



УДК (504.5.06+004.942):(470 44)

Исследование линейной эрозии путем создания уточненной цифровой модели рельефа на основе SRTM (на примере территории Хвалынского района Саратовской области)



А. В. Федоров, П. А. Шлапак, Д. А. Муженский

Федоров Алексей Васильевич, старший преподаватель, заведующий учебной лабораторией геоинформатики и тематического картографирования, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, alexeivf@gmail.com

Шлапак Павел Александрович, старший преподаватель, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, henryxiv@list.ru

Муженский Дмитрий Александрович, инженер, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, dimamyzhen@mail.ru

В статье рассматривается методика построения цифровой модели рельефа и ее производных для анализа пространственного распределения линейных эрозионных процессов на примере территории Хвалынского района. Авторами предлагается создание уточненной модели рельефа на основе данных радарной съемки SRTM, топографических карт и дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли. Описывается технология создания уточненной модели рельефа и производится сравнительный анализ с базовой SRTM. Определяются области применения предлагаемого метода и необходимость его внедрения. **Ключевые слова:** цифровые модели рельефа, линейная эрозия, Саратовская область, ГИС-технологии, SRTM.

Studying Linear Erosion by Means of Creating a Refined Digital Elevation Model Based on SRTM (The Khvalynsk District of the Saratov Region as an Example)

A. V. Fedorov, P. A. Shlapak, D. A. Muzhenskiy

Alexey V. Fedorov, <https://orcid.org/0000-0002-8999-6398>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, alexeivf@gmail.com

Pavel A. Shlapak, <https://orcid.org/0000-0002-6418-8749>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, henryxiv@list.ru

Dmitriy A. Muzhenskiy, <https://orcid.org/0000-0003-2442-4345>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, dimamyzhen@mail.ru

This article considers the methodology for constructing a digital elevation model and its derivatives for analyzing the spatial distribution of linear erosion processes using the territory of the Khvalynsk district as an example. The authors propose the creation of a refined terrain model based on SRTM radar data, topographic maps and the

interpretation of Earth remote sensing data. The creation technology is described and a comparative analysis of the refined model with the base SRTM is carried out. Areas of application of the proposed method and the need for its implementation are determined.

Keywords: digital elevation model, linear erosion, Saratov region, GIS-technology, SRTM.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-1-36-40>

Актуальность исследования. Точная и актуальная информация о рельефе, полученная из разных источников, является важным компонентом анализа морфометрических характеристик территории. Они используются как в фундаментальных исследованиях, так и для решения разных задач, например при строительстве инженерных сооружений, обеспечении защиты земель от эрозии и неблагоприятных явлений, ландшафтных изыска-ниях. Многообразие решаемых задач, связанных с морфометрическими исследованиями, обеспечивается доступностью источников информации, в том числе тех, которые необходимы для создания моделей рельефа: данные дистанционного зондирования, топографические съемки местности, топографические карты, гипсо- и барометрические карты и др. Использование данных о рельефе местности актуально для решения задач, связанных с выявлением и прогнозированием развития на исследуемой территории интенсивного овраго-образования и оползневых процессов. Особенно важное значение приобретает применение точной и актуальной информации.

Объект исследования. Хвалынский район Саратовской области является одним из наиболее контрастных в аспекте рельефа районов региона. Здесь перепады высот достигают нескольких сотен метров, а плоские участки сочетаются с сильнорасчлененными долинами рек, отрогами меловых гор. Хвалынский район входит в выделяемую некоторыми исследователями в качестве отдельной, имеющей собственные отличительные особенности территорию Саратовского Предволжья [1]. Данная зона имеет хорошо выраженную эрозионную сеть с глубоко врезаемыми долинами рек, крупными оврагами и балками. Опасные экзогенные процессы представлены оползне-образованием, эрозией. В районах меловых и известняковых отложений ситуацию осложняют суффозия и карст. Поэтому требования к точности и детальности построения моделей рельефа на территории Хвалынского района должны быть очень высокими.



Цель исследования – разработать методику получения достоверных данных, которые будут способствовать наиболее полной и точной комплексной оценке рисков развития опасных эрозионных процессов.

