

УДК 004:004.9:912.43:528.9: 528.46:528.94:528.92:911:631.11:332.3 (470.345)

К.С. Тесленок¹,
С. А. Тесленок²,
А. П. Муштайкин³,
В. Н. Маскайкин⁴

**Возможности использования
геоморфометрического анализа для оценки
качества сельскохозяйственных угодий**

¹ООО «Сурская горно-геологическая компания»,
г. Саранск, Российская Федерация
^{2,3,4}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет
им. Н. П. Огарёва», г. Саранск, Российская Федерация
e-mail: teslserg@mail.ru², anton169@mail.ru³,
mordrosgeo@mail.ru⁴

Аннотация. Рассматривается влияние отдельных геоморфометрических показателей, на свойства пахотных сельскохозяйственных угодий. Было важно показать потенциал использования предлагаемой технологии в сфере повышения экономической эффективности управления малыми территориями. Сделан вывод о возможностях использованной методики, определены сферы ее применения в практическом и географическом плане. Проведен анализ использования пахотных земель, даны рекомендации по улучшению ситуации в сфере землепользования.

Ключевые слова: сельское хозяйство, сельскохозяйственные угодья, цифровое моделирование рельефа, геоинформационное картографирование, геоморфометрия, анализ рельефа, геоморфометрический анализ, ГИС ArcGIS, речной бассейн, Виндрей.

Введение

Сегодняшнее развитие в сфере геоинформационных технологий достигло невиданных прежде высот. С помощью различных технических средств и компьютерных программ стали возможными удаленное получение и обработка географических данных, а так же их анализ, результаты которого приводят в конечном итоге к существенному улучшению в сфере землепользования, и в первую очередь — сельскохозяйственного.

В настоящее время геоморфометрический анализ определяется в качестве одного из методов современных геоморфологических исследований, и его использование позволяет получать и изучать разнообразные количественные характеристики форм рельефа на основе системы специальных измерений [1–3; 6; 8; 10–12; 15; 16]. Роль и значение таких морфометрических характеристик значительны в процессе комплексного изучения и картографирования территорий разного иерархического уровня и масштабной размерности, в ландшафтном планировании и прогнозировании их состояния и дальнейшего развития, при организации и осуществлении инженерно-геологических изысканий и др. [1; 8; 10; 11; 16]. Рельеф и его различные параметры — наиболее важный критерий, используемый и при выделении природно-территориальных комплексов разных классификационных рангов [2; 5; 10; 13; 15].

Получаемые в результате геоморфометрического анализа характеристики нашли свое применение и в сельском хозяйстве. Они позволяют достаточно легко

выявить участки, местная ландшафтная специфика и рельеф которых либо облегчает, либо, напротив, мешает осуществлению и развитию качественного земледелия и повышенной урожайности возделываемых культур, и при необходимости — вычислить их различные параметры и показатели [1; 4; 11]. Особенно примечательна эта технология тем, что позволяет с минимальными финансовыми затратами помочь в планировании не в полной мере финансово и материально обеспеченным районам и территориям. В Республике Мордовия имеется несколько таких районов, а бассейн реки Виндрей (площадь 1 140 км²; бассейн рек Парца → Вад → Мокша → Ока → Волга) как раз расположен (рис. 1) в пределах четырех из них: Атюрьевском, Зубово-Полянском, Ковылкинском и Торбеевском (на большей части территории последнего). Причем наиболее освоенной в сельскохозяйственном отношении являются центральная и, особенно, восточная часть бассейна, в то время как в западной преобладают лесные массивы.

