

УДК 528.94: 911.52

DOI: 10.46698/VNC.2026.13.84.001

Оригинальная статья

Кластеризация рельефа и землепользования в муниципальных образованиях Северного Кавказа

Е.Ю. Колбовский^{1,2}, А.Н. Гуня¹, А.Ж. Пуреховский¹

¹ Институт географии РАН, Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 29,
e-mail: a.n.gunya@igras.ru;

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, 1

Статья поступила: 17.07.2026, доработана: 11.09.2026, принята к публикации: ...2026

Резюме: Актуальность работы. Обусловлена необходимостью оценки влияния горности на развитие регионов и муниципальных образований, находящихся в неблагоприятных условиях по отношению к равнинам. **Цель исследования** – оценка связи между рельефом и использованием земель на основе кластеризации муниципальных образований (округов и районов) Северного Кавказа. **Методы исследования.** Геоинформационный анализ рельефа и данных дистанционного зондирования позволил выполнить типизацию муниципальных образований и выделить кластеры по связи типов рельефа и типов земельного покрова. Для проверки связи между типами рельефа и характером землепользования была создана таблица сопряженности двух растров (растра мезоформ рельефа по 4 признакам и растра мозаики ландшафтного покрова и землепользования). **Результаты работы.** Объективные инструменты кластеризации позволили выявить высокие уровни эффективности кластеризации ($\text{Ratio} = 0,94$) при выделении 9–10 кластеров муниципальных образований Северного Кавказа. Такой порядок дифференциации территории вполне отвечает запросам практики, поскольку учитывает наиболее значимые различия. Разделение МО по данным критериям может быть положено в основу выравнивающих коэффициентов при поддержке развития. Разные полюса при этом занимают высокогорные МО (всего 15 МО) и высокоурбанизированные (10). Между ними располагается спектр МО, характеризующихся различным сочетанием рельефа и преобладающих типов использования.

Ключевые слова: муниципальные образования, Северный Кавказ, рельеф, земельный покров, кластеризация.

Благодарности: Статья подготовлена по материалам исследований по теме Государственного задания ИГ РАН.

Для цитирования: Колбовский Е.Ю., Гуня А.Н., Пуреховский А.Ж. Кластеризация рельефа и землепользования в муниципальных образованиях Северного Кавказа. *Геология и геофизика Юга России*. 2026. 16(3): DOI: 10.46698/VNC.2026.13.84.001

DOI: 10.46698/VNC.2026.13.84.001

Original paper

Clustering of terrain and land use in municipalities of the North Caucasus

E.Yu. Kolbovsky^{1,2}, A.N. Gunya¹, A.Zh. Purekhovsky¹

¹ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences,
29 Staromonetny Lane, Moscow 119017, Russian Federation,
e-mail: a.n.gunya@igras.ru;

² Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory, Moscow 119991,
Russian Federation

Received: 17.07.2026, revised: 11.09.2026, accepted:2026

Abstract: Relevance. The relevance of the work is determined by the need to assess the influence of mountain conditions on the development of regions and municipalities that are in unfavourable conditions relative to the plains. **The aim** of the paper is to assess the relationship between terrain and land use based on clustering of municipalities (districts and areas) of the North Caucasus. **Methods.** Geoinformation analysis of terrain and remote sensing data made it possible to typify municipalities and to distinguish clusters by the relationship between terrain types and land cover types. To test the relationship between terrain types and land use, a contingency table of two rasters (a raster of terrain mesoforms by 4 features and a raster of the landscape cover and land use mosaic) was created. **Results.** Objective clustering tools revealed high levels of clustering efficiency (Ratio = 0.94) when distinguishing 9–10 clusters of the North Caucasus municipalities. Such an order of territorial differentiation fully meets practical demands, since it accounts for the most significant differences. The division of municipalities by these criteria may serve as a basis for equalizing coefficients in development support. The opposite poles are occupied by high-mountain municipalities (15 in total) and highly urbanized ones (10). Between them lies a spectrum of municipalities characterized by various combinations of terrain and prevailing land use types.

Keywords: municipalities, North Caucasus, terrain, land cover, clustering.

Acknowledgments: The article is based on research under the State Task of the Institute of Geography, Russian Academy of Sciences.

For citation: Kolbovsky E.Yu., Gunya A.N., Purekhovsky A.Zh. Clustering of terrain and land use in municipalities of the North Caucasus. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2026. 16(3): DOI: 10.46698/VNC.2026.13.84.001

Введение

Рельеф является основным параметром, характеризующим горные территории. Однако влияние горных условий на человека далеко не всегда можно выразить чисто геоморфологическими параметрами: важную информацию о сложности природных условий даёт реальное использование тех или иных горных территорий и горного ландшафта в целом. Высокие горы и горные хребты являются настолько доминирующими элементами ландшафта, что они просто не могут не оказывать влияния на повседневную действительность жизни и, следовательно, социально-экономическое развитие. Различия между горным регионом и низменностью вполне достоверны и обнаруживаются при разных сценариях анализа [Атаев, 2025; Dematteis, 2018; Chilla, Lambracht, 2025]. Однако, какими бы правдоподобными эти различия ни казались на первый взгляд, при ближайшем рассмотрении вскрывается целый калейдоскоп сложностей, не

получающих объяснения в рамках традиционного подхода [Price, Kohler, 2013]. Так, например, в некоторых горных районах фиксируется социально-экономический спад [Capello, Cerisola, 2019; Modica, 2019], но при этом в непосредственной близости наблюдается нехватка жилья [Cede et al., 2018; Membretti, Lucchini, 2018], что не мешает этим же районам быть известными туристическими центрами с высокой миграционной активностью [Perlik, 2019; Drouet, Barrioz, 2024] даже на фоне плохой доступности в условиях сложного рельефа [Chilla et al., 2022].

