

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-125-138

УДК 528.8:631.1



Научная статья | Геоморфология

## СОЗДАНИЕ БАЗЫ ГЕОДАНЫХ ГЕОМОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЛЬЕФА НА ПРИМЕРЕ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

*А.И. Павлова*

*Традиционные методы качественного описания рельефа, применяемые в ходе ландшафтного анализа, районирования, прогнозирования развития экзогенных процессов, оценки сельскохозяйственных земель не позволяют объективно выделить формы рельефа, выявить статистически достоверные связи между показателями рельефа и компонентами геосистем. Для агроэкологической оценки и группировки земель с применением методов автоматической классификации необходимо построение базы геоданных количественных показателей рельефа. При региональных исследованиях для разработки базы геоданных геоморфометрических показателей рельефа наиболее актуальны космические снимки высокого и среднего пространственного разрешения.*

**Обоснование.** *Большое практическое значение для автоматизированного картографирования форм и типов рельефа имеют количественные показатели рельефа. В процессе региональной классификации (группировки) сельскохозяйственных земель часто используют усредненные показатели рельефа. В зарубежной литературе для классификации сельскохозяйственных земель часто применяют комбинированные топографические индексы. Научная значимость исследований связана с современными методами геоморфометрического анализа рельефа на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) и их применения для автоматизированного картографирования типов рельефа.*

**Цель работы** – создание базы геоданных (БГД) геоморфометрических параметров рельефа Новосибирской области на основе спутниковых данных.

**Материалы и методы.** В работе использованы методы цифрового моделирования рельефа и геоморфометрии.

**Результаты.** В работе создана БГД геоморфометрических параметров рельефа с использованием космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения ALOP PALSAR (12,5 м/пиксел) и ALOS DSM (30 м/пиксел), топографических карт М1:25000. БГД рельефа на примере Новосибирской области включает тематические морфометрические карты и атрибутивные таблицы. БГД использована для картографирования типов рельефа на территории агроландшафтов Новосибирской области. В результате автоматической классификация типов рельефа с применением алгоритмов без учителя K-Nearest Neighbor (KNN или k-NN, ближайших соседей) и итеративного самоорганизующегося алгоритма ISODATA (Self-Organizing Data Analysis) были картографированы типы рельефа на территории Новосибирской области. Входными данными для классификации типов рельефа служили параметры рельефа и вегетационные индексы NDVI, EVI, OSAVI, TSAVI, вычисленные на основе мультиспектральных космических снимков Sentinel-2 A. На примере Приобского центрально-лесостепного агроландшафта охарактеризованы типы рельефа и связанные с ними группы сельскохозяйственных земель: водораздельный дренированный нерасчлененный плоско-равнинный, приводораздельный дренированный слаборасчлененный, междуречный недренированный плоско-заболоченный. Основными рельефообразующими процессами на территории Приобского центрально-лесостепного агроландшафта являются плоскостной смыв и заболачивание.

**Заключение.** Современные методы геоморфометрии и геоинформатики позволяют на основе дистанционной информации создавать пространственные базы данных геоморфометрических параметров для комплексной оценки сельскохозяйственных земель. Использование БГД геоморфометрических параметров рельефа и вегетационных индексов позволило выполнить автоматизированное картографирование типов рельефа.

**Ключевые слова:** пространственная база данных; геоинформационная система; сельскохозяйственные земли; геоморфометрия; морфометрические показатели рельефа; топографические индексы

**Для цитирования.** Павлова А.И. Создание базы геоданных геоморфометрических параметров рельефа на примере Новосибирской области с применением космических снимков // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №2. С. 125-138. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-125-138

Original article | Geomorphology

## CREATION OF A GEODATABASE ON GEOMORPHOMETRIC PARAMETERS OF THE RELIEF BY THE EXAMPLE OF THE NOVOSIBIRSK REGION USING SATELLITE IMAGES