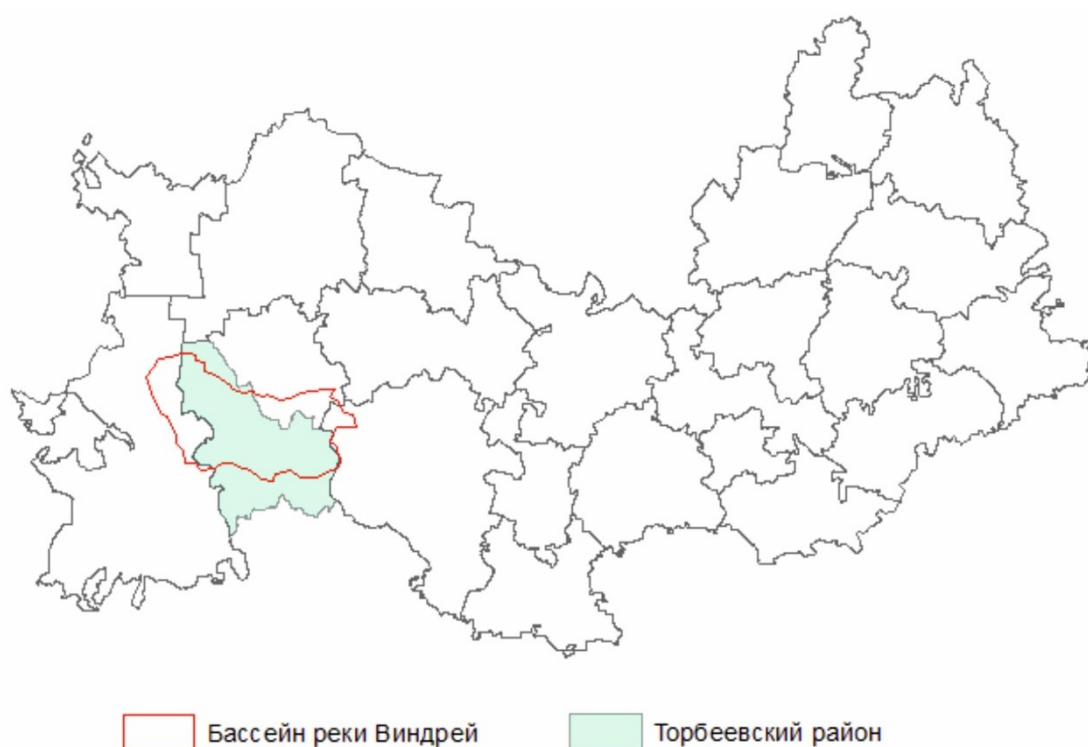


Рис. 1. Расположение бассейна р. Виндрей на территории Мордовии (вне масштаба).

Материалы и методы

Первый этап работы состоял в подборе исходных данных на исследуемую территорию и их представлении в нужном виде. Цифровые данные для работы с векторными слоями элементов рельефа, горизонталей, отметок высот и урезом воды топографической карты Республики Мордовия масштаба 1:200 000, последующего цифрового моделирования рельефа и построения серии производных карт и моделей были получены в результате выполнения серии предыдущих работ [10; 11; 14]. Данные исходных слоев были экспортированы в ГИС ArcGIS, в функционале которой заложены как возможности анализа полученных морфометрических характеристик рельефа, так и осуществления

бассейнового моделирования [5; 10; 11; 13]. Затем решалась задача построения цифровой модели рельефа (ЦМР) [1–3; 5–7; 10] на исследуемую территорию (рис. 3).

