



DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.4.5>

UDC 551.4(470.45):528.8

LBC 26.823

## MODELING GEOMORPHOLOGICAL CONDITIONS OF A RIVER BASIN ON THE EXAMPLE OF THE BUZULUK RIVER

**Natalya M. Khavanskaya**

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

**Anna A. Shaprova**

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

**Abstract.** The study of river basins occupies a special place in the subject of geomorphological works. The basin approach has found wide application not only in geomorphology, but also in related geographical sciences, such as physical and socio-economic geography, geoecology. This is largely due to the possibility of clearly identifying the boundaries of basins, determined by the relief and drawn along the lines of watersheds, in contrast to the boundaries of a transitional nature, often characteristic of natural objects. Scientific interests in the field of river basin research are devoted to both the state of modern physical and geographical conditions in general and changes in individual components, in particular, floodplain forest cover, hydrological and hydrogeological regimes. In addition, important aspects are the rationalization of economic use of the territory of river basins. In this context, the types of anthropogenic impact on the territory are described and the geoecological situation is assessed. In this paper, the analysis of morphometric characteristics of the Buzuluk River basin such as the steepness and exposure of slopes, erosive dissection of the relief was carried out. Measuring these indicators for the selected area is of particular importance in view of the intensive development of agriculture, since all of the listed relief characteristics affect the development of unfavorable erosion processes leading to a decrease in soil fertility. Morphometric analysis was carried out in the QGIS geoinformation system, which allows obtaining updated data and reducing the time of their analysis and interpretation. During the geoinformation analysis, maps of slope steepness, slope exposure and erosive dissection of the relief of the studied territory were constructed. Analysis of the obtained data and natural and climatic conditions allows us to conclude that the conditions are favorable for agricultural activities. Nevertheless, the intensity of economic development requires measures to optimize it to ensure conditions for sustainable development.

**Key words:** river basin, Buzuluk River, Khoper-Buzuluk Plain, slope steepness, slope exposure, erosive dissection of the relief, geoinformation systems.

**Citation.** Khavanskaya N.M., Shaprova A.A. Modeling Geomorphological Conditions of a River Basin on the Example of the Buzuluk River. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2024, vol. 14, no. 4, pp. 42-50. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.4.5>

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РЕЧНОГО БАСЕЙНА НА ПРИМЕРЕ р. БУЗУЛУК

**Наталья Михайловна Хаванская**

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

**Анна Александровна Шапрова**

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

**Аннотация.** Исследование речных бассейнов занимает отдельное место в тематике геоморфологических работ. Бассейновый подход нашел широкое применение не только в геоморфологии, но и в смежных географических науках, таких как физическая и социально-экономическая география, геоэкология. Во многом это объясняется возможностью четкого выделения границ бассейнов, определенных рельефом и проводимых по линиям водоразделов, в отличие от границ переходного характера, свойственных часто для природных объектов. Научные интересы в сфере исследования речных бассейнов посвящены как вопросам состояния современных физико-географических условий в целом, так и изменениям отдельных компонентов, в частности, лесистости пойм, гидрологического и гидрогеологических режимов. Кроме того, важными аспектами является рационализация хозяйственного использования территории речных бассейнов. В этом контексте описываются виды антропогенного воздействия на территорию и проводится оценка геоэкологической ситуации. В настоящей работе был проведен анализ морфометрических характеристик бассейна реки Бузулук, таких как крутизна и экспозиция склонов, эрозионная расчлененность рельефа. Измерение этих показателей для выделенного района имеет особую важность ввиду интенсивного развития земледелия, так как все перечисленные характеристики рельефа влияют на развитие неблагоприятных эрозионных процессов, ведущих к снижению почвенного плодородия. Морфометрический анализ был проведен в геоинформационной системе QGIS, что позволяет получить уточненные данные и сократить время их анализа и интерпретации. В ходе геоинформационного анализа были построены карты крутизны склонов, экспозиции склонов и эрозионной расчлененности рельефа изучаемой территории. Анализ полученных данных и природно-климатических условий позволяет сделать вывод о благоприятности условий для ведения сельскохозяйственной деятельности. Тем не менее интенсивность хозяйственного освоения требует мер по его оптимизации для обеспечения условий устойчивого развития.

**Ключевые слова:** речной бассейн, река Бузулук, Хоперско-Бузулукская равнина, крутизна склонов, экспозиция склонов, эрозионная расчлененность рельефа, геоинформационные системы.

**Цитирование.** Хаванская Н. М., Шапрова А. А. Моделирование геоморфологических условий речного бассейна на примере р. Бузулук // Природные системы и ресурсы. – 2024. – Т. 14, № 4. – С. 42–50. – DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.4.5>

### Введение

Бассейн реки Бузулук расположен в центральной части Хоперско-Бузулукской аккумулятивной равнины, расположенной между Калачской и Приволжской возвышенностями. Сам Бузулук является левым притоком р. Хопер. Его бассейн ограничен пологими водоразделами от других физико-географических объектов равнины (см. рис. 1).