Тем не менее в общем принято считать, что ограниченные возможности для развития, как правило, усугубляют проблемы территориального планирования и застройки, в частности в том, что касается сбалансированности экологических и социально-экономических требований [Elsen et al., 2020; Meyer et al., 2022; Bertram et al., 2024]. Отсюда – непрекращающиеся попытки анализировать причинно-следственные связи между характером «горности» и социально-экономическим развитием [Thornton et al., 2022] с опорой на существующие подходы к классификации на основе рельефа [Xuan, Xudong, 2024; Петров, 2023]. Общая методология таких исследований – поиск корреляции между природными особенностями, в основном рельефом, и социально-экономическими данными. В практическом плане проще всего связать «горность» с конкретными аспектами регионального развития – застройкой, прокладыванием и поддержанием транспортной сети, с выходом на усложнение и удорожание [Job et al., 2020]. Аналогичные оценки приводились в советской (а затем российской) практике территориального планирования [Бабурин и др., 2010]. Такая же специфика отмечается и в производстве сельскохозяйственной продукции (конкретная специализация и удорожание), и в лесном хозяйстве (сложности лесозаготовки и необходимость выделения целого спектра разнообразных охраняемых участков насаждений).

Целью данной статьи является оценка связи между рельефом и использованием земель на основе кластеризации муниципальных образований (МО – округов и районов) Северного Кавказа. Работа является продолжением исследований, начатых авторами и посвященных оценке вклада геоморфологических условий и динамики наземного покрова в проекции на задачи комплексного районирования условий жизнеобеспечения и хозяйствования [Гуны и др., 2025].

Материалы и методы исследования

В основу работы положено геоинформационное моделирование рельефа и использования земель в границах МО Северного Кавказа, ставших операционно-территориальными единицами (ОТЕ) исследования (всего 173 округа и района). Сетка для них была трансформирована для достижения относительно равновеликих размеров полигонов посредством избавления от небольших по площади ОТЕ.

Для извлечения параметров рельефа использовалась последняя версия SRTM (30 м). В качестве методов использовались инструменты программного пакета GeoDa [Anselin, 2024], позволяющие осуществлять индивидуальную и типологическую кластеризацию с контролем пространственных ограничений и использованием матрицы связности ОТЕ. Типологизация рельефа проводилась инструментом K-Means Clustering for Grids (SAGA GIS) с опцией Minimum Distance / Hill climbing. Оптимальное число кластеров определялось по случайной сетке векторных точек с извлеченными в них значениями привлеченных растров методом NB-Cluster с верификацией по стандартному отклонению значений внутри каждого кластера после процедуры кластеризации.

Выбранные параметры извлекались в полигоны МО инструментом Grid Statistics for Polygons (SAGA GIS) для определения характера горности. Кластеризация проводилась в программном комплексе GeoDa методом K-Medians++ со стандартизацией исходных значений, случайной инициализацией и функцией расстояния Manhattan. В этом случае оптимальное число кластеров определялось методом «проб и ошибок»:

постепенным увеличением числа кластеров с оценкой эффективности кластеризации (Ratio) как отношения суммы квадратов расстояний между кластерами к общей сумме квадратов расстояний [Anselin, 2024].

Землепользование моделировалось на основе покрытия GLAD ARD (Global Land Analysis and Discovery – Analysis Ready Data), подготовленного в Мэрилендском университете на основе полного архива съёмки Landsat [Potapov et al., 2020] с масштабом 30 м в пикселе. Картографирование типов наземного покрова выполнено методом машинного обучения на основе ансамбля деревьев решений (Classification and Regression Trees, CART) с бэггингом – бутстрэп-агрегацией, снижающей переобучение модели, реализованным в GLAD Tools [Potapov et al., 2023]. Для каждого целевого класса эксперт вручную оцифровывал обучающие полигоны двух категорий – «целевой» и «фоновой»; по ним модель оценивала для каждого пикселя вероятность принадлежности к искомому типу покрова, а иерархическая (последовательная) классификация с наложением масок ранее выделенных классов позволяла корректно разделить весь спектр категорий (хвойные, смешанные и широколиственные леса, пастбища, сельхозугодья, застроенные территории, переувлажнённые участки, акватории, непокрытые растительностью поверхности, вечные снега и льды). Итоговая мозаика наземного покрова и землепользования, а также площади выделенных классов оценивались по независимой стратифицированной выборке эталонных участков с расчётом общей точности и её стандартной ошибки. Валидация полученных классов проводилась на основе полевых данных, полученных авторами в ходе экспедиций на территории Адыгеи, Карачаево-Черкесии, Чечни, Северной Осетии и Ингушетии в период с 2018 по 2026 гг. Особое внимание уделялось идентификациям пастбищных угодий, которые традиционно сложно отделить от природных лугов (grassland в принятых глобальных классификациях наземного покрова). Типизация МО по специфике ландшафтного покрова и характеру землепользования была проведена в ПК GeoDa (алгоритм K-Medians++) с предварительным определением оптимального числа ступеней классификации.