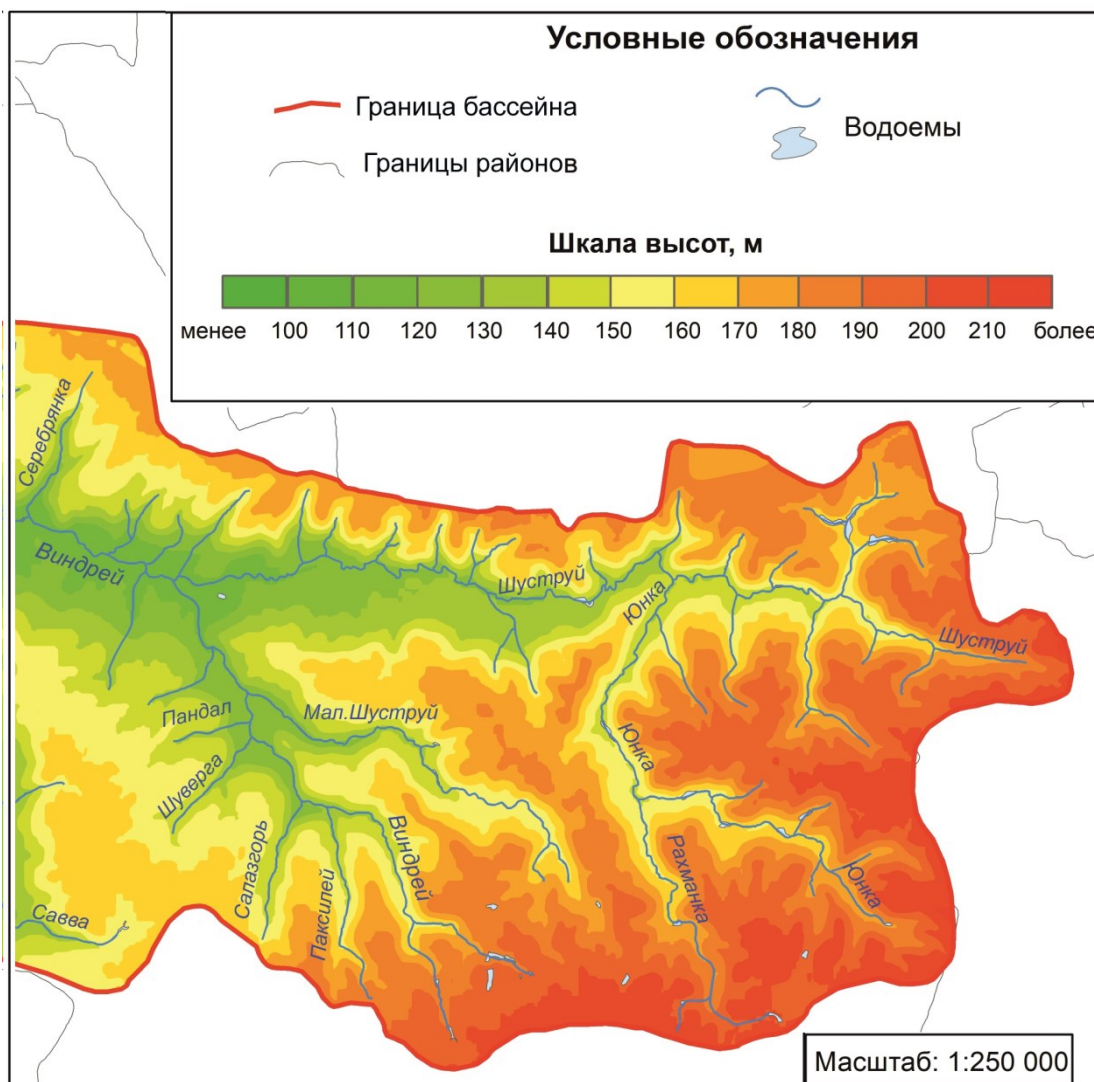


Рис. 3. Цифровая модель рельефа в пределах сельскохозяйственно освоенной части бассейна р. Виндрей (вне масштаба).

Составлено авторами

Утрированная в цветовом отношении гипсометрическая шкала применена с целью лучшего различения каждой из 13 отдельных ступеней шкалы высот. Изначально ЦМР создавалась на гораздо большую территорию, нежели площадь центральной и восточной частей бассейна р. Виндрей, для повышения качества интерполирования и точности моделирования. Затем на ее основе была получена серия производных карт и моделей [3; 5; 10; 11; 15–17], из которых в нашем случае наибольший интерес представляла карта уклонов поверхности (рис. 4).