Геологическое строение изучаемой территории представлено несколькими комплексами. В разрезе платформенного чехла выделяются нижнепалеозойский-нижнедевонский,

среднедевонский-триасовый, юрский-палеогеновый и неогеновый-четвертичный комплексы. В основном поверхность состоит из песков, песчаников, мела, являющихся осадками мезозойских морей [2; 10].

Долина реки Бузулук широкая и может достигать 5–10 км. Высоты междуречий колеблются в пределах 120–170 м над уровнем моря и постепенно снижаются с севера на юг [12]. Преобладают плоские и довольно обширные водоразделы, чередующиеся с широкими и неглубоко врезанными долинами рек.

В пределах района исследования расположены почвы, относящиеся к черноземам

южным. Согласно агроклиматическому районированию Волгоградской области, территория бассейна относится к засушливой зоне с теплым климатом [8].

В настоящее время территория бассейна реки Бузулук подвергается интенсивному сельскохозяйственному освоению. Поля практически полностью занимают все водораздельные пространства и пологие склоны.

Определение морфометрических особенностей рельефа изучаемой территории приобретает особую актуальность в виду интенсивного развития сельского хозяйства, важными факторами размещения которого, кроме агроклиматических условий, выступают крутизна и экспозиция склонов, эрозионная расчлененность. В совокупности перечисленные характеристики оказывают непосредственное влияние на развитие плоскостной и линейной эрозии [3; 6; 15], влияющей на состояние полей и, соответственно, на земледелие района в целом. Соответственно, целью проведенного исследования является анализ основных морфометрических характеристик бассейна реки Бузулук

с применением функций пространственного анализа поверхности и гидрологического моделирования геоинформационных систем.

### Материалы и методы исследования

Основным типом данных для анализа рельефа является цифровая модель рельефа (далее – ЦМР) [11; 13]. В данной работе все аналитические операции проведены на основе ЦМР SRTM 1-arcsecond, предоставляемой в открытом доступе геологической службой США [16]. Геоинформационный анализ проводился в геоинформационной системе QGIS. Граница бассейна Бузулука была оцифрована вручную по линиям водоразделов.

На первом этапе была проанализирована крутизна склонов в градусах. При этом для большей наглядности составлена карта на территорию Хоперско-Бузулукской равнины (см. рис. 2). Данные о крутизне склонов позволяют выявить потенциально опасные участки развития неблагоприятных геолого-геоморфологических процессов, в первую очередь