На предыдущем этапе исследования была создана карта эрозионной опасности Хвалынского района [2]. Интегральный показатель рассчитывался путем балльной оценки территории по трем пространственным моделям: горизонтальному и вертикальному расчленению, а также по модели углов наклона. Созданные растровые модели были совмещены в виде карты эрозионной опасности. Но в ходе работ было выявлено, что существенной проблемой является точность исходных данных. В частности, использовалась общедоступная модель SRTM 1 ArcSecond Global [2]. Пространственное разрешение данной цифровой модели рельефа (ЦМР) позволяет отображать овраги и балки, крупные промоины, но более мелкие эрозионные формы не будут представлены. По оценкам А. К. Корвзула (Karwel) и И. Эвиака (Ewiak) данные SRTM вполне могут использоваться для построения рельефа на топографических картах 1:50000 [3].

Для решения этой задачи предполагается уточнить модель рельефа, полученную на основе SRTM 1, материалами, взятыми с топографической карты 1:25000 (изогипсы и отметки высот), и данными дистанционного зондирования Земли.

Вертикальное расчленение и углы наклона при уточнении изменятся незначительно, так как эти параметры определяются в первую очередь крупными формами рельефа, которые достаточно точно отображены на базовой SRTM. Горизонтальное расчленение будет серьезно отличаться, так как определяется детальностью отображения всех эрозионных форм, в том числе небольших.

Следовательно, необходимо построить модель горизонтального расчленения на основе полученной ЦМР. Анализируя сходства и различия горизонтального расчленения, можно выявить участки высокой эрозионной опасности на территории Хвалынского района.

Подготовка материалов

Данные SRTM 1 общедоступны и представлены в виде растровой модели, в которой каждой ячейке растра (пикселу) соответствует действительная абсолютная высота (рис. 1, а) [4]. После скачивания растр предварительно обрабатывается с помощью инструментов ArcToolBox ArcGIS 10.2: удаляются артефакты (инструмент «Фокальная статистика»), изображение обрезается по контуру района (инструмент «Обрезка растра»). По топографической карте 1:25 000 оцифровываются векторные изогипсы рельефа и отметки высот. По подготовленному космоснимку SPOT 5 выделяется эрозионная сеть, а также линейные и площадные гидрографические объекты. Важно отметить, что направления тальвегов и водотоков должны совпадать с направлениями стока [5]. Таким образом, для моделирования в единой проекции должны быть подготовлены следующие слои: растр SRTM 1, изогипсы рельефа, отметки высот, эрозионная сеть, гидрографическая сеть, площадные водные объекты.

Создание уточненной цифровой модели рельефа и модели горизонтального расчленения

Для создания уточненной ЦМР исходные данные обрабатывались с помощью инструмента «Toto to Raster» модуля Spatial Analyst программного комплекса ArcGIS 10.2 (рис. 1, б).