*A.I. Pavlova*

*Traditional methods of qualitative description of relief used in the process of landscape analysis, zoning, forecasting of exogenous processes, assessment of agricultural land do not allow to distinguish objectively forms of relief, to reveal statistically reliable relations between relief indicators and components of geosystems. For agro-ecological evaluation and land grouping with the help of modern methods of data classification, a geodatabase with quantitative indicators of relief is needed. Space images of high and medium spatial resolution are necessary for formation of geodata base of geomorphometric indicators during regional researches.*

**Background.** *Quantitative (geomorphometric) indicators of relief are of great practical importance when identifying and describing landforms and relief elements. One or two indicators are often used for agricultural land assessment. In foreign literature various combined topographic indices are widely used for land classification. The scientific significance of the research is associated with modern methods of geomorphometric analysis of the relief based on remote sensing data and their application for automated mapping of relief types.*

**Purpose.** *Creation of a geodatabase (GDB) of geomorphometric parameters of the Novosibirsk region on the basis of satellite data.*

**Materials and methods.** *Digital modeling and geomorphometry methods were used in the work.*

**Results.** *The database of geomorphometric parameters of the relief with the use of middle and high spatial resolution space images ALOP PALSAR (12.5 m/pixel) and ALOS DSM (30 m/pixel), topographic maps of M 1:25000 were developed. A geodatabase of geomorphometric parameters of the relief by the example of the Novosibirsk Region was developed including GIS information layers with geomorphometric parameters of the relief and attribute tables. The LGB has been used to map the types of relief in the Novosibirsk Region agrolandscapes. Automatic classification of relief types using multispectral images of K-Nearest Neighbor (KNN*

or *k*-NN, nearest neighbor) teacherless algorithms and the iterative self-organizing algorithm ISODATA (Self-Organizing Data Analysis) were performed. The input raster data for the terrain type classification were terrain parameters and vegetation indices NDVI, EVI, OSAVI, TSAVI, determined on the basis of multispectral satellite images Sentinel-2 A. By the example of Priobskiy central forest-steppe agrolandscape mapping of relief types was carried out: watershed drained undrained flat-leveled, watershed drained weakly drained, interfluvial undrained flatwaterlogged. The main relief-forming processes in the Priobskoye central forest-steppe agro-landscape are planar washout and waterlogging.

**Conclusion.** Modern methods of geomorphometry and geoinformatics allow you to create a spatial database of geomorphometric parameters for a comprehensive assessment of the land on the basis of remote information. The use of a geomorphometric database of geomorphometric parameters of relief and vegetation indices made it possible to carry out mapping of relief types for the Novosibirsk region agrolandscapes.

**Keywords:** spatial database; geodatabase; geographic information system; agricultural land; geomorphometry; morphometric indicators of relief; topographic indices

**For citation.** Pavlova A.I. Creation of a Geodatabase on Geomorphometric Parameters of the Relief by the Example of the Novosibirsk Region using Satellite Images. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 125-138. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-125-138

Геоинформационное обеспечение агрономических ГИС направлено на оценку природно-территориальных условий и негативных факторов в агроландшафтах, разработку адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Базы геоданных агрономических ГИС необходимы для хранения пространственных данных, получения новой информации для рационального территориального управления [6]. Наиболее часто для оценки сельскохозяйственных земель в отечественной литературе используют только региональные морфометрические величины (крутизну склонов, глубину базисов эрозии, горизонтальное расчленение рельефа). Большое практическое значение при оценке земельных и почвенных ресурсов имеют количественные (геоморфометрические) показатели рельефа. Данные параметры применяют для классификации элементов рельефа [13-17, 19, 22], картографирования эрозионных земель [11, 12]. При этом для классификации в последнее время привлекают автоматизированные алгоритмы машинного обучения [20, 21]. Для суждения степени развития экзогенных процессов

в литературе часто применяют локальные и комбинированные морфометрические величины [2, 5, 8-9]. Научная значимость исследований связана с современными методами геоморфометрического анализа рельефа на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ) и их применения для автоматизированного картографирования типов рельефа. При этом большое практическое значение имеют космические снимки высокого пространственного разрешения.