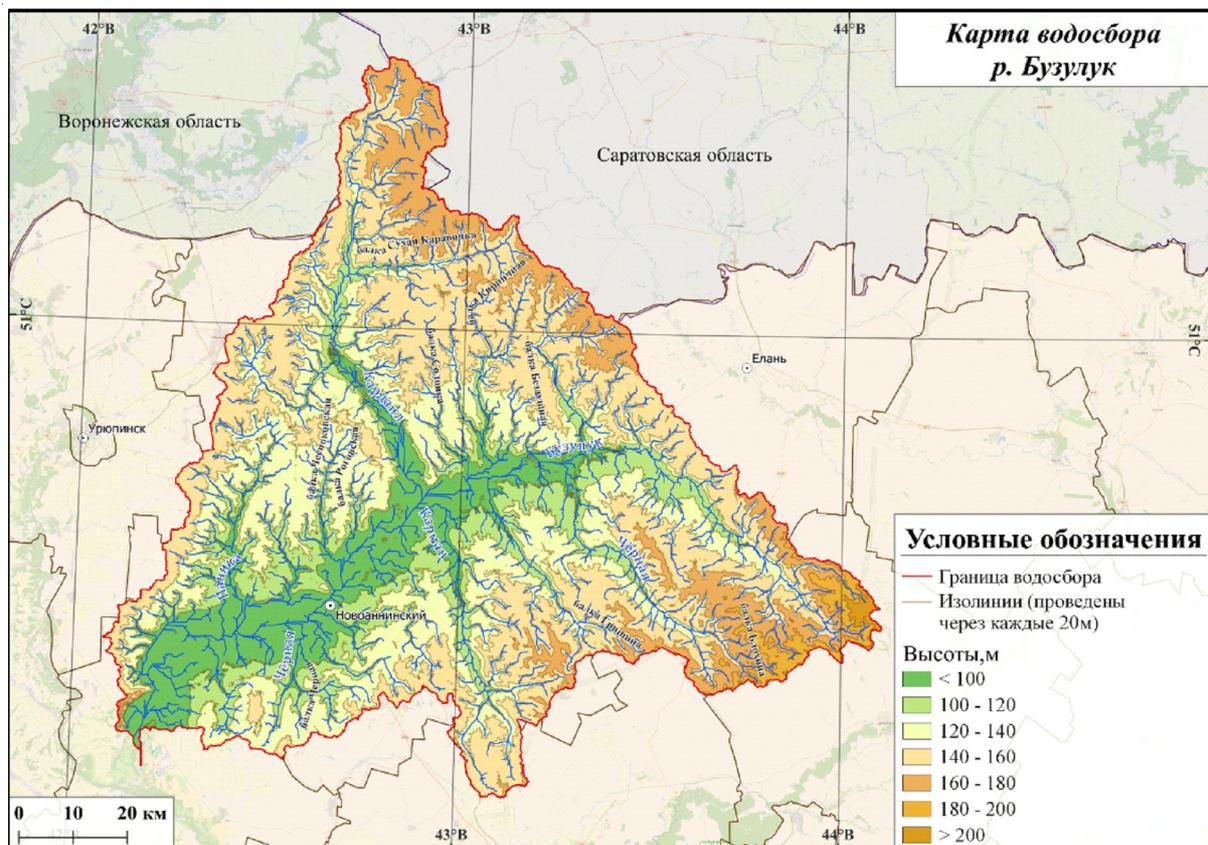


Рис. 1. Географическое положение бассейна реки Бузулук

эрозионных. На карте участки с различной крутизной обозначаются способом количественного фона.

Выявление экспозиции склонов является важным инструментом дальнейшего ресурсного анализа территории [1]. Экспозиция склонов сказывается на неравномерном распределении тепла на подстилающей поверхности, следовательно, влияет на характер и продолжительность вегетации растений. Построение карты экспозиции склонов происходило в геоинформационной системе QGIS при помощи инструмента «Экспозиция» (см. рис. 3).

Наиболее сложным из представленных является процесс анализа эрозионной расчлененности рельефа. Эрозионная расчлененность является площадным показателем и рассчитывается как отношение длины эрозионной сети (водотоков) в км к единице площади территории, в данном случае берется 1 км<sup>2</sup>. Геоинформационный анализ эрозионной расчлененности осуществлялся в программе QGIS по следующим этапам:

1. Автоматизированное построение водотоков на основе ЦМР с применением функций гидрологического моделирования [4; 5; 7].

2. Генерация и наложение на территорию исследования полигональной сетки с размером ячеек равным 1×1 км, а также привязанного точечного слоя, в котором точки соответствуют центру каждой километровой ячейки (см. рис. 4).

3. Применение оверлейной операции «Пересечение» для выявления длины водотоков в каждой километровой ячейке сетки. Объединение атрибутивных данных ячеек сетки с данными длины водотоков соответствующих ячеек.

4. Присвоение данных длин водотоков каждой ячейке соответствующей точке, расположенной в ее центре.

5. Генерация статистической поверхности с помощью интерполяции (метод ОВР) данных длин водотоков точечного слоя и создание таким образом карты эрозионной расчлененности рельефа (см. рис. 5).