Особый интерес в рамках данного исследования представляла связь между типами рельефа и характером землепользования, которая, как считается, жёстко задаёт параметры хозяйствования. Для проверки данной гипотезы была создана таблица сопряжённости двух растров (растра мезоформ рельефа по 4 признакам и растра мозаики ландшафтного покрова и землепользования) инструментом Tabulate Area (ArcGIS 10.8). В этой таблице в строках – категории землепользования, а в колонках «вклад» разных типов мезоформ рельефа. Как известно, для выявления связи между категориальными данными оптимально использовать коэффициент сопряжённости Пирсона (C), который был рассчитан специальным скриптом на языке R с получением тепловой карты, наглядно отображающей характер и силу связи.

Основные результаты и обсуждение

Кластеризация по параметрам рельефа

Для типологического районирования МО Северного Кавказа по параметрам рельефа (высота, уклон, индекс пересечённости рельефа, глубина долин) высокое значение эффективности кластеризации (Ratio = 0,94) было достигнуто при числе кластеров 9. Результат кластеризации отображён на рисунке 1, а основные характеристики кластеров приведены в таблице 1.

Кластеризация «горности» весьма чётко дифференцирует регион, выделяя МО с выраженным классическим альпийским рельефом, приподнятые равнины и предгорья. Характерно, что в отдельные кластеры выделились три типа с преобладанием удлинённых асимметричных куэстовых гряд (6, 7 и 8), которые хорошо фиксируются на местности, в частности при пересечении всего макрорегиона по дороге от Минеральных Вод до Теберды.

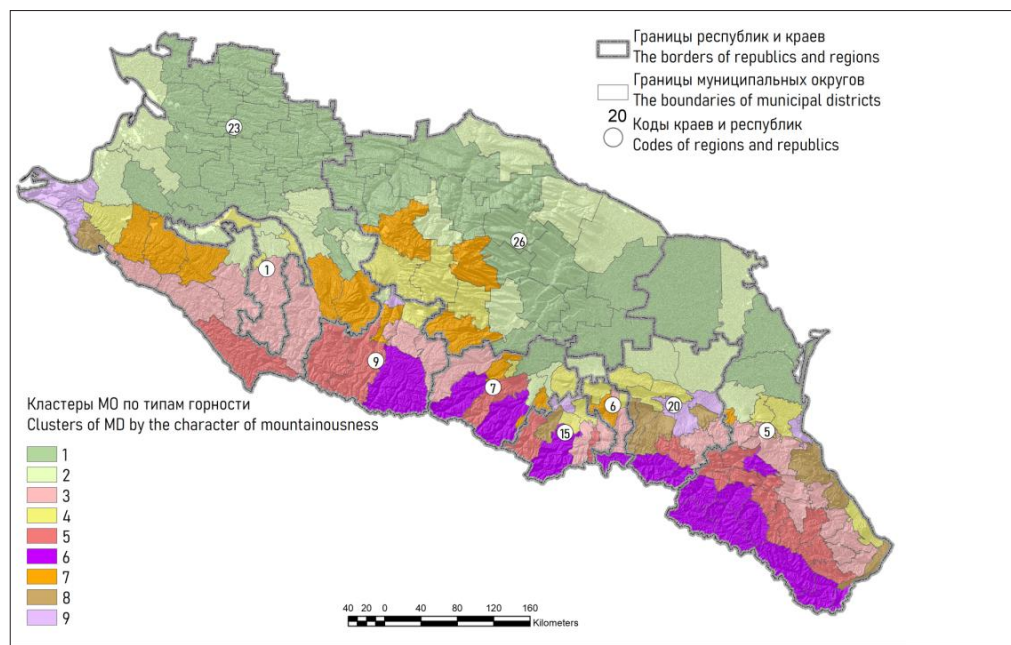


Рис. 1. Кластеризация МО Северного Кавказа по характеру горности с учётом признаков: нормализованная высота, уклон, индекс пересечённости рельефа, глубина долин /
Fig. 1. Clustering of the North Caucasus municipalities by the character of mountainousness accounting for the features: normalized height, slope, terrain ruggedness index, valley depth

Таблица 1 / Table 1

Кластеры МО по характеру горности /
Clusters of municipalities by the character of mountainousness

№	Норм. высота / Normalized height	Уклон / Slope	Индекс пересечённости рельефа / Terrain ruggedness index	Глубина долин / Valley depth	Кластеры / Clusters
1	29,2	0,7	1,1	6,4	Слаборасчленённые предгорья / Weakly dissected foothills
2	2133,6	21,8	25,7	160,5	Высокогорья / Highlands
3	1265,7	13,9	16,0	81,0	Среднегорья / Mid-mountain areas
4	155,1	1,0	1,4	9,2	Слаборасчленённые предгорно- равнинные территории / Slightly dissected foothill-plains
5	481,7	5,5	6,1	37,1	Расчленённые предгорья / Dissected foothills
6	225,9	1,5	1,9	15,4	Предгорно-равнинные / Foothill-plains
7	443,4	2,6	2,9	27,3	Низкогорно-предгорные куэстовые / Low-mountain and piedmont cuesta-type
8	748,8	9,7	10,8	57,0	Низкогорья / Low mountains
9	103,8	3,2	3,8	25,3	Предгорно-низкогорные расчленённые / Dissected low-mountain and foothill terrain

Кластеризация по характеру землепользования

Районирование МО по характеру землепользования позволило выявить 15 достаточно чётко выделяющихся типов, совокупно отображающих как актуальную ситуацию, так и историю освоения и этноукоренённые традиции природопользования. Общая эффективность кластеризации – 0,70 (рис. 2, табл. 2).

