

## ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЭРОЗИОННЫХ СИСТЕМ В ЗОНАХ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ СРЕДСТВАМИ ArcGis

Н. М. Хаванская, к. г. н.,  
доцент ФГАОУ ВО «Волгоградский  
государственный университет»,  
khavanskaya@volsu.ru,

Д. А. Солодовников, к. г. н.,  
доцент ФГАОУ ВО «Волгоградский  
государственный университет»,  
Solodovnikov@volsu.ru,

Н. В. Вишняков, ст. преподаватель  
ФГАОУ ВО «Волгоградский  
государственный университет»,  
vishnyakov@volsu.ru

В статье рассмотрено влияние разрывных тектонических нарушений на морфологические и морфометрические характеристики эрозионной сети в пределах урбосистем. В качестве модельного региона представлена территория города Волгограда, относящаяся к густо эродированным. В пределах выделенной территории проанализированы тектонические разрывные нарушения, образованные при взаимодействии крупных тектонических структур — Приволжской моноклинали и Прикаспийской синеклизы. На основе методов геоинформационного моделирования эрозионной сети, базирующихся на обработке цифровой модели рельефа в программной среде ArcGis 10.3.1, созданы карты порядка эрозионной сети, показателей горизонтальной и вертикальной расчлененности рельефа. Сделан вывод о том, что районы максимальной величины вертикального вреза эрозионных систем в плане соответствуют тектоническим сбросам.

The article considers the influence of faults on the morphological and morphometric characteristics of the erosion network within the urban systems. As a model region, the territory of the city of Volgograd, which belongs to the densely eroded one, is represented. Within the allocated territory, faults formed during the interaction of large tectonic structures — the Privolzhsky monocline and the Caspian syneclise — were analyzed. Based on the methods of geoinformation modeling of the erosion network, based on the processing of the digital elevation model in the ArcGis 10.3.1 software environment, maps of the order of the erosion network, horizontal and vertical dissection of the relief were created. It was concluded that the areas of maximum vertical incision of erosion systems in the plan correspond to faults.

**Ключевые слова:** морфометрический анализ, разрывные нарушения, грабены, сбросы, эрозионная сеть, геоинформационное моделирование, ArcGis, урбанизированные территории.

**Key words:** morphometrical analysis, faults, graben, normal fault, erosion system, geoinformation modeling ArcGis, urbanized area.

Морфологический и морфометрический анализ эрозионной сети является неотъемлемой частью геоморфологических исследований. Плановый рисунок, резкое изменение направления водотоков, их порядок, величина вертикального вреза, горизонтальная расчлененность рельефа служат индикаторами тектонических процессов на территории [1–3]. В горных и предгорных областях тектоническая активность проявляется непосредственно в виде подвижек и колебаний земной коры, которые отчетливо фиксируется. Для равнинных платформенных территорий именно анализ эрозионных систем, сопряженный с тектоническим строением территории, дает представление о характере и направленности тектонических движений. Особую актуальность в этом контексте приобретает изучение урбанизированных

территорий, которые являются центром концентрации населения и хозяйства. Примером одной из таких территорий может быть г. Волгоград.

Волгоград расположен на юго-восточной оконечности Приволжской возвышенности, ее крутом восточном склоне, спускающемся к Волге. В тектоническом плане территория находится вблизи сочленения восточного крыла Воронежской антеклизы и Прикаспийской синеклизы. С новейшего этапа орогенеза эти крупные тектонические структуры испытывают разнонаправленные движения: антеклиза — восходящие, синеклиза — нисходящие. Вызванное этими процессами растяжение земной коры сопровождалось локальными разломами (сбросами). В результате на исследуемой территории сформировался ряд грабенов и сбросовых уступов, разде-

ленных разломами. Дополнительную техногенную нагрузку создает Волгоградское водохранилище [4].