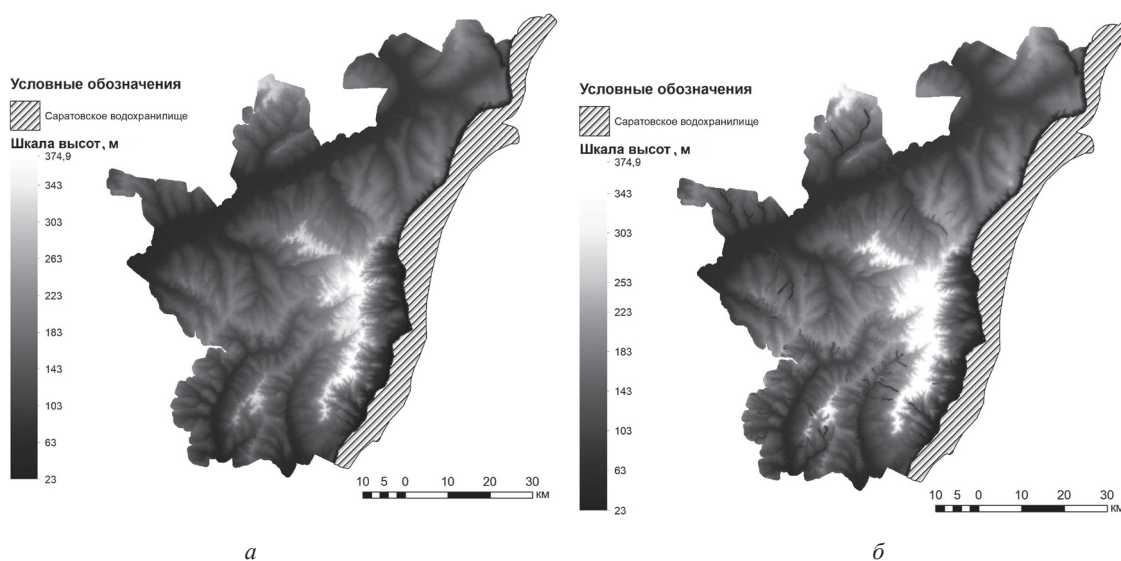


Рис. 1. ЦМР на территорию Хвалынского района: а – ЦМР по данным SRTM 1; б – уточненная ЦМР



Сопоставив полученную модель с данными по SRTM 1 (рис.2), можно отметить значительную разницу в количестве и точности отрисовки верховьев оврагов и балок, т. е. на участках, близких к водораздельным поверхностям. Долины рек не слишком изменяются на уточненной модели. Это объясняется разрешением SRTM 1, позволяющим идентифицировать значительные перепады высот, но нечувствительным к обширным и при этом слабоврезанным эрозионным элементам. В уточ-

ненной модели метричность и общая динамика SRTM 1 дополняются детальностью космического снимка и топокарты.

Для подтверждения необходимости улучшения SRTM 1 следует перейти к более наглядному сравнению моделей горизонтального расчленения до и после уточнения (рис. 3).

Как уже говорилось выше, два других показателя, часто используемых для отображения линейной эрозии, – вертикальное расчленение и