Карта отражает интегральное воздействие сразу нескольких факторов: различия в «горности» с разным сочетанием форм высоких хребтов и предгорий, межгорных котловин и глубоких долин, зональные ландшафтные различия степной и лесной (в том числе горно-лесной) зон и историческую последовательность сельскохозяйственного освоения, как раннего (в рамках Российской империи), так и советской эпохи.

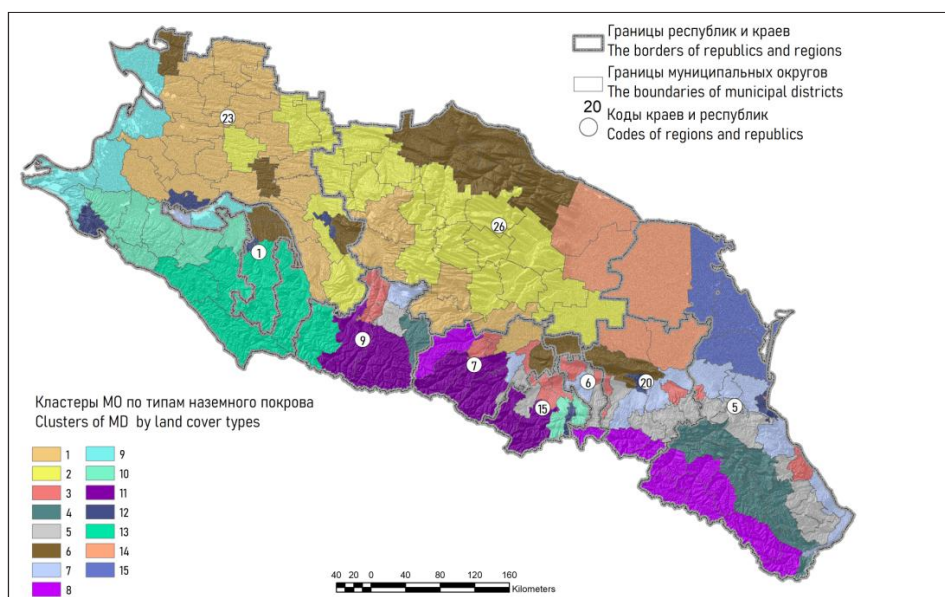


Рис. 2. Типизация МО Северного Кавказа по типам наземного покрова и землепользования (см. табл. 2) /

Fig. 2. Classification of the North Caucasus municipalities by categories of landscape cover and land use (see Table 2)

Таблица 2 / Table 2

Типы МО Северного Кавказа по категориям ландшафтного покрова и землепользования /
Types of the North Caucasus municipalities by categories of landscape cover and land use

Номер кластера (рис. 2) / number of cluster (fig. 2)	Кол-во МО / Number of municipalities	Характеристика / Characteristic
Высокогорные / High-altitude		
11	7	максимальные значения земель без растительности и нивальных ландшафтов, площади хвойных лесов, близкая к минимальной застроенность / maximum proportions of unvegetated land and nival landscapes, significant coniferous forest cover, and near-minimal built-up area
8	8	близкие к максимальной площади незадернованных территорий, нивальных комплексов и хвойных лесов, минимум сельхозугодий / extensive areas of bare soil (lacking turf cover), nival complexes, and coniferous forests, with minimal agricultural land

Горные лесопокрываемые / Forested mountainous areas		
13	7	макс. значения всех типов леса, минимум сельхозугодий / with maximum values for all forest types and minimum agricultural land
10	7	значительная площадь лиственных и смешанных лесов, среднезастроенные и с заметной долей сельхозугодий / a significant area of deciduous and mixed forests, with moderate levels of built-up areas, a notable proportion of agricultural land
Прибрежные (западные) / Coastal (western)		
9	6	значительная доля сельхозземель и увлажнённых участков, низкая доля лесопокрываемых земель / a significant proportion of agricultural land and wet areas, a low proportion of forest-covered land
Предгорные и низкорослые / Foothill and low-mountain		
7	12	преобладание средних показателей по большинству параметров / predominance of average values across the majority of parameters
4	16	значительный ареал хвойных лесов, минимум пашни и застроенности на фоне значительной площади пастбищ / a vast area of coniferous forests, minimal cropland and built-up areas, and a significant expanse of pastureland
5	14	средние показатели залесённости и площадей пастбищ / average indicators of forest cover and pasture areas
3	18	пригородные, со средними показателями застроенности и сельскохозяйственной освоенности / suburban areas with moderate level of built-up areas and agricultural use
Равнинные плоские, холмистые и грядово-холмистые эрозионно-расчленённые сельскохозяйственно-освоенные районы / Agriculturally developed areas characterized by flat plains, rolling terrain, and ridges and hills dissected by erosion		
2	20	максимальные показатели площади сельхозугодий, минимальные – по лесистости, с относительно невысокой степенью застроенности / maximum figures for agricultural land area, minimum for forest cover, and a relatively low degree of built-up area
1	24	высокие значения площади сельхозугодий, минимальные показатели площади лугов и пастбищ на фоне средней застроенности и низких значений лесистости / high values for agricultural land area, minimal figures for meadow and pasture area, against a backdrop of average built-up area and low forest cover
14	5	максимальные показатели площади пастбищ и минимальные – лесистости, высокие показатели распаханности / maximum indicators of pasture area and minimum indicators of forest cover, high indicators of plowing
6	14	значительная сельскохозяйственная освоенность и невысокая доля застройки / significant agricultural development and a low proportion of built-up area
Урбанизированные / Urbanized		
12	7	городские с максимальными значениями застроенности / Urban areas with maximum built-up density
15	3	сельские с высокой плотностью населения и индивидуальной застройкой / Rural areas with high population density and detached housing

