



DOI: <http://dx.doi.org/10.15688/jvolsu11.2016.2.6>

УДК 551.4.01

ББК 26.8

## ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ НА ПРАВОБЕРЕЖЬЕ ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА <sup>1</sup>

**Денис Анатольевич Солодовников**

Кандидат географических наук, доцент кафедры географии и картографии,  
Волгоградский государственный университет  
densolodovnikov@mail.ru  
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

**Наталья Михайловна Хаванская**

Кандидат географических наук, доцент кафедры географии и картографии,  
Волгоградский государственный университет  
havanskayanm@mail.ru  
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

**Вера Николаевна Бодрова**

Старший преподаватель кафедры географии и картографии,  
Волгоградский государственный университет  
bodrova0307@mail.ru  
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

**Николай Владимирович Вишняков**

Старший преподаватель кафедры географии и картографии,  
Волгоградский государственный университет  
nivishnyakov@yandex.ru  
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье представлены результаты анализа геоморфологических индикаторов современных тектонических движений на правом берегу Волгоградского водохранилища в зоне Александровского грабена. Геологическое строение района исследования осложнено серией разломов, которые проявляются в рельефе в виде эрозионных систем, морфологический и морфоструктурный анализ которых лежит в основе данного исследования. На основе цифровой модели рельефа авторами были составлены гипсометрическая модель, модель уклонов поверхности, гидрологическая модель порядков водотоков. Выявлено, что эрозионная сеть относится к дендритовому типу, а в ее структуре преобладают водотоки первого порядка (58 %). Развитие эрозионных форм относительно центральной части грабена происходит неравномерно, наибольшая интенсивность отмечается в северной части, что говорит о блоковом поднятии. Таким образом, геопространственный анализ и статистическая обработка составленных моделей позволили сделать вывод о тектонической активности в районе исследования.

**Ключевые слова:** цифровая модель рельефа, современные тектонические движения, разломы, грабен, морфометрический метод, морфографический метод, гидрологическое моделирование, эрозионная сеть, порядок водотоков.

В неоген-четвертичное время в связи с опусканием Прикаспийской синеклизы и поднятием Воронежской антеклизы, Приволжская моноклиналь была осложнена серией разломов. В Волгоградской области к ним относятся Александровско-Камышинские дислокации [1]. Проведенные ранее исследования [11; 12] и последующий мониторинг этих разломов позволили выявить направленность и интенсивность современных тектонических движений. Модельным объектом изучения является район Александровского грабена, в котором вертикальное смещение горных пород (в среднем на 200–250 м) представлено наиболее ярко [1; 7; 11; 12]. В комплексной методике исследования наряду с геодезическими работами и анализом данных дистанционного зондирования применялся геоморфологический метод. В его рамках нами был осуществлен морфометрический и морфографический анализ эрозионных форм рельефа, теоретические основы которого подробно описаны в научной литературе [4; 13; 14; 15; 16].

Материальной основой геоморфологического анализа района исследования послужила цифровая модель рельефа (ЦМР), созданная по данным радарной топографической съемки Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), проведенной в феврале 2000 г. с борта шаттла многоразового использования «Индевор» [20]. Разработчики ЦМР – Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства США (NASA) и Национальная Геопространственная Спецслужба (NGA). ЦМР, построенные на основе данных радарной съемки, нашли широкое применение в дистанционных методах изучения рельефа. Как в зарубежной [17; 18; 19; 20], так и в отечественной науке [3; 6; 8] развиваются и совершенствуются методы и приемы автоматизированного морфометрического анализа рельефа. Для большей точности результатов нами была использована ЦМР SRTM 1 Arc-Second Global с разрешением в 1 угловую

секунду. В ходе геоинформационного моделирования она была обработана в программной среде ArcGis 10.3 с помощью модуля пространственного анализа Spatial Analyst. Последовательно были созданы следующие модели Александровского грабена: гипсометрическая, включающая основные данные о рельефе, модель уклонов поверхности, модель эрозионной сети, а также построены продольный и поперечный гипсометрический профиль.

Район исследования занимает площадь около 17 км<sup>2</sup>, он ограничен с севера Суводской балкой, имеющей в плане сложный дендритовый рисунок, с юга – балкой Суводский Яр, с востока склоном Приволжской возвышенности, а с запада отделяется от Волгоградского водохранилища невысокой грядой с двумя вершинами, называемыми Два Царя (рис. 1).