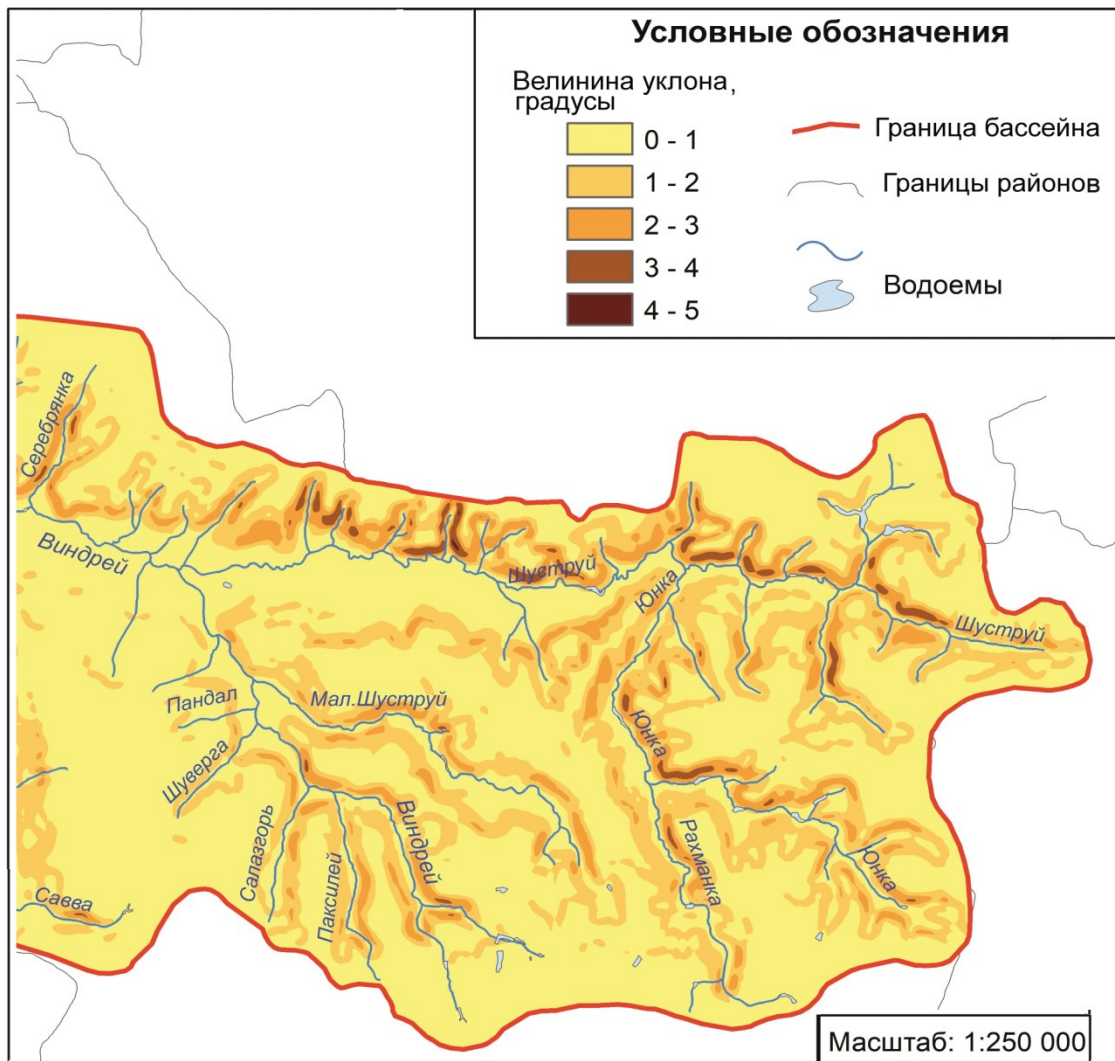


Рис. 4. Карта уклонов поверхности в пределах сельскохозяйственно освоенной части бассейна р. Виндрей (вне масштаба).

Составлено авторами

Результаты и обсуждение

На следующем этапе был проведен анализ отдельных элементов рельефа: определена их сложность, а полученные данные использованы для составления иерархической лестницы важности итогового результата. Совместное использование и анализ полученных морфометрических показателей величин уклонов поверхности (крутизны склонов) и амплитуды высот в пределах различных территориальных ячеек дало возможность выявить участки, в разной степени подверженные опасности воздействия негативных природных и природно-стимулированных процессов.

В их числе, прежде всего, такие как подтопление, затопление и заболачивание, связанные с выпадением повышенного количества атмосферных осадков, интенсивным снеготаянием, подъемом уровня водоемов и грунтовых вод. Кроме того, были выявлены такие территории, почвенный покров которых в

той или иной степени подвержен негативному воздействию разного рода природных и антропогенно стимулированных экзогенно-динамических процессов, прежде всего склоновой эрозии [1–5; 8; 11]. Это позволило на основе полученной информации провести отбор потенциально пригодных пахотных земель.

Значения каждого проанализированного геоморфометрического показателя (уклон поверхности, экспозиция, плановая кривизна, профильная кривизна, вертикальное расчленение, горизонтальное расчленение, наличие и количество основных структурных линий и др.) распределялись по двум категориям. При этом положительное влияние на качество сельскохозяйственных пахотных угодий оценивалось в 1 балл, а за отрицательное, соответственно, 1 балл снимался. Таким образом, среди всех участков сельскохозяйственных угодий, в дополнение к соответствующим в той или иной мере их природно-ресурсному потенциалу, были выявлены, проанализированы и картографированы аномальные. Они были определены как «неиспользуемые качественные» и «используемые некачественные» (рис. 5).

В результате это позволило учесть с одной стороны — отдельные участки сельскохозяйственных угодий, которые сейчас не используются, но при этом обладают высоким агропроизводственным и природно-хозяйственным потенциалом, а с другой — участки, которые напротив, целесообразнее было бы вывести из сельскохозяйственного фонда и оборота, передав под другие нужды. Территориально первая группа участков сельскохозяйственных угодий практически полностью приурочена к центральной части бассейна р. Виндрей, а вторая – к северо-восточной (см. рис. 5). При этом неиспользуемые качественные участки сельскохозяйственных угодий находятся в непосредственной близости от ближайших населенных пунктов, что позволит возобновить их хозяйственное использование в качестве пашни в максимально короткие сроки и с минимальными материальными затратами.

При проведении комплексного геоморфометрического анализа рельефа бассейна р. Виндрей средствами геоинформационных технологий были получены следующие результаты.

1. Выделены качественные в пахотном отношении, но не используемые в настоящее время (часть из них — полностью заброшенные) участки (см. рис. 5). Они характеризуются отсутствием больших значений уклонов и перепадов высот, а также не подвержены чрезмерному воздействию процессов подтопления и заболачивания. Все это гарантирует их высокую хозяйственную продуктивность и позволяет прогнозировать значительную экономическую выгоду от восстановления их пахотного использования (земледельческого освоения) и вовлечения в хозяйственный оборот.