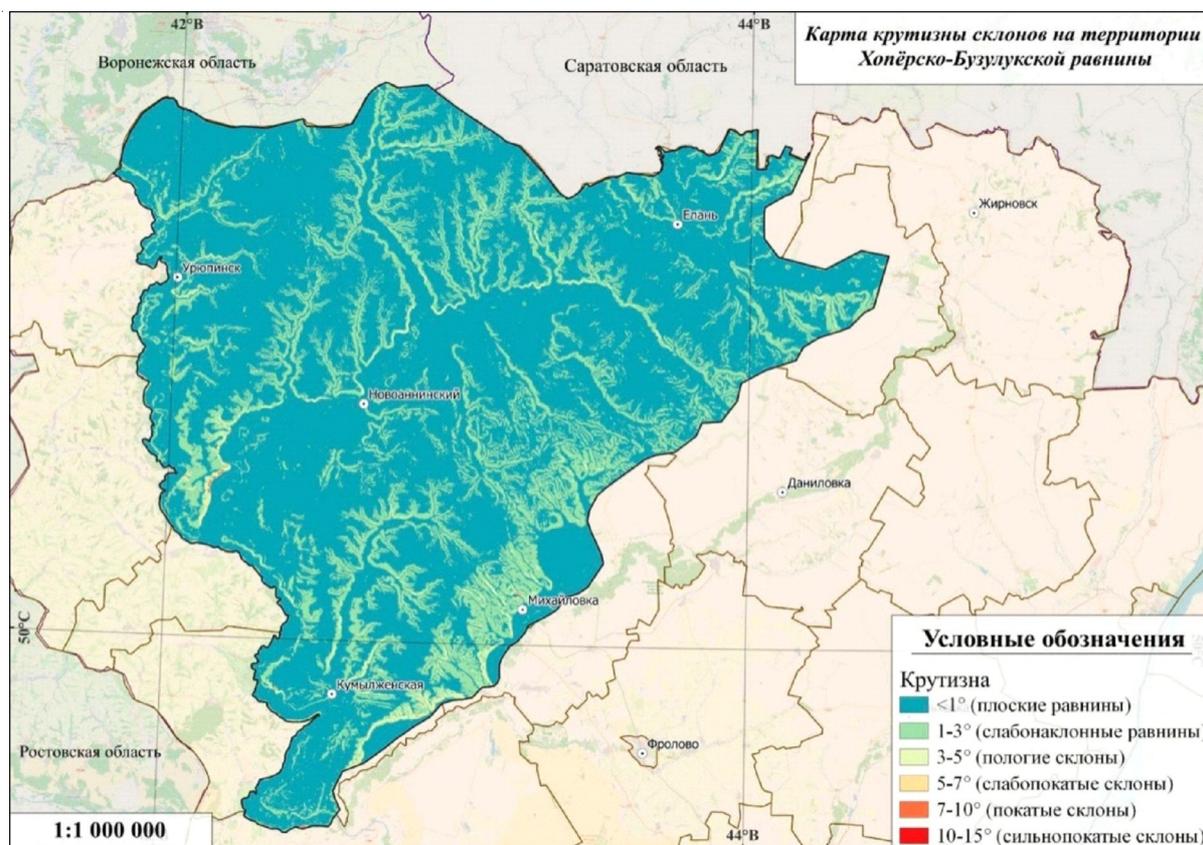


Рис. 2. Карта крутизны склонов

Примечание. Составлено авторами.

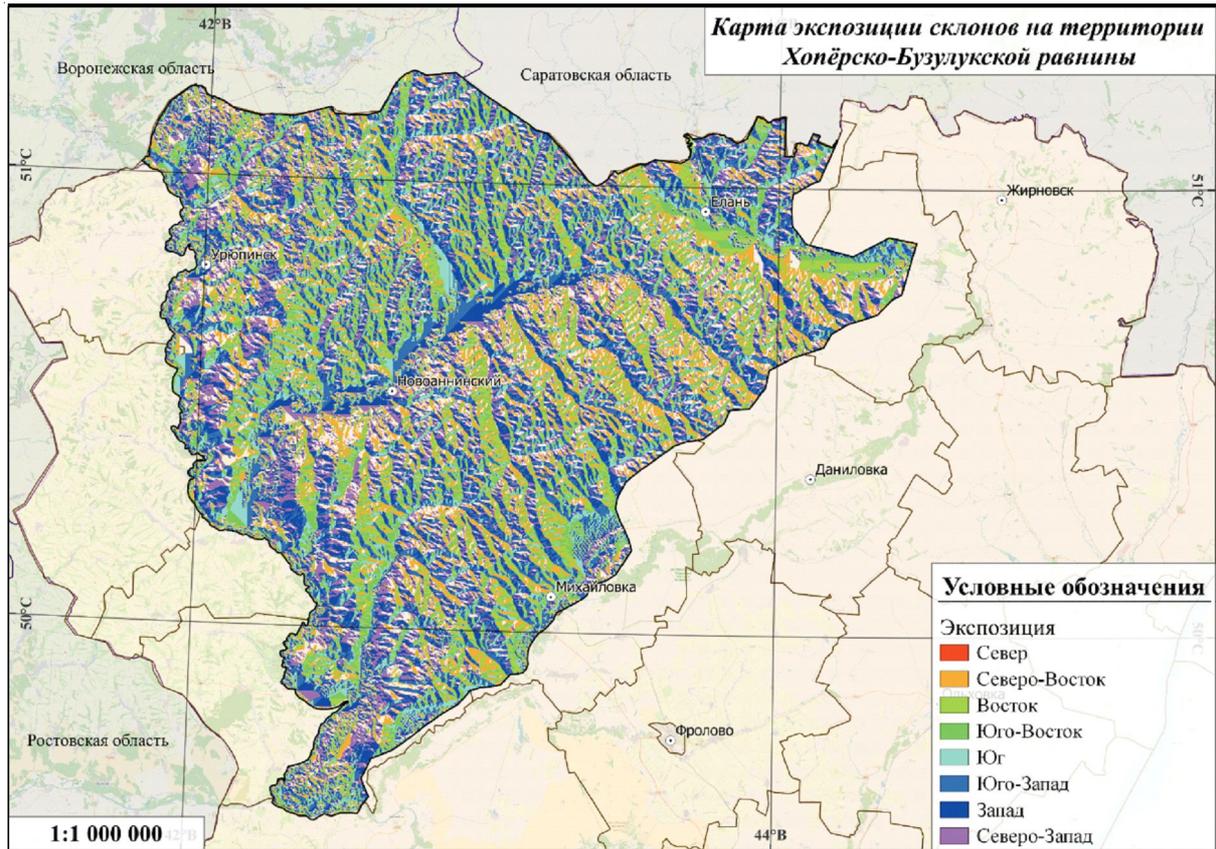


Рис. 3. Карта экспозиции склонов Хоперско-Бузулукской равнины

Примечание. Составлено авторами.