Геоморфометрический анализ рельефа на основе ДДЗЗ является одной из основных составляющих агроэкологической оценки сельскохозяйственных земель по следующим причинам:

- доступность материалов для научно-исследовательских работ;
- информация, получаемая в результате цифрового моделирования и пространственного анализа данных имеет актуальный характер о рельефе, объемах топографии, сельскохозяйственных землях на изучаемой территории;
- охват больших территорий, позволяющий осуществлять региональные исследования территории агроландшафтов;
- объективность вычисления количественных параметров рельефа.

Целью исследований являлось создание пространственной базы геоданных (БГД) геоморфометрических параметров рельефа на примере Новосибирской области на основе спутниковых данных.

### **Методы исследований**

В работе использованы методы классификации, геоморфометрии и геоинформационного анализа данных. В качестве исходных данных использованы 43 снимка ALOS DMS формата MEDIAN (спутник ALOS DAICHI, Япония). Отдельный снимок имеет размер  $1^\circ$  по широте и  $1^\circ$  по долготе, характеризуется пространственным разрешением ячейки растровой модели  $1''$  (примерно 30 м) и глубиной пиксела 16-bit. Используются файлы-маски с отображением водных объектов (16-bit файлы в формате GeoTIFF), текстовые файлы, содержащие вспомогательную информацию.

Для создания и количественной оценки рельефа служили архивные радарные снимки высокого пространственного разрешения (с 2007 по 2010 гг.). ALOS PALSAR (Advanced Land Observing Satellite) и космические мультиспектральные снимки Sentinel-2A. Искусственный спутник ALOS (японского аэрокосмического агентства JAXA) оснащен поляриметрическим радаром с решеткой L-диапазона с синтезированной апертурой (PALSAR). Использование данного активного микроволнового датчика позволяет выполнять космическую съемку независимо от погодных условий

и освещенности (PALSAR, 2022). Радиолокационные космические снимки используются для решения широкого круга задач, позволяющих дешифровать объекты топографии, но при этом имеют особенности. В настоящей работе снимки ALOS PALSAR использованы для получения уникальной информации о состоянии объектов топографии в дополнении к существующим топографическим картам (М 1:25000 и 1:50000) и космическим снимкам сверхвысокого разрешения открытых картографических сервисов Google Maps и Bing Maps.

Дешифрирование объектов топографии и типов рельефа производилось на основе космических мультиспектральных снимков Sentinel-2A (с 2018 по 2021 гг.). Снимки Sentinel-2, покрывают значительные части территории земной и водной поверхности, площадью до 290 км. Снимки характеризуются хорошим радиометрическим, временным и спектральным разрешением. Наличие 13 спектральных каналов в диапазоне электромагнитных длин волн от 443 до 2190 нм (включая три канала, предназначенные для атмосферной коррекции), в панхроматическом диапазоне длин волн – 10 нм, и тепловом – 60 нм позволяет картографировать земную поверхность с использованием различных вегетационных индексов.

Научная новизна исследований состоит в интегрированном применении методов машинного обучения без учителя, ГИС и ДДЗЗ для автоматизированного картографирования типов рельефа. Входными данными для кластеризации служили количественные параметры рельефа и вегетационные индексы NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), EVI2 (Enhanced Vegetation Index), OSAVI (Optimized Soil Adjusted Vegetation Index), TSAVI (Transformed Soil Adjusted Vegetation Index) [7]. Процедура автоматической классификации типов рельефа была реализована с применением инженерных библиотек Python (Sklearn, Pandas, NumPy, Isodata) алгоритмами без учителя K-Nearest Neighbor (KNN или k-NN, ближайших соседей) и итеративного самоорганизующегося алгоритма ISODATA (Self-Organizing Data Analysis). В качестве количественных параметров рельефа в работе использованы локальные (поле-специфичные), нелокальные (поле-игнорирующие) и комбинированные (интегральные) морфометрические величины (табл.1). Крутизна склонов вычислялась с использованием алгоритма, L.W. Zevenbergen и C.R. Thorne [23]. Индекс LS (Slope Length and Steepness factor, LS-фактор) широко используется в качестве одного из основных параметров при моделировании эрозионных процессов и вычисляется по формуле [10]:

