscapes of Mordovia. Saransk: Mordovian State University, 1998. 156 p. (in Russian).
10. *Zakharov P.S.* Soil erosion and measures against it. Moscow: Kolos, 1971. 191 p. (in Russian).