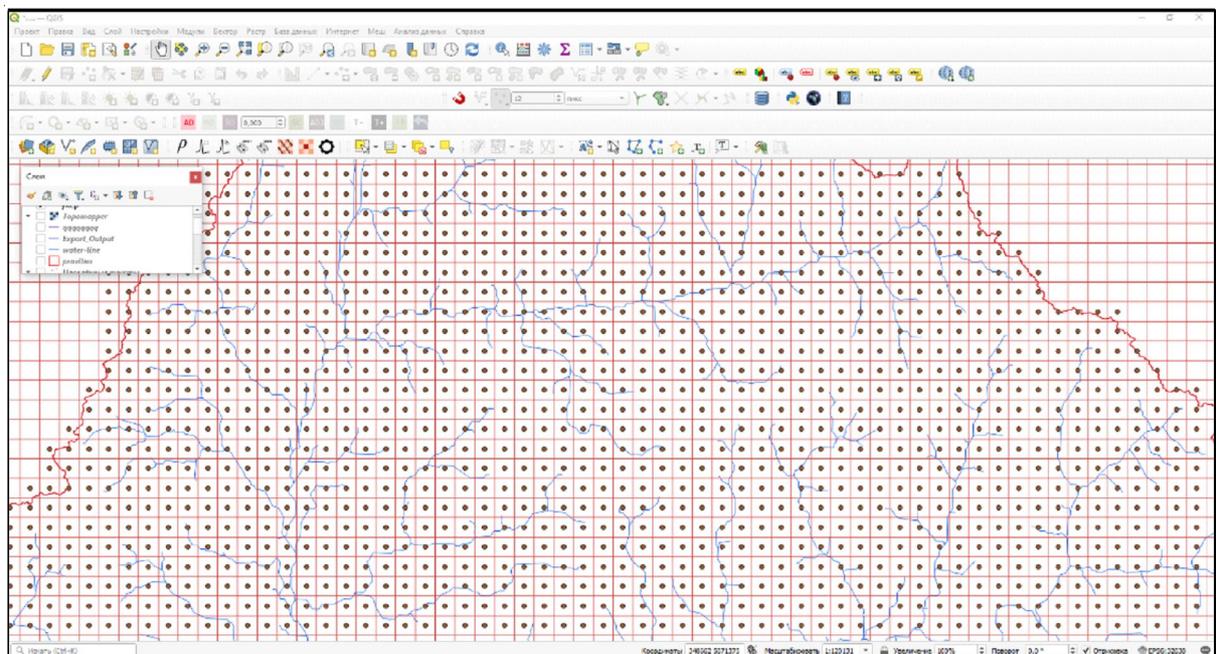


Рис. 4. Наложение километровой сетки на территорию Хоперско-Бузулукской равнины

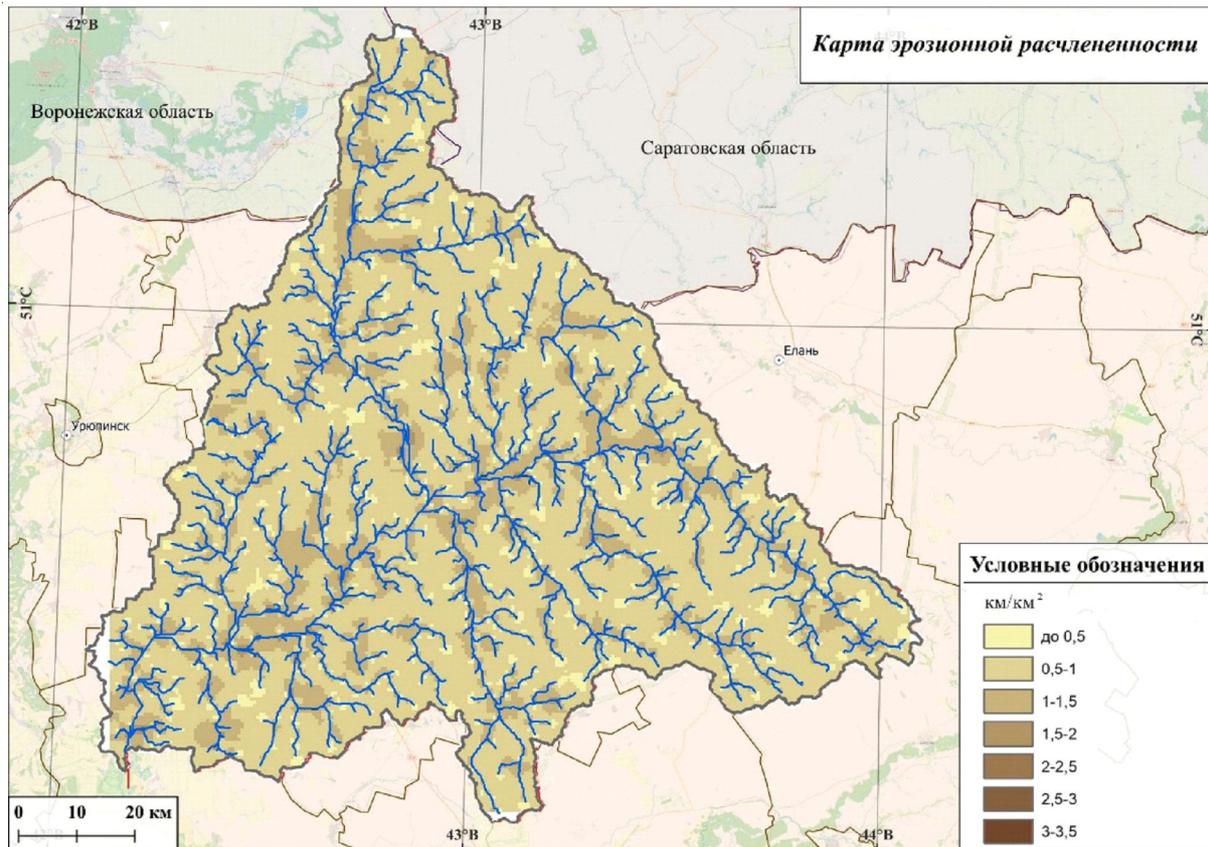


Рис. 5. Карта эрозионной расчлененности рельефа территории бассейна р. Бузулук  
Примечание. Составлено авторами.

### Результаты и обсуждение

По данным геоинформационного моделирования значение крутизны склонов изучаемой территории находится в диапазоне от  $0^\circ$  до  $15^\circ$ . При этом большая часть бассейна с пологими водораздельными пространствами характеризуется уклоном менее  $1^\circ$ , что относит ее к типу плоских равнин. Значение уклона от  $1^\circ$  до  $5^\circ$  наблюдается на склонах речной системы Бузулука. Увеличение крутизны до  $15^\circ$  отмечается в приустьевой части и соответствует восточному склону Калачской возвышенности.

Анализ карты экспозиции склонов позволяет проводить оценку участков территории с повышенным риском эрозии почвы, определение зон с повышенным запасом снега, а также прогнозирование распределения растительности. Эти данные могут быть использованы для принятия важных решений в сфере оптимизации сельскохозяйственного природопользования. В ходе ее анализа было получено следующее:

1. На исследуемой территории отсутствует северная ( $0^\circ$ ) ориентация склонов.