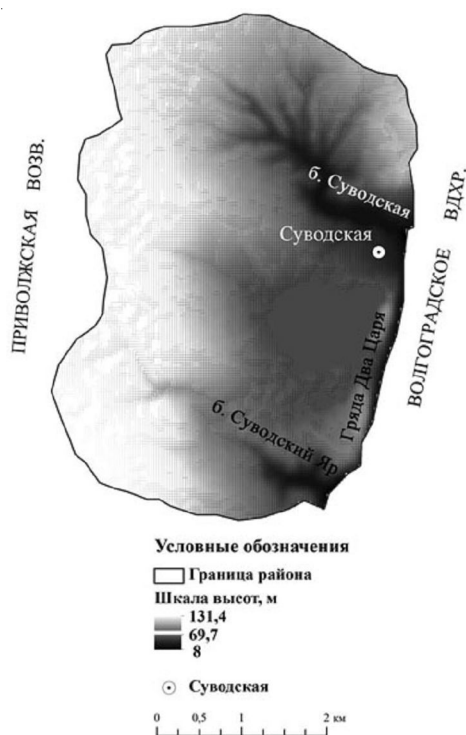


Рис. 1. Цифровая модель рельефа Александровского грабена (по данным SRTM 1 Arc-Second Global)

Александровский грабен четко выражен в рельефе. Самая низменная часть ограничена горизонталями в 50 и 30 м, днище в форме полуцирка наклонено в сторону Волги. Самые высокие отметки соответствуют склону Приволжской возвышенности и в выделенном районе достигают 110–130 м. Минимальные высоты, равные 8–10 м, соответствуют устьевой части днищ балок. Вершины гряды Два Царя поднимаются над грабеном до 63–66 м (рис. 2). С помощью инструмента 3 D Analyst были построены продольный и поперечный профиль грабена (рис. 3 а, б).

Дно грабена плоское с уклоном  $0^{\circ}$ – $1^{\circ}$ , постепенно переходит в пологий склон, уклон которого по направлению к Приволжской возвышенности постепенно возрастает до  $3^{\circ}$ – $4,5^{\circ}$  и на высотах 110 м достигает плоского ( $0^{\circ}$ – $1,5^{\circ}$ ) водораздельного пространства (рис. 4). При сетевые склоны балок также обладают небольшой крутизной  $1,3^{\circ}$ – $4,5^{\circ}$ . В средней и приустьевой частях Суводской балки вблизи водосборной линии уклон увеличивается с  $7^{\circ}$  до  $16^{\circ}$ . Наибольшая крутизна ( $17^{\circ}$ – $27^{\circ}$ ) характерна для восточных склонов гряды Два Царя, открывающихся к Волгоградскому водохранилищу.



Рис. 2. Гипсометрическая карта. А–В, С–D – линии профилей

Примечание. Составлено авторами.

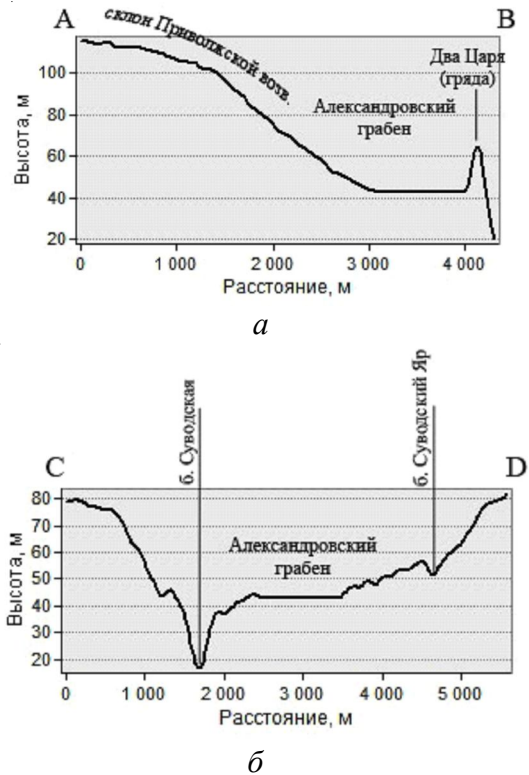


Рис. 3. Гипсометрический профиль района исследования:

а – поперечный; б – продольный (линии профиля обозначены на рис. 2)

Примечание. Составлено авторами.