$$LS = (m + 1) \left( \frac{As}{22,13} \right)^n \sin \left( \frac{\beta}{0,0896} \right), \quad (1)$$

где  $As$  – водосборная площадь,  $m^2$ ;  $\beta$  – угол наклона,  $^\circ$ ;  $m$  – показатель площади (устанавливается равным 4);  $n$  – показатель уклона (устанавливается равным 1,3) [10,18].

*Глубина вреза речных долин (Valley Depth, VD) использована* в качестве показателя оценки степени развития эрозионных процессов и определяется как разность высот между ячейками раstra исходной цифровой модели рельефа и некоторым интерполированным уровнем с наибольшими высотами (от англ. interpolated ridge level) [10].

### Результаты исследований

Исследования выполнены для территории Новосибирской области, расположенной в центральной части материка Евразия на юго-востоке Западно-Сибирской низменности. Протяжённость Новосибирской области с запада на восток составляет более 600 км, а с севера на юг – до 400 км [1, 3, 4]. Площадь территории исследований составила от  $53^\circ$  до  $58^\circ$  с.ш., от  $75^\circ$  до  $85^\circ$  в.д. (177,8 тыс.  $km^2$ ). При использовании космических снимков выполнена коррекция цифровой модели рельефа, служившей основой для создания пространственной БГД геоморфометрических параметров рельефа. БГД разработана с использованием полнофункциональной географической информационной системы ArcGIS 10 и концептуально включает несколько наборов классов пространственных объектов: климат, рельеф, гидрография, административное деление, агроландшафты, почвы. В табл. 1 отображено содержание БГД геоморфометрических параметров рельефа. Класс пространственных объектов описан в виде совокупности однотипных объектов, имеющих одинаковое пространственное представление и общий набор атрибутивных полей БГД.

В результате автоматизированной классификации с применением алгоритмов автоматической классификации K-Nearest Neighbor и ISODATA были картографированы типы рельефа в границах агроландшафтов Новосибирской области. Ниже представлены результаты на примере центрально-лесостепного Приобского агроландшафта, относящегося к пониженной равнине юго-востока Западно-Сибирской низменности с абсолютными высотами над уровнем моря до 240 м. На территории центрально-лесостепного Приобского агроландшафта выделены типы рельефа: водораздельный дренированный нерасчлененный равнинный, приводораздельный дренированный слаборасчлененный, междуречный недренированный плоско-заболоченный.

Таблица 1.

**Фрагмент БГД геоморфометрических параметров рельефа**

Набор классов пространственных данных	Класс пространственных данных	Представление, геометрический тип данных	Содержание
relief	goris	векторный (линейный)	горизонтали
	height	векторный (точечный)	высоты точек
	Dem1	растровый	гидрологически корректная ЦМР
	LS	растровый	LS-фактор
	Aspect	растровый	экспозиция склонов
	Slope	растровый	крутизна склонов
	CI	растровый	индекс конвергенции/дивергенции
	TRI	растровый	индекс расчлененности рельефа
	TCl	растровый	топографический составной индекс
	NH	растровый	нормализованная высота
	kv	растровый	вертикальная кривизна
	kmax	растровый	максимальная кривизна
ka	растровый	аккумуляционная кривизна	
gidrograf	rivers	векторный (линейный)	гидрографическая сеть
	erosion_net	векторный (линейный)	эрозионная сеть
	likes	векторный (полигональный)	озера, пруды, водохранилище
	watershed	векторный (полигональный)	водосборные бассейны
	flow_accum	растровый	карта кумулятивного стока
	flow_dir	растровый	карта направления стока
	TWI	растровый	индекс влажности
VD	растровый	глубина вреза речных долин	