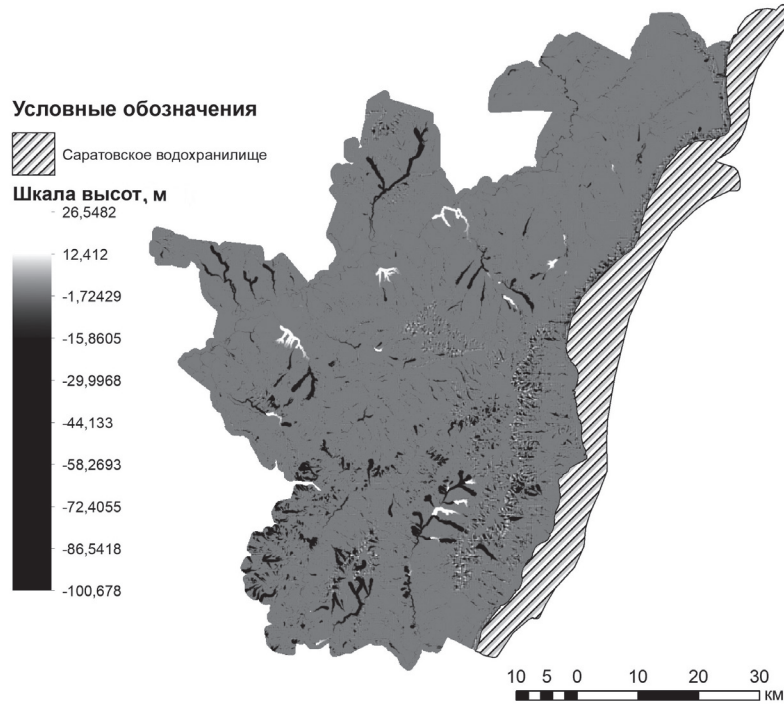


Рис. 2. Карта разности двух ЦМР: уточненной и по данным SRTM 1

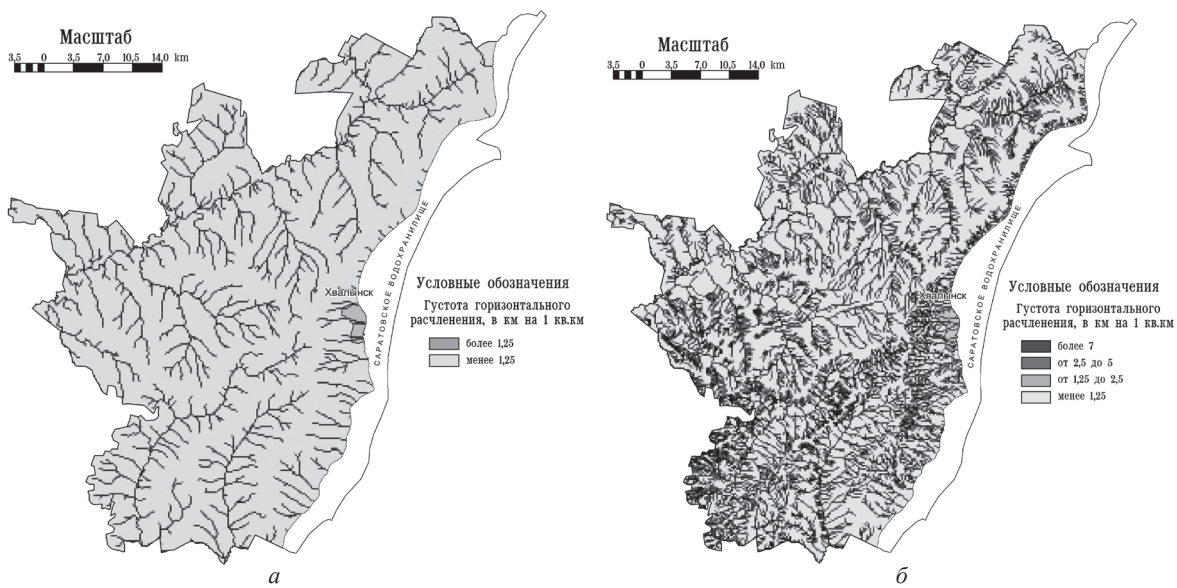


Рис. 3. Карты моделей горизонтального расчленения рельефа территории: а – по ЦМР на основе данных SRTM 1; б – по уточненной ЦМР



модель углов наклона – не испытывают серьезных изменений при внесении дополнительных данных [2]. Это объясняется тем, что наибольшему уточнению подвергаются территории с малыми уклонами и малой разницей высот.

Горизонтальное расчленение (густота эрозионной сети) – принципиально иной показатель, определяющий насыщенность местности эрозионными формами, которые характеризуют степень активности эрозионных процессов [6]. Иными словами, наличие в пределах участка обширной сети неглубоких промоин будет значительней влиять на итоговый коэффициент, чем наличие глубокой, но не слишком длинной балки.

Модель горизонтального расчленения создавалась в два этапа. Сначала на основе ЦМР в программном комплексе Global Mapper была воссоздана эрозионная сеть. Далее была сформирована сетка с квадратной ячейкой площадью 4 км². Показатель горизонтального расчленения вычислялся как отношение суммы длин всех эрозионных форм к площади ячейки. Наблюдается отличие значений более чем на порядок, особенно в южной части района (бассейн р. Терешка) и в меловых горах близ Саратовского водохранилища.

Анализ результатов

Сравнительный анализ моделей распределения высот (см. рис. 1) и густоты эрозионной сети (см. рис. 3) позволяет сделать следующие выводы.

1. SRTM 1 дает возможность определить средние и крупные формы линейной эрозии, что достаточно для исследований на региональном и в некоторых случаях локальном уровне. Уточнение модели необходимо на ультралокальном уровне и на участках, на которых развиваются опасные экзогенные процессы, связанные с эрозией: оврагообразование, сход оползней и т. п. Если проводить аналогию с топографическими картами, базовая SRTM может использоваться для карт масштаба 1:50000 и мельче, уточненная модель может быть сопоставлена с топокартами 1:25000 и 1:10000. Более детальное исследование рельефа может минимизировать природные и техногенные риски, способствовать оптимизации землепользования, развитию инфраструктурных проектов [7, 8].