2. В долине р. Бузулук преобладает Юго-Западная ( $225^\circ$ ) и Западная ( $270^\circ$ ) ориентация.
3. Для равнинных участков характерна в основном северо-восточная ( $45^\circ$ ), восточная ( $90^\circ$ ), юго-восточная ( $135^\circ$ ), южная ( $180^\circ$ ), западная ( $270^\circ$ ) и северо-западная ( $315^\circ$ ) ориентация склонов.

Эрозия является одним из наиболее распространенных и разрушительных процессов, влияющих на формирование ландшафта и экологическое состояние водных объектов. В контексте геоинформационного моделирования бассейна реки, анализ эрозионной расчлененности имеет особое значение для оценки уровня потенциальных рисков, связанных с водоотводом, изменениями почвенного покрова, загрязнением водных ресурсов и деградацией прибрежных участков [9; 14].

Эрозионная расчлененность рельефа отражает степень извилистости речной системы. В ходе выполнения исследования

было выявлено, что максимум эрозионной расчлененности рельефа составляет 3,5 км на 1 км<sup>2</sup>. При этом на пологих водораздельных пространствах преобладает значение равное 1 км на 1 км<sup>2</sup>. Минимальные значения, до 0,5 км, фиксируются на отдельных участках водоразделов. Максимальные величины коэффициента эрозионной расчлененности рельефа соответствуют склонам речных долин.