Рис. 4. Модель уклонов поверхности

Примечание. Составлено авторами.

Морфографический анализ эрозионной сети широко используется при изучении тектонических движений [13], он включает в себя анализ планового рисунка гидросети, направления стока и порядка водотоков. При восходящих тектонических движениях наблюдается быстрый переход эрозионных форм от ложбин, оврагов, долин к рекам. Нередки случаи, когда долинная сеть начинается с оврагов, минуя стадию ложбин. Рисунок овражно-балочной сети имеет радиальный (центробежный) тип, в структуре преобладают водотоки низких порядков.

В районах тектонических опусканий нарастание порядка эрозионной сети происходит медленно, ложбины стока могут переходить в балки. Рисунок гидросети имеет радиальный (центробежный) тип.

Моделирование эрозионной сети было осуществлено в ArcGis 10.3 с помощью последовательной обработки ЦМР функциями модуля пространственного анализ: Spatial Analyst > Гидрология (Hydrology). Отбор водотоков проводился по величине значения суммарного стока  $>100,1$ . Подробное описание этапов гидрологического моделирования можно найти в работах А.Н. Власовой [2], А.Ю. Кашавцевой [5], А.Н. Павловой [9], А.В. Погорелова и Ж.А. Думита [10]. Исходя из поставленных условий отбора водотоков длина эрозионной сети, окаймляющей грабен, составила 42 123,603 м, средняя густота горизонтального расчленения – 2 445,77 м/км<sup>2</sup>. В автоматическом режиме с помощью функции Spatial Analyst > Порядок водотоков (Stream Order) в составе эрозионной сети были выделены водотоки пяти порядков (рис. 5). Отметим соотношение водотоков разных порядков. На водотоки первого порядка приходится 58 % (24 749,015 м), второго порядка – 31 % (13 016,3 м), третьего порядка – 3 % (969,83 м), четвертого – 7,1 % (3 015,9 м), пятого – 0,9 % (372,15 м). Из приведенных данных очевидным становится резкое преобладание водотоков низкого порядка.

В пределах выделенного района Александровского грабена расположены водосборные бассейны двух балок – Суводской и Суводский Яр. Проведенные ранее исследования позволяют выделить Суводскую балку по

показателю густоты эрозионной расчлененности, равной 5,65 км/км<sup>2</sup>, что в 2,3 раза превышает средний показатель (см. выше). Красноречив также плановый рисунок овражно-балочной сети. Суводская балка имеет дендритовый тип, несимметричный относительно главного тальвега балки. Северный (левый склон) больше изрезан эрозионными формами, чем южный (правый). Такая же асимметрия, но в зеркальном отображении характерна и для балки Суводский Яр, здесь наиболее изрезан правый (южный) склон. Тем не менее следует отметить, что резкое преобладание эрозионных форм наблюдается в северной части района.

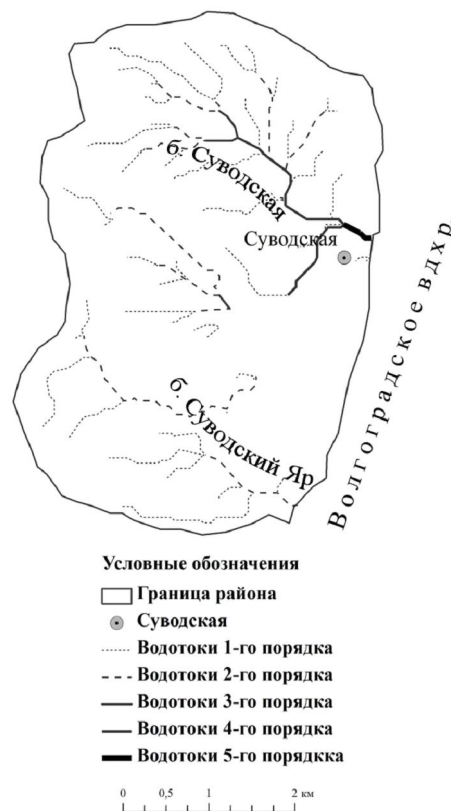


Рис. 5. Эрозионная сеть

Таким образом, при проведении исследования получены следующие результаты:

1. В структуре эрозионной сети преобладают водотоки низких порядков, на водотоки первого порядка приходится 58 %.