2. Выделены некачественные используемые участки (см. рис. 5). Они характеризуются наличием всех тех негативных черт, которые отсутствуют у описанных выше качественных участков. Наиболее оптимальным хозяйственным управленческим решением в их отношении было бы рекомендовать вывести такие территории из фонда сельскохозяйственных угодий (и, особенно, из категории пашни) и передать под другие нужды.

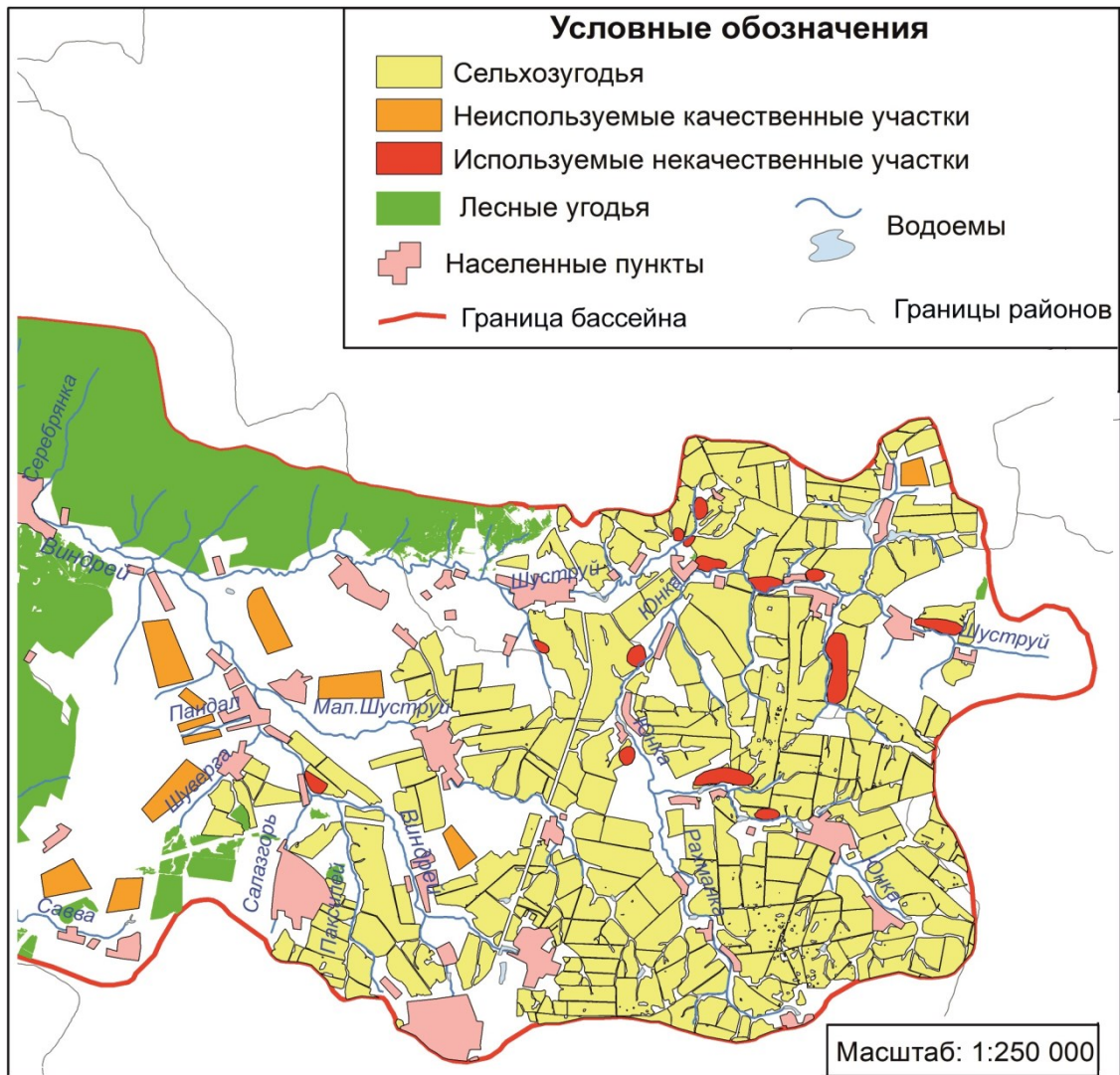


Рис. 5. Результаты анализа участков сельскохозяйственных угодий в пределах сельскохозяйственно освоенной части бассейна р. Виндрей (вне масштаба).
Составлено авторами

Наиболее целесообразным стало бы проведение на территории подобных участков постаграрных земель работ по лесовосстановлению и/или после их экологической ренатурации и реабилитации — формирование на их основе новых элементов природно-экологического каркаса [9] с последующим включением в состав земель экологического фонда и/или использованием в качестве территорий экологической компенсации. Таким образом, решались бы и задачи оптимизации локального и регионального природопользования в бассейнах малых рек [1–4; 6; 9; 10; 15; 16].