2. Основные различия между SRTM 1 и уточненной моделью наблюдаются в верховьях склонов. Лучше идентифицируются тальвеги более низких порядков. Для крупных балок, оврагов и постоянных водотоков особой разницы между полученными моделями не выявлено.

3. Более точная идентификация эрозионной сети важна не только с точки зрения изучения рельефа. Немаловажным является также изучение бассейнов стока. Достоверное определение тальвегов низкого порядка позволяет выявлять важные гидрологические показатели, связывать выпадение осадков и водность рек, определять источники загрязнения воды [9].

4. Сравнивая две модели горизонтального расчленения территории Хвалынского района (см. рис. 3), можно проследить серьезную разницу в детализации значений данного показателя. Особенно сильным является отличие в южной части района (бассейн р. Терешка) и в меловых горах близ Саратовского водохранилища. Это обусловлено рядом факторов: значительными перепадами абсолютных высот водоразделов и базисов эрозии, высокими значениями углов наклона поверхности, податливостью горных пород. Перечисленные причины способствуют развитию густой и обширной эрозионной сети, на что указывает показатель горизонтального расчленения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Русского Географического Общества (проект № 07/2019-Р «Космические снимки для мелиорации Саратовского Заволжья»).

Библиографический список

1. Саратовское Предволжье. Ландшафтная структура. История освоения. Проблемы природопользования / А. Н. Чумаченко, В. А. Гусев, Н. В. Пичугина [и др.]. Саратов : ИП Кошкин В. А., 2014. 180 с.
2. Муженский Д. А., Шлапак П. А., Федоров А. В. Исследование линейной эрозии с помощью цифрового моделирования рельефа (на примере территории Хвалынского района Саратовской области) // *Фундаментальные исследования с применением компьютерных технологий в науке, производстве, социальных и экономических процессах: материалы 18-й Нац. молодежной науч.-практ. конф. / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова. Новочеркасск : Лик, 2019. С. 291–296.*
3. Karwel A. K., Ewiak I. Estimation of the accuracy of the SRTM terrain model on the area of Poland // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2008. Vol. XXXVII, part B7. P. 169–172.*
4. Геологическая Служба США [Электронный ресурс]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения: 19.09.2019).
5. Чумаченко А. Н., Хворостухин Д. П., Морозова В. А. Построение гидрологически-корректной цифровой модели рельефа (на примере Саратовской области) // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2018. Т. 18, вып. 2. С. 104–109.*
6. Гайворонская Н. И. Картометрические и морфометрические показатели как основа для выявления природных предпосылок развития экзогенных геоморфологических процессов на территории Белгородской области // *Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С. 932–939.*
7. Геоэкологический риск-анализ нефтяных месторождений Саратовской области с применением ГИС-технологий / А. Н. Чумаченко, А. В. Молочко, В. З. Макаров [и др.] ; под ред. А. Н. Чумаченко. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2017. 104 с.



8. Гусев В. А., Басамыкин С. С., Шлапак П. А. Оптимизация структуры землепользования для увеличения устойчивости агроландшафтов // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2016. Т. 16, вып. 3. С. 133–137.

9. Чумаченко А. Н., Гусев В. А., Данилов В. А., Мака-

ров В. З., Затонский В. А., Пичугина Н. В., Федоров А. В., Шлапак П. А. Геоэкологическая оценка качества поверхностных вод бассейна реки Чардым Саратовской области // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2016. Т. 16, вып. 2. С. 93–97.

Образец для цитирования:

Федоров А. В., Шлапак П. А., Муженский Д. А. Исследование линейной эрозии путем создания уточненной цифровой модели рельефа на основе SRTM (на примере территории Хвалынского района Саратовской области) // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2020. Т. 20, вып. 1. С. 36–40. DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-1-36-40>

Cite this article as:

Fedorov A. V., Shlapak P. A., Muzhenskiy D. A. Studying Linear Erosion by Means of Creating a Refined Digital Elevation Model Based on SRTM (The Khvalynsk District of the Saratov Region as an Example). *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Earth Sciences*, 2020, vol. 20, iss. 1, pp. 36–40 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-1-36-40>