Водораздельный дренированный нерасчлененный равнинный тип рельефа приурочен к плоским (субгоризонтальным) поверхностям рельефа и вершинам очень пологих склонов водоразделов. Это хорошо дренируемые территории с вертикальной кривизной поверхности близкой к нулю, местными базами эрозии 20-26 м, горизонтальным расчленением рельефа до 0,3 км/км<sup>2</sup>. Здесь не проявляются негативные экзогенные факторы

рельефа, связанные заболачиваем и водной эрозией почв. Топографические индексы TWI и LS-фактора характеризуются минимальными значениями близкими к нулю. Расчлененность рельефа отсутствует, значение TRI составило менее 0,2. Плакорные сельскохозяйственные земли, приуроченные к данному типу рельефа вовлечены в сельскохозяйственное производство и используются под пашню или сенокосы.

Приводораздельный дренированный слаборасчлененный тип рельефа. При картографировании данного типа рельефа дешифрируются эрозионные формы рельефа на очень пологих, пологих и покатых склонах. На сельскохозяйственных землях данной группы земель проявляются негативные экзогенные процессы водной эрозии почв. Эрозионные формы рельефа дешифрируются визуально по синтезированным космическим мультиспектральным снимкам. Эрозионные ложбины стока имеют вид параллельных линий, имеющих направление в сторону реки. В местах проявления плоскостного смыва почв тон изображения меняется на более светлый. Рисунок горизонталей ЦМР имеет древовидный рисунок.

Склоновые сельскохозяйственные земли характеризуется следующими геоморфометрическими показателями рельефа: глубина местных базисов эрозии составляет 14-22 м, горизонтальное расчленение рельефа 0,3-0,6 км/км<sup>2</sup>, LS-фактор изменяется от 0,10 до 0,60. Индекс расчлененности рельефа увеличивается в южной части агроландшафта до величины 0,76. В северной части агроландшафта преобладают с крутизной до 3. В южной части агроландшафта расчлененность рельефа возрастает, здесь большей частью распространены слабонаклонные равнины с очень пологими склонами (3-5°) и слабопокатыми склонами (5-7°). TRI характеризуется наибольшими величинами от 0,8 до 1.

Пойменные земли дешифрируются по наиболее пониженным участкам пойм и долинам рек, занимают плохо дренируемые участки с глубиной базисов эрозии 1-3 м. На вогнутых и плоских поверхностях рельефа вертикальная кривизна принимает отрицательные значения или близкие к нулю, топографический индекс влажности характеризуется величинами 14-16, значения LS-фактора близки к 0,012. Основными ограничивающими факторами является переувлажнение почв.

Междуречный плоско-заболоченный недренированный тип рельефа характеризуется распространением западин. Западины заняты болотами разнообразной формы. Здесь проявляются негативные экзогенные процессы заболачивания территории. Сельскохозяйственные земли используются под сенокосы и характеризуются следующими геоморфометрическими пара-

метрами рельефа: угол наклона рельефа изменяется незначительно от 0 до  $0,5^\circ$ , глубина базисов эрозии составляет от 1-5 м, топографический индекс влажности изменяется от 12 до 16, значения LS-фактора близки к нулю.

### **Заключение**

Разработана БГД геоморфометрических параметров рельефа на основе спутниковых снимков высокого и среднего пространственного разрешения, а также топографических карт М 1:25000.