Зависимость характера землепользования от рельефа

Для построения матрицы сопряжённости предварительно для территории Северного Кавказа кластерным анализом с привлечением параметров нормализованной высоты, уклона, пересеченности рельефа и глубины долин был построен растр мезоформ рельефа с выделением 10 типов (рис. 3).

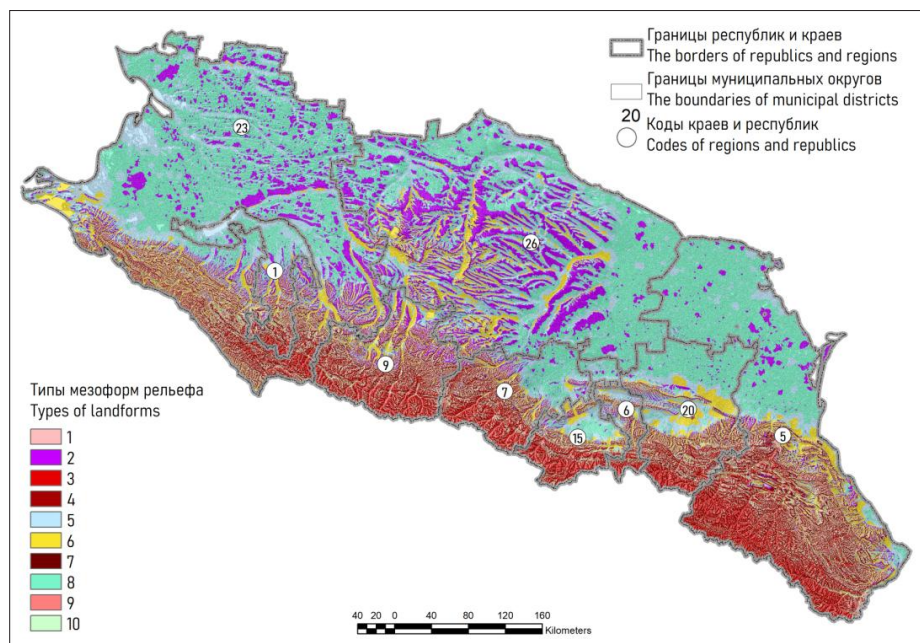


Рис. 3. Типы мезоформ рельефа Северного Кавказа:

1 – нижние части невысоких хребтов, умеренно крутые; 2 – пригребневые плоские невысоких хребтов и вытянутых куэст предгорий; 3 – средние части склонов хребтов с макс. крутизной; 4 – привершинные поверхности крупных массивов; 5 – протяжённые предгорные склоны и шлейфы, а также бортовые части и днища неглубоких долин; 6 – пологие и наклонные собирающие склоны, днища неглубоких долин и предгорных плато; 7 – пригребневые высоких хребтов альпийского типа; 8 – предгорные плоские равнины с мин. пересечённостью и мин. уклоном; 9 – нижние части склонов хребтов с макс. глубиной долин со склонами средней крутизны; 10 – горные распадки, вогнутые собирающие поверхности между контрфорсами и верховья горных долин /

Fig. 3. Types of mesoforms of the relief of the North Caucasus:

1 – lower parts of low ridges, moderately steep; 2 – flat flat ridges and elongated foothills; 3 – middle parts of the slopes of ridges with maximum steepness; 4 – the upper surfaces of large massifs; 5 – extended foothill slopes and plumes, as well as the sides and bottoms of shallow valleys; 6 – gentle and inclined collecting slopes, bottoms of shallow valleys and foothill plateaus; 7 – ridge high ridges of the Alpine type; 8 – foothill flat plains with min. by bias; 9 – the lower parts of the slopes of ridges with a maximum depth of valleys with slopes of medium steepness; 10 – mountain depressions, concave collecting surfaces between buttresses and mountain valleys

Матрица сопряжённости между мезоформами рельефа и категориями землепользования приведена в таблице 3. Высокие положительные значения обозначают приуроченность соответствующей категории ландшафтного покрова и землепользования к данной форме мезорельефа, высокие отрицательные свидетельствуют об обратном: данная категория не встречается на соответствующей форме рельефа. Так, хвойные леса обнаруживают связь со средними (в меньшей степени с нижними) частями крутых склонов хребтов и привершинными поверхностями крупных массивов, смешанные леса – с пригребневыми поверхностями высоких хребтов альпийского типа и вогнутыми склонами горных распадков, широколиственные леса чётко приурочены к нижним частям невысоких умеренно крутых хребтов. Непокрытые естественной растительностью поверхности и скальники приурочены к привершинным поверхностям крупных массивов, а также нижним частям склонов горных распадков (часто осыпных и оползневых). Довольно тесная связь проявляется между застроенными территориями и пологими и наклонными склонами, поверхностями предгорных плато, а также днищами неглубоких долин. Сельхозугодья ожидаемо «проецируются» на пригребневые

плоские поверхности невысоких хребтов и вытянутых куэст предгорий и предгорные плоские равнины. Современные пастбища оказались приуроченными к вогнутым склонам горных распадков между основными контрфорсами. На первый взгляд неожиданной выглядит связь вечных снегов и ледников с нижними частями склонов средней крутизны с максимальной глубиной долин, но надо понимать, что речь идёт о склонах наиболее поднятых и главных хребтов.