2. Наибольшая густота эрозионной расчлененности характерна для Суводской балки и составляет 5,65 км/км<sup>2</sup>, в то время как средний показатель равен 2,44 км/км<sup>2</sup>.

3. Развитие эрозионных форм интенсивнее происходит в северной части грабена.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о тектонической активности в районе Александровского грабена. Северный склон Суводской балки и южный склон балки Суводский Яр испытывают неравномерное поднятие. Большая глубина эрозионного вреза в Суводской балке свидетельствует о том, что северный участок поднимается быстрее. Противоположные склоны балок стабильны или же медленно опускаются, как и сам грабен.

**ПРИМЕЧАНИЕ**

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-45-340801 р\_а).

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Брылев, В. А. Особо охраняемые природные территории / В. А. Брылев, В. А. Сагалаев. – Волгоград : Перемена, 2000. – 260 с.
2. Власова, А. Н. Применение ГИС-технологий при выделении позиционно-динамической структуры бассейновых территорий (на примере Крыма) / А. Н. Власова. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <http://geopolitika.crimea.edu/arhiv/2012/tom8-v1-2/006vlasova.pdf>. (дата обращения: 20.03.2016). – Загл. с экрана.
3. Гарцман, Б. И. Анализ геоморфологических условий формирования первичных водотоков на основе ЦМР / Б. И. Гарцман. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <http://mybiblioteka.su/1-112480.html>. (дата обращения: 20.03.2016). – Загл. с экрана.
4. География овражной эрозии / под ред. Е. Ф. Зорина. – М. : Изд-во МГУ, 2006. – 324 с.
5. Кашавцева, А. Ю. Моделирование речных бассейнов средствами ArcGIS 9.3 / А. Ю. Кашавцева, В. Д. Шипулин // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия «География». – 2011. – Т. 24 (63). – С. 85–92.
6. Мальцев, К. А. Морфометрический анализ рельефа Республики Татарстан средствами ГИС-технологий : дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36, 25.00.25 / Мальцев Кирилл Александрович. – Казань, 2006. – 235 с.
7. Монилов, С. Н. Александровский грабен / С. Н. Монилов // Общество и проблемы охраны природы. – Волгоград, 1994. – С. 99–102.
8. Нетребин, П. Б. Морфометрический анализ рельефа Большого Кавказа : автореф. дис. ... канд. геогр. наук / Нетребин Петр Борисович. – Краснодар, 2012. – 19 с.
9. Павлова, А. Н. Геоинформационное моделирование речного бассейна по данным спутниковой съемки SRTM (на примере бассейна р. Терешки) / А. Н. Павлова // Известия Саратовского государственного университета. – 2009. – Т. 9. – С. 39–44.
10. Погорелов, А. В. Морфометрия рельефа реки Кубани: некоторые результаты цифрового моделирования / А. В. Погорелов, Ж. А. Думит. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <http://www.academia.edu/9398067/> (дата обращения: 20.03.2016). – Загл. с экрана.
11. Солодовников, Д. А. Геологическое строение и современные тектонические движения в районе Александровского грабена / Д. А. Солодовников, О. В. Филиппов // Проблемы комплексного исследования Волгоградского водохранилища : сб. науч. ст. – Волгоград : Волгогр. науч. изд-во, 2009. – С. 71–83.
12. Солодовников, Д. А. Комплексный подход к исследованию тектонических движений на берегах крупных водохранилищ / Д. А. Солодовников, О. В. Филиппов, Д. В. Золотарев // Проблемы комплексного исследования Волгоградского водохранилища : сб. науч. ст. – Волгоград : Волгогр. науч. изд-во, 2009. – С. 98–103.
13. Философов, В. П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур / В. П. Философов. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1960. – 96 с.
14. Encyclopedia of Geomorphology / ed. by A. S. Goudie. – L. : Taylor & Francis e-Library, 2006. – 1202 p.
15. Harvey, A. Introducing Geomorphology: A Guide to Landforms and Processes / A. Harvey. – L. : Dunedin Academic Press, 2012. – 136 p.
16. Hurget, R. J. Fundamentals of geomorphology / R. J. Hurget. – Edinburgh : Taylor & Francis e-Library, 2007. – 483 p.
17. Martz, L. W. Automated Extracion of Drainage Network and Watershed Data from Digital Elevation Models / L. W. Martz, J. Garbrecht // Water Resources Bulletin, American Water Resources Association. – 1993. – № 29 (6). – P. 901.
18. Vieux, B. E. Distributed Hydrologic Modeling Using GIS / B. E. Vieux. – Dordrecht (NL) (Kluwer Academic Publishers), 2001.
19. Wood, J. The geomorphological characterisatin of digital elevation models: PhD Thesis / J. Wood. – Department of Geography, University of Leicester, UK, 1996.
20. Zyl, J. van. The shuttle radar topography mission (SRTM): A breakthrough in remotesensing of