В результате интегрированного применения методов автоматического дешифрирования и геоморфометрии картографированы типы рельефа и группы сельскохозяйственных земель, вычислены количественные показатели рельефа агроландшафтов Новосибирской области. Одним из направлений практического применения БГД геоморфометрических параметров рельефа является геоинформационное моделирование типизации сельскохозяйственных земель, водной эрозии почв для региональных исследований.

### **Список литературы**

1. Атлас Новосибирской области / Федер. служба геодезии и картографии России; сост. и подгот. ФГУП Новосиб. картогр. фабрика Роскартографии в 1999-2001 гг. 2-е изд. Москва: Роскартография, 2002. 56 с.
2. Безгодова О.В., Истомина Е.А., Овчинникова Е.В. Оценка и картографирование Мондинской котловины на основе морфометрического ландшафтного анализа // Геодезия и картография. 2018. №8. С. 28-37.
3. География Новосибирской области: учеб. пособие для общеобразоват. учреждений / В. М. Кравцов, Р. П. Донукалова. 3-е изд., испр. и доп. Новосибирск: ИНФОЛИО-пресс, 1999. 208 с.
4. Природа Новосибирской области / Т. А. Горелова и др. Новосиб. гос. пед. ун-т. Новосибирск: НГПУ, 2011. 159 с.
5. Безгодова О.В., Распутина Е.А. Автоматизированное картографирование опасных экзогенных процессов тункинской котловины с применением ГИС-технологий // Геодезия и картография, 2020. Т. 81. №3. С.8-20. <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2020-957-3-8-20>
6. Павлова А.И. Пространственные базы данных агрономических геоинформационных систем // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 5. С. 336-349. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-336-349>
7. Павлова А.И. Применение вегетационных индексов для цифрового почвенного картографирования на основе космических снимков Sentinel-2 //

- Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. T. 13. № 6. С. 119-131. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-119-131>
8. Amatulli G., Domisch S., Tuanmu M.-N. et al. Data descriptor: A suite of global, cross-scale topographic variables for environmental and biodiversity modeling // *Scientific Data*, 2018, no. 5, 180040. <https://www.nature.com/articles/sdata201840>
  9. Chu H.-J., Chen Y.-C., Ali M.Z., Hofle B. Multi-Parameter Relief Map from High-Resolution DEMs: A Case Study of Mudstone Badland // *International Journal of Environmental Research Public Health*, 2019, vol. 16, no. 7, 1109. <https://doi.org/10.3390/ijerph16071109>
  10. *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications* /Eds. T. Hengl, H. I. Reuter. Ser.: *Developments in Soil Science*, vol. 33. Elsevier. Ch. 1: *Geomorphometry: A brief guide* / R. J. Pike, I. S. Evans, T. Hengl. 2009, pp. 3–30.
  11. Gomez-Gutierrez A., Conoscenti C., Angileri S.E., Rotigliano E., Schnabel S. Using topographical attributes to evaluate gully erosion proneness (susceptibility) in two mediterranean basins: Advantages and limitations // *Natural Hazards*, 2015, no. 79, pp. 291–S314. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1703-0>
  12. Hurst M.D., Mudd S.M., Walcott R., Attal M., Yoo K. Using hilltop curvature to derive the spatial distribution of erosion rates // *Journal of Geophysical Research Earth Surface*, 2012, no. 117: F2. <https://doi.org/10.1029/2011JF002057>
  13. Iwahashi, J., Kamiya, I., Matsuoka, M. et al. Global terrain classification using 280 m DEMs: segmentation, clustering, and reclassification // *Progress in Earth and Planetary Science*, 2018, no. 5. <https://doi.org/10.1186/s40645-017-0157-2>
  14. Jenness J. Topographic Position Index (tpi\_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.3a. Jenness Enterprises. 2006. <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>
  15. Macêdo R.J.A., Pereira N.S., Manso V.A.V. Morphometric analysis of the Inner Continental Shelf in northeastern Brazil for seabed geomorphic classification // *Journal of South American Earth Sciences*, 2020, vol. 104, 102847. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102847>
  16. Minár J., Jenčo M., Evans I.S., Minár J., Jr, Kadlec M., Krcho J., Pacina J., Burián L., Benová A. Third-order geomorphometric variables (derivatives): Definition, computation and utilization of changes of curvatures // *International Journal Geographical Information Science*, 2013, no. 27, pp. 1381–1402. <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.792113>
  17. Mokarram M., Roshan G. Negahban S. Landform classification using topography position index (case study: salt dome of Korsia-Darab plain, Iran) // *Modeling Earth System Environment*, 2015, no. 1, 40. <https://doi.org/10.1007/s40808-015-0055-9>