Выводы

Комплексные данные и геоинформационно-картографические материалы, полученные в результате геоморфометрического ГИС-анализа цифровой модели рельефа бассейна р. Виндрей достаточно детальны, что позволяет широко использовать их в одной из технологий определения качества

сельскохозяйственных угодий. Стоит отметить возможность и необходимость применения современных методов получения исходных геоморфологических данных, включая дистанционные методы анализа, что особенно важно для недостаточно изученных и сравнительно удаленных территорий. Хотя целью данной работы являлось исследование возможности выделения различных по качеству участков сельскохозяйственных угодий по результатам проведения комплексного геоморфометрического анализа рельефа, изученная и предлагаемая технология может быть развита и проработана дальше, прежде всего введением и использованием значительное большего числа квалификаций в рамках изучения отдельных морфометрических показателей.

Литература

1. Голл Н. В., Нечаева Т. В., Савенков О. А., Смирнова Н. В., Смирнов В. В. Методы геоморфометрии и цифрового картографирования для оценки пространственной изменчивости свойств агросерой почвы склона // Почвоведение. 2017. № 1. С. 24–34.
2. Дубровская С. А., Ряхов Р. В. Ландшафтно-экологическое районирование города Оренбурга на основе геоморфометрических и эколого-хозяйственных особенностей территории // Геоинформатика. 2020. № 4. С. 63–70.
3. 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. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2007-4-33-41>.
4. Кутинов Ю. Г., Полякова Е. В., Чистова З. Б., Минеев А. Л., Мырцева Е. А. Вероятность проявления эрозионных процессов на территории Архангельской области на основе цифрового моделирования рельефа // Риски и безопасность в стремительно меняющемся мире: материалы 6-й Международной науч. конф. Прага: Социосфера. 2018. С. 44–48.
5. Минеев А. Л., Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б., Полякова Е. В. Геоэкологическое районирование территории Архангельской области с использованием цифровых моделей рельефа и ГИС-технологий // Пространство и Время. 2017. № 2–4 (28–30). С. 267–288.
6. Невидимова О. Г., Кузнецов А. С. Морфометрическая дифференциация плотности гелиоресурса на северном макросклоне Северо-Чуйского хребта (Горный Алтай) [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2–2. С. 731. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21540>.
7. Павлова А. И. Анализ методов интерполирования для создания цифровых моделей рельефа // Автометрия. 2017. Т. 53. № 2. С. 86–94.
8. Симонов Ю. Г. Морфометрический анализ рельефа. М.–Смоленск : Издательство Смоленского государственного университета, 1998. С. 121–128.
9. Тесленок К. С., Тесленок С. . Новые элементы экологического каркаса территории как средство повышения экологической устойчивости региона // Географические аспекты устойчивого развития регионов : Междунар. науч.-практич. конф. «Географические аспекты устойчивого развития регионов», 23–24 апр. 2015 г.: материалы: в 2 ч. Ч. 1. Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2015. С. 228–231.

10. Тесленок С. А., Манухов В. Ф., Тесленок К. С. Цифровое моделирование рельефа Республики Мордовия // Геодезия и картография. 2019. № 7. С. 30–38. DOI: 10.22389/0016-7126-2019-949-7-30-38.
11. Тесленок К. С., Муштайкин А. П., Тесленок С. А. Изучение особенностей сельскохозяйственных угодий с использованием цифровых моделей рельефа. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2020. Т. 26. Ч. 3. С. 221-228. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-221-228.
12. Флоринский И. В. Иллюстрированное введение в геоморфометрию // Альманах пространство и время. 2016. Т. 11. Вып. 1. 20 с.
13. Шихов А. Н., Черепанова Е. С., Пьянков С. В. Геоинформационные системы. Методы пространственного анализа. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2017. 88 с.
14. Ютяева Д. Н., Тесленок С. А., Буцацкая Н. В., Тесленок К. С. Подготовка растровых картографических материалов для геоинформационного картографирования и моделирования // Геоинформационное картографирование в регионах России: материалы VI (заочной) Всерос. научно-практич. конф. (Воронеж, 20 нояб. 2014 г.). Воронеж: Научная книга, 2014. С. 119–130.
15. 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, Vol.: Geological Society of America Abstracts with Programs. 2015. Vol. 47. no. 7. 188 p.
16. McGarigal K., Tagil S., Cushman S.A. Surface metrics: an alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure. Landscape Ecology. 2009. Vol. 24. pp. 433–450.
17. Zeiler M. Modeling our world: the ESRI guide to geodatabase concepts. Redlands: ESRI Press. 2010. 297 p.