topography / J. van. Zyl // ACTA ASTRONAUTICA. – 2001. – Vol. 48, no. 5-12. – P. 559–565.

## REFERENCES

1. Brylev V.A., Sagalaev V.A. *Osobo okhranyaemye prirodnye territorii* [Specially Protected Natural Territories]. Volgograd, Peremena Publ., 2000. 260 p.
2. Vlasova A.N. *Primenenie GIS-tehnologii pri vydelenii pozitsionno-dinamicheskoy struktury basseynovykh territoriy (na primere Kryma)* [GIS-Technologies Application in Investigation of Position-Dynamic Structure of River Basins (on the example of Crimean Basins)]. Available at: <http://geopolitika.crimea.edu/arhiv/2012/tom8-v1-2/006vlasova.pdf>. (accessed March 20, 2016).
3. Gartsman B.I. *Analiz geomorfologicheskikh usloviy formirovaniya pervichnykh vodotokov na osnove TsMR* [The Analysis of Geomorphological Conditions of Forming Primary Water-Currents on the Basis of GDEM]. Available at: <http://mybiblioteka.su/1-112480.html>. (accessed March 20, 2016).
4. Zorina E.F., ed. *Geografiya ovrazhnoy erozii* [Geography of Gully Erosion]. Moscow, Izd-vo MGU, 2006. 324 p.
5. Kashchavtseva A.Yu., Shipulin V.D. *Modelirovanie rechnykh basseynov sredstvami ArcGIS 9.3* [Modeling of River Basins by Means of ArcGIS 9.3]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsionalnogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Seriya "Geografiya"*, 2011, vol. 24 (63), pp. 85-92.
6. Maltsev K.A. *Morfometricheskii analiz relyefa Respubliki Tatarstan sredstvami GIS-tehnologii: dis. ... kand. geogr. nauk* [Morphometrical Analysis of a Relief of Republic of Tatarstan by Means of GIS-Technologies. Cand. geogr. sci. diss.]. Kazan, 2006. 235 p.
7. Monikov S.N. *Aleksandrovskiy graben* [Aleksandrovsky Graben]. *Obshchestvo i problemy okhrany prirody* [Society and Problems of Wildlife Management]. Volgograd, 1994, pp. 99-102.
8. Ntrebin P.B. *Morfometricheskii analiz relyefa Bolshogo Kavkaza: avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk* [Morphometrical Analysis of Big Caucasus Relief. Cand. geogr. sci. abs. diss.]. Krasnodar, 2012. 19 p.
9. Pavlova A.N. *Geoinformatsionnoe modelirovanie rechnogo basseyna po dannym sputnikovoy syemki SRTM (na primere basseyna r. Tereshki)* [Geomodeling of River Basin of the Space Data SRTM (on the Example of Tereshka River)]. *Izvestiya Saratovskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2009, vol. 9, pp. 39-44.
10. Pogorelov A.V., Dumit Zh.A. *Morfometriya relyefa reki Kubani: nekotorye rezultaty tsifrovogo modelirovaniya* [Morphometry of the Kuban River Relief: Some Results of Digital Modelling]. Available at: <http://www.academia.edu/9398067/> (accessed March 20, 2016).
11. Solodovnikov D.A., Filippov O.V. *Geologicheskoe stroenie i sovremennye tektonicheskie dvizheniya v rayone Aleksandrovskogo grabena* [Geological Structure and Neotectonic Displacements in Aleksandrovsky Graben's Area]. *Problemy kompleksnogo issledovaniya Volgogradskogo vodokhranilishcha: sb. nauch. st.* [Problems of Complex Research of the Volgograd Water Reservoir. Collected Scientific Articles]. Volgograd, Volgogradskoe nauchnoe izd-vo, 2009, pp. 71-83.
12. Solodovnikov D.A., Filippov O.V., Zolotarev D.V. *Kompleksnyy podkhod k issledovaniyu tektonicheskikh dvizheniy na beregakh krupnykh vodokhranilishch* [The Complex Approach to Research of Neotectonic Displacements on Coast of Large Water Reservoirs]. *Problemy kompleksnogo issledovaniya Volgogradskogo vodokhranilishcha: sb. nauch. st.* [Problems of Complex Research of the Volgograd Water Reservoir. Collected Scientific Articles]. Volgograd, Volgogradskoe nauchnoe izd-vo, 2009, pp. 98-103.
13. Filosofov V.P. *Kratkoe rukovodstvo po morfometricheskomu metodu poiskov tektonicheskikh struktur* [Brief Management to a Morphometrical Method of Search for Tectonic Structures]. Saratov, SGUPubl, 1960. 96 p.
14. Goudie A.S., ed. *Encyclopedia of Geomorphology*. London, Taylor & Francis e-Library, 2006. 1202 p.
15. Harvey A. *Introducing Geomorphology: A Guide to Landforms and Processes*. Dunedin Academic Press, 2012. 136 p.
16. Hurget R.J. *Fundamentals of geomorphology*. Edinburgh, Taylor & Francis e-Library, 2007. 483 p.
17. Martz L.W., Garbrecht J. *Automated Extracion of Drainage Network and Watershed Data from Digital Elevation Models*. *Water Resources Bulletin, American Water Resources Association*, 1993, no. 29 (6), p. 901.
18. Vieux B.E. *Distributed Hydrologic Modeling Using GIS*. Dordrecht (NL) (Kluwer Academic Publishers), 2001.
19. Wood J. *The geomorphological characterisation of digital elevation models*. PhD Thesis. Department of Geography, University of Leicester, UK, 1996.
20. Zyl J. van. *The shuttle radar topography mission (SRTM): A breakthrough in remotesensing of topography*. *ACTA ASTRONAUTICA*, 2001, vol. 48, no. 5-12, pp. 559-565.