Главной целью исследования является дистанционный мониторинг и анализ тектонических процессов в пределах урбанизированной территории посредством геоинформационного моделирования геоморфологических индикаторов. Для реализации поставленной цели последовательно требуется рассмотреть тектоническое строение территории, провести морфометрический анализ эрозионной сети, включая показатели вертикальной и горизонтальной расчлененности рельефа, провести сопряженный анализ географии и характера этих показателей с тектонической структурой.

В основе исследования лежат геоинформационные методы тематического картографирования на базе обработки ЦМР SRTM 1-arcsecond Global [5] с последующим совмещением и анализом полученных карт с существующей схемой тектонического строения Волгоградской агломерации. Схема тектонического строения, предложенная Самусем Н. А. и др. [4], предварительно была оцифрована и географически привязана в ArcMap.

На следующем этапе по выбранным геоморфологическим индикаторам тектонических движений были построены карта эрозионной сети, включая идентификацию порядков водотоков, карты горизонтальной и вертикальной расчлененности рельефа. При построении карты водотоков в ArcMap были использованы функции гидрологического моделирования модуля пространственного анализа Spatial Analyst. Алгоритм генерации сети водотоков подробно описан во многих работах [6–8] и является базовым для морфологического и морфометрического анализа рельефа.

Построение карты горизонтальной расчлененности рельефа осуществлялось с помощью оверлейных операций с векторными слоями. Поскольку искомый показатель рассчитывается как длина эрозионной сети в м или км на  $1 \text{ км}^2$  территории, на район исследования была наложена сетка в виде полигонального слоя с размером ячейки  $1 \times 1 \text{ км}$ .

Одновременно был построен слой точек-меток, расположенных по одной в центре каждой ячейки-полигона. При наложении векторных слоев эрозионной

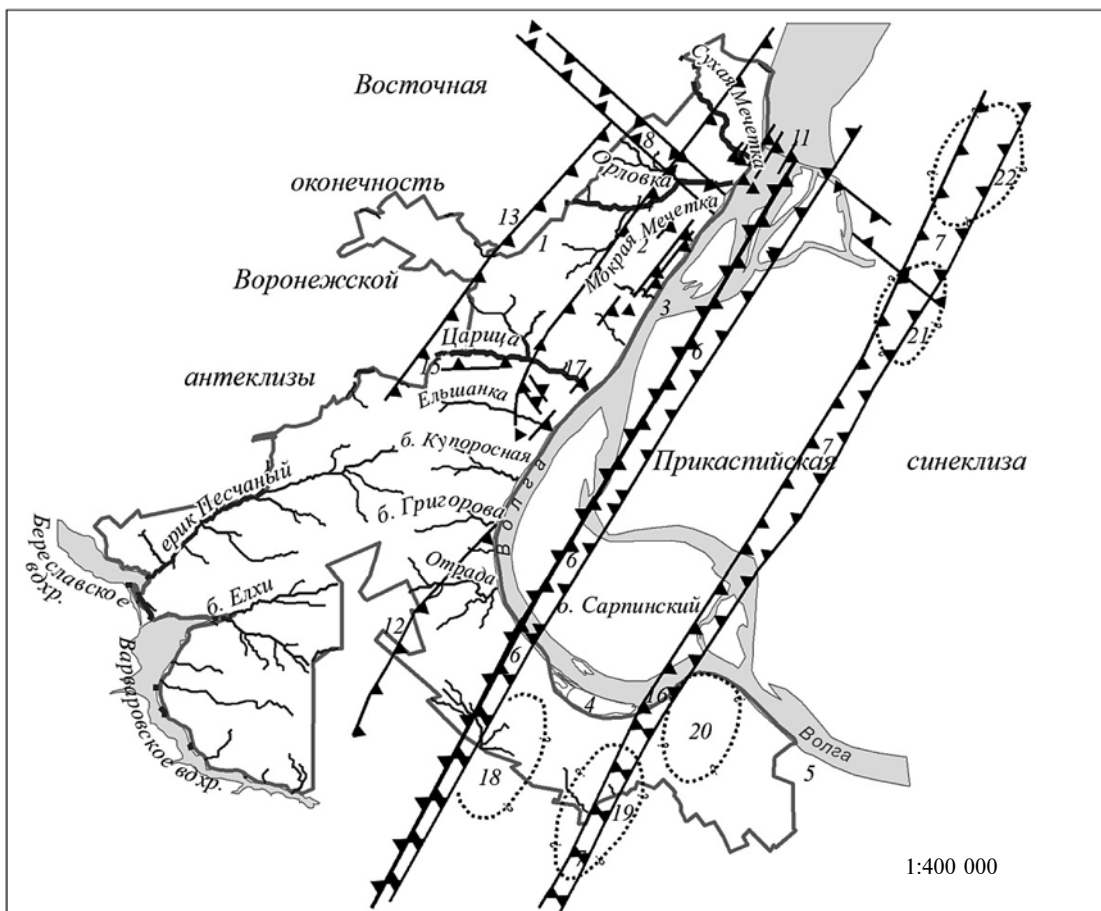
сети и полигонального слоя с помощью функции «Пересечение» создается новый полигональный слой, в атрибутах которого каждой ячейке километровой сетки присваивается значение длины эрозионной сети, расположенной в ее пределах. Следующим шагом является соединение атрибутивных таблиц слоя точек-меток и нового полигонального слоя, на основе поля FID, содержащего общие для них порядковые номера.