18. Moore I.D., Grayson R.B., Ladson A.R. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications // *Hydrological Processes*, 1991, vol. 5, no. 1, pp. 3–30. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050103>
19. Saadat H, Bonnell R, Sharifi F, Mehuys G, Namdar M, Ale-Ebrahim S Landform classification from a digital elevation model and satellite imagery // *Geomorphology*, 2008, no. 100, pp. 453–464.
20. Schmidt J., Hewitt A. Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position // *Geoderma*, 2004. no.121, pp. 243–256.
21. Wang X.-N., Zhang Q., Wang F.-G., Gao Y. Research on the technology of terrain classification and change detection based on deep learning // *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1601, article number 2. *Computer Science and Engineering Technology*, Ser. 1601, 032056. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1601/3/032056>
22. Weiss A. Topographic position and landforms analysis .2001. In: Poster presentation, ESRI user conference, San Diego, CA. [http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc\\_18x22.pdf](http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf)
23. Zevenbergen L.W., Thorne C.R. Quantitative analysis of land surface topography // *Earth Surf. Process. Landf.*, 1987, no. 12, pp. 47–56. <https://doi.org/10.1002/esp.3290120107>

### References

1. Atlas of the Novosibirsk Region / Federal Service of Geodesy and Cartography of Russia; comp. and prepare. Novosib. cartographic factory of Roskartografiya in 1999-2001. Moscow: Roskartografiya, 2002, 56 p.
2. Bezdodova O.V., Istomina E.A., Ovchinnikova E.V. *Geodeziya i kartografiya*, 2018, no. 8, pp. 28-37.
3. *Geografiya Novosibirskoy oblasti* [Geography of the Novosibirsk region] / V. M. Kravtsov, R. P. Donukalova. Novosibirsk: INFOLIO-press, 1999, 208 p.
4. *Priroda Novosibirskoy oblasti* [Nature of the Novosibirsk region] / T. A. Gorelova et al. Novosibirsk: NGPU, 2011, 159 p.
5. Bezdodova O.V., Rasputina E.A. *Geodeziya i kartografiya*, 2020, vol. 81, no. 3, pp. 8-20. <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2020-957-3-8-20>
6. Pavlova A.I. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 5, pp. 336-349. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-336-349>
7. Pavlova A.I. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 6, pp. 119-131. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-119-131>
8. Amatulli G., Domisch S., Tuanmu M.-N. at all. Data descriptor: A suite of global, cross-scale topographic variables for environmental and biodiversity mod-