Общий коэффициент сопряжённости C между растрами типов рельефа и категориями наземного покрова составил 0,67, что считается весьма высоким показателем. Так, значения коэффициента сопряжённости, выявленные между характером рельефа и землепользованием в других горных регионах мира, показывают низкие значения для равнин (например, 0,3 для средней полосы России), а наиболее высокие – для террасированных полей в горах Азии (более 0,7).

Таблица 3 / Table 3

**Матрица сопряжённости мезоформ рельефа и категорий земельного покрова /
Contingency matrix of relief mesoforms and land cover categories**

Категория / № мезоформы Category / Mesoform No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Хвойный лес / Coniferous forest	0,72	-0,19	0,68	0,54	-0,19	-0,14	0,89	-0,32	0,48	0,19
Смешанный лес / Mixed forest	0,37	-0,18	0,29	0,38	-0,23	-0,12	0,42	-0,36	0,14	0,35
Лиственный лес / Deciduous forest	0,99	-0,25	0,15	0,21	-0,32	0,33	0,78	-0,79	0,38	0,41
Оголённые участки / bare land	0,43	-0,28	0,77	0,12	-0,30	-0,21	0,16	-0,46	0,44	0,31
Пастбища / pastures	0,16	-0,49	0,21	0,17	-0,29	0,12	0,20	0,033	0,18	0,28
Пахотные земли / arable land	-0,72	0,78	-0,60	-0,67	0,035	-0,20	-0,69	0,69	-0,39	-0,60
Застроенные территории / built-up areas	-0,65	-0,43	-0,46	-0,59	0,74	0,13	-0,69	0,14	-0,24	-0,27
Болота / wetlands	-0,20	-0,17	-0,16	-0,18	0,66	-0,91	-0,20	0,22	-0,99	-0,16
Вода / water	-0,11	-0,14	-0,86	-0,96	0,40	0,26	-0,11	-0,14	-0,14	-0,70
Снег и лёд / Snow and Ice	-0,18	-0,76	0,32	0,13	-0,80	-0,59	-0,31	-0,12	0,42	0,86

Заключение

В результате геоинформационного моделирования было охарактеризовано разнообразие МО Северного Кавказа по геоморфологическим признакам, сочетанию использования земель и подсчитана сопряжённость между рельефом и категориями земельного покрова. Объективные инструменты кластеризации позволили выявить высокие уровни эффективности кластеризации ($\text{Ratio} = 0,94$) при выделении 9–10 кластеров муниципальных образований Северного Кавказа. Такой порядок дифференциации территории вполне отвечает запросам практики, поскольку учитывает наиболее значимые различия. Разделение МО по данным критериям может быть положено в основу выравнивающих коэффициентов при поддержке развития. Разные полюса при этом занимают высокогорные МО (всего 15 МО) и высокоурбанизированные (10). Между ними располагается спектр МО, характеризующихся различным сочетанием рельефа и преобладающих типов использования.