В результате каждой метке в точечном слое соответствует значение длины водотоков. Далее на основе полученного точечного слоя создается интерполированный растр. В нашей работе наиболее корректно показал себя метод «Естественная окрестность». Заключительным шагом является построение изолиний. С учетом естественных условий был выбран интервал 0,25 км.

Для построения карты интенсивности вертикального расчленения рельефа был выбран другой способ картографирования — наложение растра с помощью функции зональной статистики. Полигональный километровой сетка была наложена на ЦМР, далее выбран тип статистики RANGE, при котором вычисляется разница между наименьшим и наибольшим значением высоты в пределах ячейки километровой сетки.

Как было отмечено выше, тектоническое строение Волгограда определяется динамическими процессами, происходящими в зоне сочленения краевой части Воронежской антеклизы (Приволжской моноклинали) и Прикаспийской синеклизы. Пульсирующее воздымание Приволжской моноклинали на фоне опускания Прикаспийской впадины в постолгоценовое время привело к растяжению осадочного чехла, что сопровождалось образованием грабенов (рис. 1).

Цифрами на рис. 1 указаны *блоки*: 1 — Городищенский, 2 — Царицынский, 3 — Волжско-Отраденская дислоцированная зона, 4 — Сарептский, 5 — Татьянский. *Грабены*: 6 — Бекетовский, 7 — Красноармейско-Паромненский, 8 — предполагаемый Азгирский, 9 — Шенбруннская структура, 10 — Суходольская структура; *сбросы*: 11 — «Большой Волгоградский», 12 — Отраденский, 13 — Орловский, 14 — Мечеткинский, 15 — Царицынский, 16 — Сарпинский, 17 — Усть-Царицынская



Условные обозначения

- Граница между Приволжской моноклиналь и Прикаспийской синеклизой
- Брахиантиклинали
- Сбросы
- Граница городского округа Волгоград (без о. Сарпинский)

Рис. 1. Тектоническая схема территории Волгоградской агломерации по [4]

группа сбросов. *Брахиантиклинали*: 18 — Бекетовская, 19 — Южно-Красноармейская, 20 — Северо-Красноармейская, 21 — Южно-Паромненская, 22 — Паромненская.

Грабены расположены субпараллельно границе между главными тектоническими структурами — Воронежской антеклизой и Прикаспийской синеклизой, с амплитудами их максимального погружения до 200 м и более [4]. Многочисленные сбросы с небольшими амплитудами обрамляют грабены.