### Заключение

Применение геоинформационных методов в моделировании речных бассейнов позволяет повысить точность получаемых морфометрических характеристик. Значения крутизны и экспозиции склонов бассейна реки Бузулук, полученные в результате геоинформационного анализа, позволили уточнить и дополнить существующие сведения. Рассчитанные величины преобладающих уклонов (менее 1°) свидетельствуют о пологом характере рельефа Хоперско-Бузулукской равнины, что в совокупности с преобладанием склонов южной, восточной и западной экспозиции, распространением широких водораздельных пространств с эрозионной расчлененностью рельефа не превышающей 500 м на 1 км<sup>2</sup> является благоприятным фактором развития сельского хозяйства.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абакумова, В. Ю. Исследование пространственной структуры условий формирования речной сети / В. Ю. Абакумова // Метеорология и гидрология. – 2013. – № 8. – С. 88–100.
- Агафонов, В. П. Состояние и региональные проблемы мониторинга геологической среды Волжского бассейна / В. П. Агафонов, А. М. Коломиец, В. В. Куренной // Разведка и охрана недр. – 2005. – № 8. – С. 31–34.
- Водохранилища, пруды и озера Волгоградской области / А. С. Овчинников [и др.]. – Волгоград : Изд-во ВолГАУ, 2020. – 352 с.
- Гарцман, Б. И. Возможности моделирования речной сети на основе ГИС-инструментария и цифровой модели рельефа / Б. И. Гарцман, Е. А. Шекман // Метеорология и гидрология. – 2016. – № 1. – С. 86–98.
- Иванов, М. А. Геоморфометрический анализ бассейновых геосистем Приволжского федерального округа по данным SRTM и Aster GDEM / М. А. Иванов, О. П. Ермолаев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14, № 2. – С. 98–109.
- Иванцова, Е. А. Характер взаимодействия компонентов антропогенно-трансформированных экосистем юга России / Е. А. Иванцова, В. В. Новочадов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 3 (55). – С. 79–86.
- Павлова, А. Н. Геоинформационное моделирование речного бассейна по данным спутниковой съемки SRTM (на примере бассейна р. Терешки) / А. Н. Павлова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. – 2009. – Т. 9, № 1. – С. 39–44.
- Перекрестов, Н. В. Почвенно-климатические условия ландшафтов Волгоградской области : учеб. пособие / Н. В. Перекрестов. – Волгоград : ВолГАУ, 2012. – 260 с.
- Пьянков, С. В. Геоинформационное обеспечение моделирования гидрологических процессов и явлений / С. В. Пьянков, А. Н. Шихов. – Пермь : Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2017. – 148 с.
- Сидоренко, А. В. Геология СССР. Ростовская, Волгоградская области и Калмыцкая АССР. Геологическое описание / А. В. Сидоренко. – М. : Недра, 1970. – 510 с.
- Синельникова, К. П. Геоинформационный анализ рельефа водосбора реки Большая Голубая на территории Донской гряды / К. П. Синельникова // Научно-агрономический журнал. – 2021. – № 1 (112). – С. 34–39.
- Солодовников, Д. А. Методические основы геофизического мониторинга грунтовых вод речных пойм / Д. А. Солодовников, Н. М. Хаванская, Н. В. Вишняков, Е. А. Иванцова // Юг России: экология, развитие. – 2017. – Т. 12, № 3. – С. 106–114.
- Солодовников, Д. А. Опыт разработки геоинформационной системы пойменных земель Донского бассейна / Д. А. Солодовников, С. С. Шинкаренко, Н. М. Хаванская [и др.] // Юг России: экология, развитие. – 2022. – Т. 17, № 1 (62). – С. 151–161.
- Pelletier, J. D. Quantitative Modeling of Earth Surface Processes / J. D. Pelletier. – Cambridge, 2008. – 295 p.
- Planchon, O. F. Darboux: A Fast, Simple and Versatile Algorithm to Fill the Depressions of Digital Elevation Models / O. F. Planchon // Catena. – 2001. – Vol. 46. – P. 159–176.
- Earthexplorer // United States Geological Survey. – 2022. – URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