- eling. *Scientific Data*, 2018, no. 5, 180040. <https://www.nature.com/articles/sdata201840>
9. Chu H.-J., Chen Y.-C., Ali M.Z., Hofle B. Multi-Parameter Relief Map from High-Resolution DEMs: A Case Study of Mudstone Badland. *International Journal of Environmental Research Public Health*, 2019, vol. 16, no. 7, 1109. <https://doi.org/10.3390/ijerph16071109>
  10. Geomorphometry: Concepts, Software, Applications /Eds. T. Hengl, H. I. Reuter. Ser.: Developments in Soil Science, vol. 33. Elsevier. Ch. 1: Geomorphometry: A brief guide / R. J. Pike, I. S. Evans, T. Hengl. 2009, pp. 3–30.
  11. Gomez-Gutierrez A., Conoscenti C., Angileri S.E., Rotigliano E., Schnabel S. Using topographical attributes to evaluate gully erosion proneness (susceptibility) in two mediterranean basins: Advantages and limitations. *Natural Hazards*, 2015, no. 79, pp. 291–S314. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1703-0>
  12. Hurst M.D., Mudd S.M., Walcott R., Attal M., Yoo K. Using hilltop curvature to derive the spatial distribution of erosion rates. *Journal of Geophysical Research Earth Surface*, 2012, no. 117: F2. <https://doi.org/10.1029/2011JF002057>
  13. Iwahashi, J., Kamiya, I., Matsuoka, M. et al. Global terrain classification using 280 m DEMs: segmentation, clustering, and reclassification. *Progress in Earth and Planetary Science*, 2018, no. 5. <https://doi.org/10.1186/s40645-017-0157-2>
  14. Jenness J. Topographic Position Index (tpi\_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.3a. Jenness Enterprises. 2006. <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>
  15. Macêdo R.J.A., Pereira N.S., Manso V.A.V. Morphometric analysis of the Inner Continental Shelf in northeastern Brazil for seabed geomorphic classification. *Journal of South American Earth Sciences*, 2020, vol. 104, 102847. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102847>
  16. Minár J., Jenčo M., Evans I.S., Minár J., Jr, Kadlec M., Krcho J., Pacina J., Burián L., Benová A. Third-order geomorphometric variables (derivatives): Definition, computation and utilization of changes of curvatures. *International Journal Geographical Information Science*, 2013, no. 27, pp. 1381–1402. <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.792113>
  17. Mokarram M., Roshan G. Negahban S. Landform classification using topography position index (case study: salt dome of Korsia-Darab plain, Iran). *Modeling Earth System Environment*, 2015, no. 1, 40. <https://doi.org/10.1007/s40808-015-0055-9>
  18. Moore I.D., Grayson R.B., Ladson A.R. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrological Processes*, 1991, vol. 5, no. 1, pp. 3–30. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050103>
  19. Saadat H, Bonnell R, Sharifi F, Mehuys G, Namdar M, Ale-Ebrahim S Landform classification from a digital elevation model and satellite imagery. *Geomorphology*, 2008, no. 100, pp. 453–464.

20. Schmidt J., Hewitt A. Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position. *Geoderma*, 2004, no. 121, pp. 243–256.
21. Wang X.-N., Zhang Q., Wang F.-G., Gao Y. Research on the technology of terrain classification and change detection based on deep learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1601, 2. Computer Science and Engineering Technology, Ser. 1601, 032056. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1601/3/032056>
22. Weiss A. Topographic position and landforms analysis .2001. In: Poster presentation, ESRI user conference, San Diego, CA. [http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc\\_18x22.pdf](http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf)
23. Zevenbergen L.W., Thorne C.R. Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surf. Process. Landf.*, 1987, no. 12, pp. 47–56. <https://doi.org/10.1002/esp.3290120107>

#### ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

**Павлова Анна Илларионовна**, кандидат технических наук, доцент  
*Новосибирский государственный университет экономики и управления*  
*ул. Каменская, 56, 630039, Новосибирск, Российская Федерация*  
*annstab@mail.ru*

#### DATA ABOUT THE AUTHOR

**Anna I. Pavlova**, PhD (technical sciences), Associate Professor  
*Novosibirsk State University of Economics and Management*  
*56, Kamenskaya Str., Novosibirsk, 630039, Russian Federation*  
*SPIN-code: 8714-1140*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6159-1439>*

Поступила 25.09.2022

После рецензирования 18.11.2022

Принята 25.11.2022

Received 25.09.2022

Revised 18.11.2022

Accepted 25.11.2022