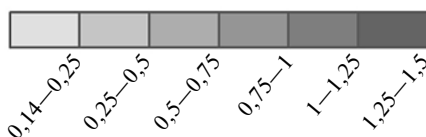
По результатам гидрологического моделирования на территории Волгограда выделена эрозионная сеть, имеющая в плане древовидный рисунок и состоящая из водотоков четырех порядков. Общая протяженность гидросети — 250 км, при

этом на водотоки 1-го порядка приходится 53,28 % ее суммарной длины, 2-го порядка — 29 %, 3-го порядка — 5,12 % и 4-го — 12,6 %. Полученное соотношение водотоков свидетельствует об интенсивном развитии процессов овражной эрозии. С учетом площади выделенной территории, равной 686 км<sup>2</sup>, показатель общей горизонтальной расчлененности территории Волгограда составляет 0,36 км/км<sup>2</sup>.

При картографировании показателя горизонтальной расчлененности рельефа на 1 км<sup>2</sup> был выделен диапазон от 0,14 до 1,5 км/км<sup>2</sup>. Наибольшая величина этого показателя характерна для территорий, дренированных реками Царица, Сухая и Мокрая Мечетка, Ельшанка, а также территории, примыкающей к Варваровскому и Береславскому водохранилищам (рис. 2).



**Условные обозначения**  
Густота эрозионной сети, км/км<sup>2</sup>




 Граница городского округа Волгоград (без о. Сарпинский)

Рис. 2. Горизонтальная расчлененность рельефа территории Волгограда

Ареалы с густотой эрозионной сети 0,14—0,25 км/км<sup>2</sup> в основном расположены в южной части города, соответствующей аккумулятивной хвалынской террасе, и на западном склоне Приволжской возвышенности, спускающемся к Варваровскому и Береславскому водохранилищам. Изолинии 0,5 км/км<sup>2</sup> оконтуривают территории межбалочных водоразделов и приводораздельных пространств на всей территории; 0,75 км/км<sup>2</sup> — охватывают присетевые склоны оврагов центральной и северной частей Волгограда, примерно от р. Отрада до р. Мокрая Мечетка. В пределах среднего и верхнего течения отдельных эрозионных объектов горизонтальная

расчлененность достигает 1 км/км<sup>2</sup>. Максимальные значения этого показателя встречаются локально в среднем течении рек Мокрая и Сухая Мечетка. Таким образом, наибольшая горизонтальная расчлененность рельефа характерна для центральной и северной частей города.

Максимальные значения 90—108 м интенсивность вертикальной расчлененности рельефа достигает в южной части Волгограда, где склон Приволжской возвышенности переходит в хвалынскую аккумулятивную террасу; минимальные — характерны для водораздельных плато возвышенности и аккумулятивной террасы от 0 до 36 м (рис. 3). При анализе рас-