**K. S. Teslenok¹,
S. A. Teslenok²,
A. P. Mushtaykin³,
V. N. Maskaykin⁴**

Possibilities of using geomorphometric analysis to assess the quality of agricultural land

¹“Sursk Mining and Geological Company”, Saransk, Russian Federation

^{2,3,4}Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russian Federation

*e-mail: teslserg@mail.ru², anton169@mail.ru³,
mordrosgeo@mail.ru⁴*

Abstract. *Today's development in geoinformation technologies has reached unprecedented heights. With the help of various tools and programmes, it has become possible to remotely receive and process geographic data and analyse them, which leads to significant improvements in land use.*

In this article, the impact of individual geomorphometric indicators obtained during the analysis on the properties of arable agricultural land was calculated. It was important to show the potential of using the proposed technology in the field of improving the

economic efficiency of managing small territories.

The study area was the Vindrei River basin (area 1140 km²; Partsa river basin → Vad → Moksha → Oka → Volga; Republic of Mordovia), which is well suited to show the advantages of the technology being developed. When demonstrating the methodology, it was important to show how this technology can be used to improve the economic efficiency of small area management.

The first stage of work consisted in selection of initial data on the investigated territory and their presentation in the necessary form. At the second stage, the analysis of individual elements of the relief was carried out: the complexity of their obtaining and compilation was determined, as well as the hierarchical ladder of importance for the final result. The joint use and analysis of the obtained morphometric indicators of the values of surface slopes (slope steepness) and the amplitude of heights within different territorial cells made it possible to identify areas that are exposed to the risk of negative natural and naturally stimulated processes to varying degrees. These include, first of all, such as flooding, flooding and waterlogging associated with increased precipitation, intense snowmelt, rising water levels and groundwater. In addition, such territories were identified, the soil cover of which is more or less subject to the negative impact of various kinds of natural and anthropogenic stimulated exogenous-dynamic processes, primarily slope erosion. Thus, at the last stage the selection of arable lands was carried out on the basis of the received information.

The values of each analyzed geomorphometric indicator (surface slope, exposure, planned curvature, profile curvature, vertical dissection, horizontal dissection, presence and number of main structural lines, etc.) were distributed into two categories. At the same time, the positive impact on the quality of agricultural arable land was estimated at 1 point, and for a negative, respectively, 1 point was removed. Thus, among all the plots of agricultural land, in addition to corresponding to some extent to their natural resource potential, anomalous ones were identified, analyzed and mapped. They were defined as “unused high-quality” and “used low-quality”. As a result of the work, it was concluded about the possibilities of the methodology used, its scope of application in practical and geographical terms.

An analysis of the use of arable land has been carried out for the territory under study, and recommendations have been made to improve the situation in the area of land use. It is worth noting the possibility and necessity of using modern methods for obtaining initial geomorphological data, including remote analysis methods, which is especially important for insufficiently studied and relatively remote territories. Although the purpose of this work was to study the possibility of identifying different quality areas of agricultural land based on the results of a comprehensive geomorphometric analysis of the relief, the studied and proposed technology can be developed and developed further, primarily by introducing and using a significantly larger number of qualifications in the study of individual morphometric indicators.

Keywords: *agriculture, agricultural land, digital elevation modeling, GIS mapping, geomorphometry, analysis of relief, geomorphometric analysis, the GIS ArcGIS, river basin, Windray.*

References

1. Goll N. V., Nechaeva T. V., Savenkov O. A., Smirnova N. V., Smirnov V. V. *Metody geomorfometrii i cifrovogo kartografirovaniya dlja ocenki prostranstvennoj izmenchivosti*