Литература

1. Атаев З.В. Теоретико-методологические основы и региональные особенности выделения предгорных ландшафтов как самостоятельных геосистем // Геология и геофизика Юга России. – 2025. – Т. 15. № 4. – С. 151–168. DOI: 10.46698/o0195-2486-7930-v.
2. Бабурин В.Л., Горячко М.Д., Кириллов П.Л. Методы оценки факторов удорожания проживания населения и ведения хозяйственной деятельности в горах // Устойчивое развитие горных территорий. – 2010. – Т. 2. № 3. – С. 99–106.
3. Гуня А.Н., Колбовский Е.Ю., Петров Л.А., Дмитриев В.А. Горные районы Северного Кавказа: критерии выделения и кластеризация // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2025. – Т. 10. № 2(40). – С. 18–22. DOI: 10.25744/genb.2025.40.2.003.
4. Петров Л.А. Геологические и геоморфометрические факторы формирования ареалов земледельческих террас среднегорной Чечни // Геология и геофизика Юга России. – 2023. – Т. 13. № 4. – С. 162–176. DOI: 10.46698/VNC.2023.72.33.013
5. Anselin L. An introduction to spatial data science with GeoDa. Vol. 2: Clustering Spatial Data. 2024.
6. Bertram D., Lambracht M., Chilla T. Settlement systems in mountain regions: A research gap? // Mountain Research and Development. – 2024. – Vol. 44. No. 2. – pp. A1–A9. DOI: 10.1659/mrd.2023.00021.
7. Capello R., Cerisola S. Competitiveness through integration in the European Union Strategy for the Alpine Region: A “balanced development” approach // European Planning Studies. – 2019. – Vol. 27. No. 5. – pp. 1013–1034. DOI: 10.1080/09654313.2019.1588860.
8. Cede P., Deissl G., Löffler R., Steinicke E. The Eastern Austrian Alps: Their exceptional demographic status in the Alpine region // European Countryside. – 2018. – Vol. 10. No. 4. – pp. 634–651.
9. Chilla T., Lambracht M. Arge Alp: a strong region despite or because of the mountains? // FAU Regional Development Working Paper No. 7. – Erlangen: Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 2025. – DOI: 10.13140/RG.2.2.32859.84007.
10. Chilla T., Bertram D., Lambracht M. Alpine Towns: Key to sustainable development in the Alpine Region // Part 1: Facts, Maps and Scientific Debates. In: 9th Report on the State of the Alps. – Innsbruck: Alpine Convention, 2022. – DOI: 10.13140/RG.2.2.36022.98880/1.
11. Dematteis G. The alpine metropolitan-mountain faced with global challenges. Reflections on the case of Turin // Journal of Alpine Research. – 2018. – Vol. 106. No. 2. – DOI: 10.4000/rga.4402.
12. Drouet Q.B.G., Barrioz A. “Altitudinal gentrification” and “social descent in the valley” through the lens of housing access in the French Alps // Journal of Alpine Research. – 2024. – Vol. 112. No. 3. – 18 p. DOI: 10.4000/139tt.
13. Elsen P.R., Monahan W.B., Merenlender A.M. Topography and human pressure in mountain ranges alter expected species responses to climate change // Nature Communications. – 2020. – Vol. 11. – 10 p. DOI: 10.1038/s41467-020-15881-x.
14. Job H., Willi G., Mayer M., Putz M. Open spaces in Alpine countries: Analytical concepts and preservation strategies in spatial planning // Mountain Research and Development. – 2020. – Vol. 40. No. 3. – pp. D1–D11. DOI: 10.1659/MRD-JOURNAL-D-20-00016.1.
15. Membretti A., Lucchini F. Foreign immigration and housing issues in small alpine villages: Housing as a pull factor for new highlanders // In: Processes of Immigration in Rural Europe: The Status Quo, Implications and Development Strategies / Eds. S. Kordel, T. Weidinger, I. Jelen. – Newcastle: Cambridge Scholars, 2018. – pp. 203–219.
16. Meyer C., Job H., Laner P., Omizzolo A., Kollmann N., Clare J., Vesely P., Riedler W., Plassmann G., Coronado O. Open Space Alps Planning Handbook: Perspectives for Consistent Safeguarding of Open Spaces in the Alpine Region. – Salzburg: OpenSpaceAlps, 2022. – 114 p. DOI: 10.25972/OPUS-27040.
17. Modica M. Industrial brownfield sites in the Alps. A first quantitative overview and potential implications for regional development // Journal of Alpine Research. – 2019. – Vol. 107. No. 1. – DOI: 10.4000/rga.5274.
18. Perlik M. The spatial and economic transformation of mountain regions. – London: Routledge, 2019. – 302 p. DOI: 10.4324/9781315768366.
19. Potapov P., Hansen M.C., Kommareddy I., Kommareddy A., Turubanova S., Pickens A., Adusei B., Tyukavina A., Ying Q. Landsat analysis ready data for global land cover and land cover change mapping // Remote Sensing. – 2020. – Vol. 12. – Art. No. 426. DOI: 10.3390/rs12030426.

20. Potapov P., Tyukavina A., Hansen M.C. GLAD Tools V2.0. Quick Start Guide. Global Land Analysis and Discovery Team, University of Maryland, 2023. – 49 p.
21. Price M.F., Kohler T. Sustainable mountain development // *Mountain Geography: Physical and Human Dimensions* / Eds. M.F. Price, A.C. Byers, D.A. Friend, T. Kohler, L.W. Price. – Berkeley: University of California Press, 2013. – pp. 345–387.
22. Thornton J.M., Snethlage M.A., Sayre R., Urbach D.R., Viviroli D., Ehrlich D., Muccione V., Wester P., Insarov G., Adler C. Human populations in the world's mountains: Spatio-temporal patterns and potential controls // *PLoS ONE*. – 2022. – Vol. 17. No. 7. – 27 p. DOI: 10.1371/journal.pone.0271466.
23. Xuan C., Xudong L. The imbalanced pattern of population and economy and its influencing factors in the Wumeng mountain area // *Journal of Resources and Ecology*. – 2024. – Vol. 15. No. 4. – pp. 937–950. DOI: 10.5814/j.issn.1674-764x.2024.04.015.