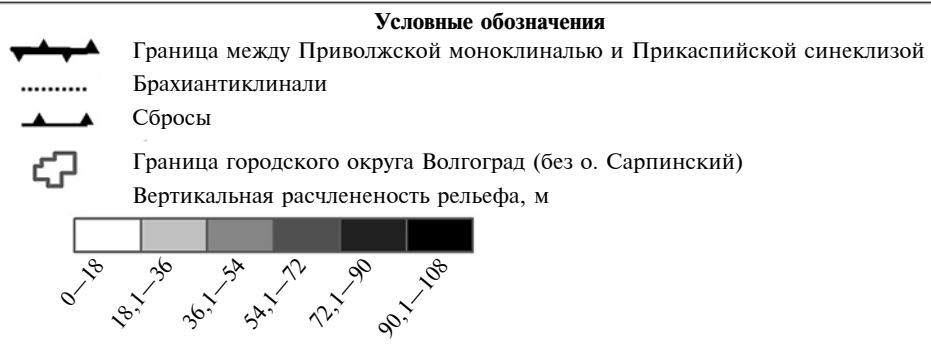
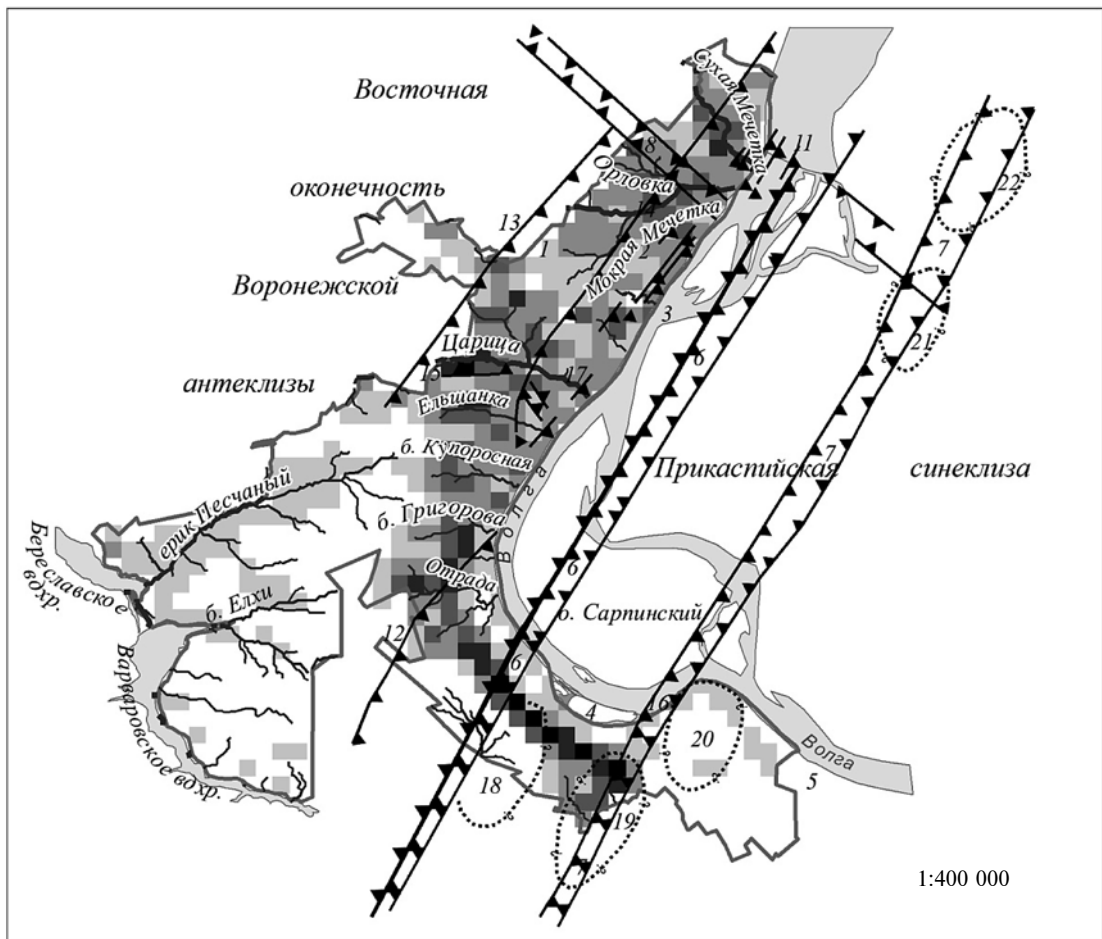


Рис. 3. Интенсивность вертикальной расчлененности рельефа территории Волгограда

пределения показателя глубины вреза эрозионных систем выявлены следующие закономерности: для рек северной части города — Мокрой и Сухой Мечетки — наибольшие значения достигаются в среднем течении (50—70 м); для рек центральной части — Царица, Ельшанка, б. Купоросная, Отрада — в верхнем, при этом максимум в верховьях Царицы (80—90 м), а ближе к устьевой части показатель снижается до 30—40 м. Для бассейнов ерика Песчаного и б. Елхи вертикальная расчлененность рельефа менее 20—30 м.

При наложении карты интенсивности вертикальной расчлененности рельефа и тектонической схемы обнаружено, что описанные выше районы максимального эрозионного вреза в пределах бассейнов рек соответствуют в плане Мечеткинскому сбросу в северной части города, Царицынскому — в центральной; Отраденскому — в южной. Следовательно, можно говорить о тектонической обусловленности морфометрических показателей эрозионных систем Волгограда.