- svoystv agroseroj pochvy sklona. Pochvovedenie. 2017. no. 1. pp. 24–34. (in Russian).
2. Dubrovskaja S. A., Rjahov R. V. Landshaftno-jekologicheskoe rajonirovanie goroda Orenburga na osnove geomorfometriceskikh i jekologo-hozjajstvennyh osobennostej territorii. Geoinformatika. 2020. no. 4. pp. 63–70. (in Russian).
 3. Kuz'min S. B., Dan'ko L. V., Cherkashin E. A., Osipov Je. Ju. Cifrovyje modeli rel'efa: metodika postroenija i vozmozhnosti ispol'zovanija pri geomorfologicheskom analize. Geomorfologija. 2007. no. 4. pp. 33–41. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2007-4-33-41>. (in Russian).
 4. Kutinov Ju. G., Poljakova E. V., Chistova Z. B., Mineev A. L., Myrceva E. A. Verojatnost' pojavlenija jerozionnyh processov na territorii Arhangel'skoj oblasti na osnove cifrovogo modelirovanija rel'efa. Riski i bezopasnost' v stremitel'no menjajushhemsja mire: materialy 6-j Mezhdunarodnoj nauch. konf. Praga: Sociosfera, 2018. pp. 44–48. (in Russian).
 5. Mineev A. L., Kutinov Ju. G., Chistova Z. B., Poljakova E. V. Geojekologicheskoe rajonirovanie territorii Arhangel'skoj oblasti s ispol'zovaniem cifrovych modelej rel'efa i GIS-tehnologij. Prostranstvo i Vremja. 2017. no. 2–4 (28–30). pp. 267–288.
 6. Nevidimova O. G., Kuznecov A. S. Morfometriceskaja differenciacija plotnosti gelioresursa na severnom makrosklone Severo-Chujского hrebta (Gornyj Altaj) [Electronic resource]. Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2015. no. 2–2. pp. 731. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21540>. (in Russian).
 7. Pavlova A. I. Analiz metodov interpolirovanija dlja sozdaniya cifrovych modelej rel'efa. Avtometrija. 2017. Vol. 53. no. 2. pp. 86–94. (in Russian).
 8. Simonov Ju. G. Morfometriceskij analiz rel'efa. M. Smolensk : Izdatel'stvo Smolenskogo gosudarstvennogo universiteta, 1998. pp. 121–128. (in Russian).
 9. Teslenok K. S., Teslenok S. A. Novye jelementy jekologicheskogo karkasa territorii kak sredstvo povyshenija jekologicheskoy ustojchivosti regiona. Geograficheskie aspekty ustojchivogo razvitija regionov : Mezhdunar. nauch.-praktich. konf. «Geograficheskie aspekty ustojchivogo razvitija regionov», 23–24 apr. 2015 g.: materialy : v 2 part. Part 1. Gomel' : GGU im. F. Skoriny, 2015. pp. 228–231. (in Russian).
 10. Teslenok S. A., Manukhov V. F., Teslenok K. S. Digital elevation modeling of the Republic of Mordovia. Geodezia i Kartografija, 2019. no. 7. pp. 30–38. DOI: 10.22389/0016-7126-2019-949-7-30-38. (in Russian).
 11. Teslenok K. S., Mushtajkin A. P., Teslenok S. A. Izuchenie osobennostej sel'skohozejajstvennyh ugodij s ispol'zovaniem cifrovych modelej rel'efa. InterKarto. InterGIS. Geoinformacionnoe obespechenie ustojchivogo razvitija territorij: Materialy Mezhdunar. konf. M.: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 2020. Vol. 26. Part. 3. pp. 221–228. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-221-228. (in Russian).
 12. Florinsky I. V. Illjustrirovanoe vvedenie v geomorfometriju. Al'manah prostranstvo i vremja. 2016. Vol. 11. Ussue 1. 20 p. (in Russian).
 13. Shihov A. N., Cherepanova E. S., P'jankov S. V. Geoinformacionnye sistemy. Metody prostranstvennogo analiza. Perm' : Perm. gos. nac. issled. un-t, 2017. 88 p. (in Russian).
 14. Jutjaeva D. N., Teslenok S. A., Buchackaja N. V., Teslenok K. S. Podgotovka rastrovych kartograficheskikh materialov dlja geoinformacionnogo kartografirovanija i modelirovanija. Geoinformacionnoe kartografirovanie v regionah Rossii: materialy

- VI (zaочноj) Vseros. nauchno-praktich. konf. (Voronezh, 20 nojab. 2014 g.). Voronezh : Nauchnaja kniga, 2014. pp. 119–130. (in Russian).
15. 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. Vol.: Geological Society of America Abstracts with Programs. 2015. Vol. 47. no. 7. 188 p.
 16. McGarigal K., Tagil S., Cushman S.A. Surface metrics: an alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure. *Landscape Ecology*. 2009. Vol. 24. pp. 433–450.
 17. Zeiler M. *Modeling our world: the ESRI guide to geodatabase concepts*. Redlands: ESRI Press. 2010. 297 p.

Поступила в редакцию 11.07.2021 г.