References

1. Ataev Z.V. Theoretical and methodological foundations and regional specifics of delineating foothill landscapes as independent geosystems. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2025. Vol. 15. No. 4. pp. 151–168. DOI: 10.46698/o0195-2486-7930-v. (In Russ.)
2. Baburin V.L., Goryachko M.D., Kirillov P.L. Methods for assessing the factors of increasing the cost of living and economic activity in the mountains. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2010. Vol. 2. No. 3. pp. 99–106. (In Russ.)
3. Gunya A.N., Kolbovsky E.Yu., Petrov L.A., Dmitriev V.A. Mountain areas of the North Caucasus: criteria for allocation and clustering. *Grozny Natural Science Bulletin*. 2025. Vol. 10. No. 2(40). pp. 18–22. DOI: 10.25744/genb.2025.40.2.003. (In Russ.)
4. Petrov L.A. Geological and geomorphometric factors in the formation of agricultural terraced areas in mid-mountain Chechnya. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023. Vol. 13. No. 4. pp. 162–176. DOI: 10.46698/VNC.2023.72.33.013. (In Russ.)
5. Anselin L. An introduction to spatial data science with GeoDa. Vol. 2. *Clustering Spatial Data*. 2024.
6. Bertram D., Lambracht M., Chilla T. Settlement systems in mountain regions: A research gap? *Mountain Research and Development*. 2024. Vol. 44. No. 2. pp. A1–A9. DOI: 10.1659/mrd.2023.00021.
7. Capello R., Cerisola S. Competitiveness through integration in the European Union Strategy for the Alpine Region: A “balanced development” approach. *European Planning Studies*. 2019. Vol. 27. No. 5. pp. 1013–1034. DOI: 10.1080/09654313.2019.1588860.
8. Cede P., Deissl G., Löffler R., Steinicke E. The Eastern Austrian Alps: Their exceptional demographic status in the Alpine region. *European Countryside*. 2018. Vol. 10. No. 4. pp. 634–651.
9. Chilla T., Lambracht M. Arge Alp: a strong region despite or because of the mountains? FAU Regional Development Working Paper No. 7. Erlangen. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. 2025. DOI: 10.13140/RG.2.2.32859.84007.
10. Chilla T., Bertram D., Lambracht M. Alpine Towns: Key to sustainable development in the Alpine Region. Part 1: Facts, Maps and Scientific Debates. In: 9th Report on the State of the Alps. Innsbruck. Alpine Convention. 2022. DOI: 10.13140/RG.2.2.36022.98880/1.
11. Dematteis G. The alpine metropolitan-mountain faced with global challenges. Reflections on the case of Turin. *Journal of Alpine Research*. 2018. Vol. 106. No. 2. DOI: 10.4000/rga.4402.
12. Drouet Q.B.G., Barrioz A. “Altitudinal gentrification” and “social descent in the valley” through the lens of housing access in the French Alps. *Journal of Alpine Research*. 2024. Vol. 112. No. 3. 18 p. DOI: 10.4000/139tt.
13. Elsen P.R., Monahan W.B., Merenlender A.M. Topography and human pressure in mountain ranges alter expected species responses to climate change. *Nature Communications*. 2020. Vol. 11. 10 p. DOI: 10.1038/s41467-020-15881-x.
14. Job H., Willi G., Mayer M., Putz M. Open spaces in Alpine countries: Analytical concepts and preservation strategies in spatial planning. *Mountain Research and Development*. 2020. Vol. 40. No. 3. pp. D1–D11. DOI: 10.1659/MRD-JOURNAL-D-20-00016.1.
15. Membretti A., Lucchini F. Foreign immigration and housing issues in small alpine villages: Housing as a pull factor for new highlanders. In: *Processes of Immigration in Rural Europe: The Status Quo, Implications and Development Strategies*. Eds. S. Kordel, T. Weidinger, I. Jelen. Newcastle. Cambridge Scholars. 2018. pp. 203–219.

16. Meyer C., Job H., Laner P., Omizzolo A., Kollmann N., Clare J., Vesely P., Riedler W., Plassmann G., Coronado O. Open Space Alps Planning Handbook: Perspectives for Consistent Safeguarding of Open Spaces in the Alpine Region. Salzburg. OpenSpaceAlps. 2022. 114 p. DOI: 10.25972/OPUS-27040.
17. Modica M. Industrial brownfield sites in the Alps. A first quantitative overview and potential implications for regional development. *Journal of Alpine Research*. 2019. Vol. 107. No. 1. DOI: 10.4000/rga.5274.
18. Perlik M. The spatial and economic transformation of mountain regions. London. Routledge. 2019. 302 p. DOI: 10.4324/9781315768366.
19. Potapov P., Hansen M.C., Kommareddy I., Kommareddy A., Turubanova S., Pickens A., Adusei B., Tyukavina A., Ying Q. Landsat analysis ready data for global land cover and land cover change mapping. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12. Art. No. 426. DOI: 10.3390/rs12030426.
20. Potapov P., Tyukavina A., Hansen M.C. GLAD Tools V2.0. Quick Start Guide. Global Land Analysis and Discovery Team, University of Maryland. 2023. 49 p.
21. Price M.F., Kohler T. Sustainable mountain development. *Mountain Geography: Physical and Human Dimensions*. Eds. M.F. Price, A.C. Byers, D.A. Friend, T. Kohler, L.W. Price. Berkeley. University of California Press. 2013. pp. 345–387.
22. Thornton J.M., Snethlage M.A., Sayre R., Urbach D.R., Viviroli D., Ehrlich D., Muccione V., Wester P., Insarov G., Adler C. Human populations in the world's mountains: Spatio-temporal patterns and potential controls. *PLoS ONE*. 2022. Vol. 17. No. 7. 27 p. DOI: 10.1371/journal.pone.0271466.
23. Xuan C., Xudong L. The imbalanced pattern of population and economy and its influencing factors in the Wumeng mountain area. *Journal of Resources and Ecology*. 2024. Vol. 15. No. 4. pp. 937–950. DOI: 10.5814/j.issn.1674-764x.2024.04.015.