Итак, в результате геоинформационного моделирования на основе ЦМР SRTM в среде ArcGis 10.3.1. было выполнено построение карт, отражающих основные геоморфологические показатели — вертикальной и горизонтальной расчлененности рельефа, выявлено влияние разрывных

тектонических структур (сбросов) на морфологические и морфометрические параметры эрозионного рельефа.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 16-45-340801 p\_a).*

### Библиографический список

1. Философов В. П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур / В. П. Философов. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1960. — 96 с.
2. Солодовников Д. А. К вопросу о влиянии гидротехнических сооружений на современную тектоническую активность Нижнего Поволжья // Проблемы региональной экологии. — 2015. — № 6. — С. 103—107.
3. Rulev A. S., Yuferev V. G. Theory of geoinformatic mapping of erosive geomorphological systems // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11. Естественные науки. — 2014. — № 4 (14). — С. 62—67.
4. Самусь Н. А., Игнатенко О. Н., Самусь А. Н. Тектоника территории Волгоградской агломерации // Известия Волгоградского государственного университета. Серия естественные и физико-математические науки. — 2005. — № 4 (13). — С. 111—118.
5. Архив геологической службы США [Электронный ресурс]. URL: <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc> (дата обращения: 20.03.2017).
6. Погорелов А. В., Думит Ж. А. Морфометрия рельефа реки Кубани: некоторые результаты цифрового моделирования [Электронный ресурс]. URL: <http://www.academia.edu/9398067/> (дата обращения: 20.03.2017).
7. Солодовников Д. А., Хаванская Н. М., Бодрова В. Н., Вишняков Н. В. Геоморфологические методы изучения современных тектонических движений на правом берегу Волгоградского водохранилища // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11. Естественные науки. — 2016. — № 2 (16). — С. 50—56.
8. 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. — V. 29 (6) — P. 901.

## REMOTE MONITORING OF EROSION SYSTEMS IN ZONES OF FAULTS AT THE URBAN AREAS USING ARCGIS

*N. M. Havanskaya, Cand. of Geogr. Sc., Associate Professor at the Volgograd State University, khavanskaya@volsu.ru,*

*D. A. Solodovnikov, Cand. of Geogr. Sc., Associate Professor at the Volgograd State University, Solodovnikov@volsu.ru,*

*N. V. Vishnjakov, Senior Lecturer at the Volgograd State University, vishnyakov@volsu.ru*

### References

1. Filosofov V. P. Brief management to a morphometrical method of searches of tectonic structures. Saratov: SGU Publishing House, 1960. — 96 p.
2. Solodovnikov D. A. To the question the impact of hydraulic structures on modern tectonic activity in the Lower Volga region // Regional Environmental Issues. — 2015. — No 6. — P. 103—107.
3. Rulev A. S., Yuferev V. G. Theory of geoinformatic mapping of erosive geomorphological systems // Herald of Volgograd State University. Series 11. Natural Sciences. — 2015. — No 4 (14). — P. 62—67.
4. Samus' N. A., Ignatenko O. N., Samus' A. N. Tectonics of Volgograd agglomeration territory // Herald of the Volgograd State University. Series Natural and Physical and Mathematical Sciences. — 2005. — No. 4 (13). — P. 111—118.
5. Archive of the US Geological Survey. Electronic resource: <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc>. (accessed 20.03.2017).
6. Pogorelov A. V., Dumit Zh. A. Morphometry of relief of the Kuban river: some results digital modeling. Electronic resource: <http://www.academia.edu/9398067/> (accessed 20.03.2017).
7. Solodovnikov D. A., Khavanskaya N. M., Bodrova V. N., Vishnyakov N. V. Geomorphological methods of movements of a right bank of the Volgograd water reservoir // Herald of Volgograd State University. Natural Sciences. — 2016. — No 2 (16). — P. 50—56.
8. Martz L. W. Automated Extracion of Drainage Network and Watershed Data from Digital Elevation Models // Water Resources Bulletin, American Water Resources Association. — 1993. — V. 29 (6). — P. 901.