**GEOMORPHOLOGICAL METHODS OF STUDYING  
RECENT TECTONIC MOVEMENTS  
OF A RIGHT BANK OF THE VOLGOGRAD WATER RESERVOIR**

**Denis Anatolyevich Solodovnikov**

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Geography and Cartography,  
Volgograd State University  
densolodovnikov@mail.ru  
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

**Natalya Mikhaylovna Khavanskaya**

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Geography and Cartography,  
Volgograd State University  
havanskayanm@mail.ru  
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

**Vera Nikolaevna Bodrova**

Assistant Professor, Department of Geography and Cartography,  
Volgograd State University  
bodrova0307@mail.ru  
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

**Nikolay Vladimirovich Vishnyakov**

Assistant Professor, Department of Geography and Cartography,  
Volgograd State University  
nivishnyakov@yandex.ru  
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

**Abstract.** This article is devoted to analysis of geomorphological indicators of the recent tectonic movements in Aleksandrovskij graben's area, there is on a right bank of the Volgograd water reservoir. The geological structure of region is complicated by a set of faults which are shown in a relief as erosive systems. These systems have been analysed by morphometrical and morphographical methods which provides the foundation for the given research. On the basis of digital elevation model, authors had been made hypsometric model, model of surface slopes, hydrological model of stream orders. It is revealed, that the erosive system refers to dendritic type, and stream of the first order (58 %) prevails in its structure. Development of erosive forms concerning the central part of graben, occurs non-uniformly, the greatest intensity is marked in northern part that testifies to a raising of the block. Thus, the geospatial analysis and statistical processing of the models have allowed to come to the conclusion about neotectonics displacements in Aleksandrovsky graben area.

**Key words:** digital model of relief, modern tectonic movements, faults, graben, morphometrical method, morphographical method, hydrological modeling, erosive network, stream order.