**REFERENCES**

1. Abakumova V.Yu. Issledovanie prostranstvennoi struktury uslovii formirovaniya rechnoi seti [Study of the Spatial Structure of Conditions for the Formation of the River Network]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], 2013, no. 8, pp. 88-100.
2. Agafonov V.P., Kolomiets A.M., Kurennoi V.V. Sostoyanie i regional'nye problemy monitoringa geologicheskoi sredy Volzhskogo basseina [Status and Regional Problems of Monitoring the Geological Environment of the Volga Basin]. *Razvedka i okhrana nedr* [Exploration and Protection of Mineral Resources], 2005, no. 8, pp. 31-34.
3. Ovchinnikov A.S., Loboyko V.F., Yakovlev S.V., Ovcharov A.U., Ivantsova E.A., Soboleva I.A. *Vodohranilishcha, prydny i ozera Volgogradskoy oblasti* [Reservoirs, Ponds and Lakes of the Volgograd Region]. Volgograd, Izd-vo VolGAY, 2020. 352 p.
4. Gartsman B.I., Shekman E.A. Vozmozhnosti modelirovaniya rechnoi seti na osnove GIS-instrumentariya i tsifrovoy modeli rel'efa [Possibilities of River Network Modeling Based on GIS Tools and Digital Elevation Model]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], 2016, no. 1, pp. 86-98.
5. Ivanov M.A., Ermolaev O.P. Geomorfometricheskii analiz basseinovyykh geosistem Privolzhskogo federal'nogo okruga po dannym SRTM i Aster GDEM [Geomorphometric Analysis of Basin Geosystems of the Volga Federal District Based on SRTM and Aster GDEM Data]. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space], 2017, vol. 14, no. 2, pp. 98-109.
6. Ivantsova E.A., Novochadov V.V. Charakter vzaimodeystviya komponentov antropogennotransformirovannykh ekosistem yuga Rossii [The Nature of the Interaction of Components of Anthropogenic-Transformed Ecosystems in the South of Russia]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and Higher Professional Education], 2019, no. 3 (55), pp. 79-86.
7. Pavlova A.N. Geoinformatsionnoe modelirovaniye rechnogo basseina po dannym sputnikovoi syemki SRTM (na primere basseina r. Tereshki) [Geoinformation Modeling of a River Basin Based on SRTM Satellite Imagery Data (Using the Tereshka River Basin as an Example)]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya Nauki o Zemle* [News of Saratov University. New series. Earth Sciences Series], 2009, Vol. 9, no. 1, pp. 39-44.
8. Perekrestov N.V. *Pochvenno-klimaticheskie usloviya landshaftov Volgogradskoi oblasti* [Soil and Climatic Conditions of Landscapes of the Volgograd Region]. Volgograd, VolGAU, 2012. 260 p.
9. P'yankov S.V., Shikhov A.N. *Geoinformatsionnoe obespechenie modelirovaniya gidrologicheskikh protsessov i yavlenii* [Geoinformation Support for Modeling Hydrological Processes and Phenomena]. Perm', Perm. gos. nats. issled. un-t, 2017. 148 p.
10. Sidorenko A.V. *Geologiya SSSR. Rostovskaya, Volgogradskaya oblasti i Kalmytskaya ASSR. Geologicheskoe opisanie* [Geology of the USSR. Rostov, Volgograd, Regions and Kalmyk ASSR. Geological Description]. Moscow, Nedra Publ., 1970. 510 p.
11. Sinel'nikova K.P. Geoinformatsionnyi analiz rel'efa vodosbora reki Bol'shaya Golubaya na territorii Donskoi gryady [Geoinformation Analysis of the Relief of the Bolshaya Golubaya River Catchment Area in the Territory of the Don Ridge]. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal* [Scientific and Agronomic Journal], 2021, no. 1 (112), pp. 34-39.
12. Solodovnikov D.A., Havanskaya N.M., Vishnyakov N.V., Ivantsova E.A. Metodicheskie osnovy geofizicheskogo monitoringa gruntovykh vod rechnykh poym [Methodological Foundations of Geophysical Monitoring of Groundwater in River Floodplains] *Ug Rossii: ekologiya, razvitiya* [South of Russia: Ecology, Development], 2017, vol. 12, no. 3, pp. 106-114.
13. Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S., Khavanskaya N.M., Kukushkina N.A. Opyt razrabotki geoinformatsionnoi sistemy poimennykh zemel' Donskogo basseina [Experience in Developing a Geographic Information System for Floodplain Lands of the Don Basin]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* [South of Russia: Ecology, Development], 2022, vol. 17, no. 1 (62), pp. 151-161.
14. Pelletier J.D. *Quantitative Modeling of Earth Surface Processes*. Cambridge, 2008. 295 p.
15. Planchon O.F. Darboux: A Fast, Simple and Versatile Algorithm to Fill the Depressions of Digital Elevation Models. *Catena*, 2001, no. 46, pp. 159-176.
16. Earthexplorer. *United States Geological Survey*, 2022. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

### **Information About the Authors**

**Natalya M. Khavanskaya**, Candidate of Sciences (Geography), Associate Professor, Department of Geography and Cartography, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, khavanskaya@volsu.ru

**Anna A. Shaprova**, Student, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, a\_shaprova9@mail.ru

### **Информация об авторах**

**Наталья Михайловна Хаванская**, кандидат географических наук, доцент кафедры географии и картографии, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, khavanskaya@volsu.ru

**Анна Александровна Шапрова**, студентка, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, a\_shaprova9@mail.ru