



ГЕОЭКОЛОГИЯ

Оригинальная статья / Original article

УДК 911+574 (470.67)

DOI: 10.18470/1992-1098-2019-1-54-66

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГИПСОМЕТРИЧЕСКОЙ ОДНОРОДНОСТИ (НЕОДНОРОДНОСТИ) В ЦЕЛЯХ РЕАЛИЗАЦИИ ГЕОСФЕРНОЙ МОДЕЛИ УСТОЙЧИВОСТИ ГЕОСИСТЕМ ДАГЕСТАНА

Лейла Ш. Ахмедова*, Надира О. Гусейнова

Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия, geoleyla@mail.ru

Резюме. Цель. В целях реализации геосферной модели устойчивости геосистем территории Республики Дагестан подвергнута статистическому анализу и его интерпретации с использованием гипсометрического анализа территории на основе детального исследования морфологии рельефа методами математической статистики и визуализации. **Методы исследования.** Морфологическая структура территории определена методом планиметрирования в заданных интервалах высот по гипсометрической карте масштаба 1:1000 000; морфометрический анализ территории проведен с выделением большего числа высотных градаций по заданным интервалам границ через 500 м высоты; гипсометрическая карта визуализирована с применением ГИС MapInfo Pro. **Результаты и обсуждение.** В результате исследования выявлено, что основным аргументом, относительно которого трансформируются показатели энергетики продуктивности и устойчивости геосистем, является рельеф в его гипсометрических характеристиках. Числовые значения дисперсии вариабельности подтверждают значительную гипсометрическую неоднородность территории. Сравнивая полученные результаты, приходим к выводу, что максимальная однородность (минимум разнообразия) достигается, когда вся площадь принадлежит одной высотной градации, следовательно, $H_s = -(1 \ln 1) = 0$, а минимальная однородность (максимум разнообразия) соответствует индексу выравнимости 1, то есть при равенстве площадей, занимаемых всеми градациями высот, эта величина составила $H_s = -\ln\left(\frac{1}{9}\right) = 2,2$. Из этого следует, что гипсометрическое разнообразие (неоднородность) территории Дагестана близко к максимальной величине. **Заключение.** Результаты работы использованы для реализации ранее предложенной модели энергетики и устойчивости геосистем при составлении экологических паспортов ряда районов Дагестана, так как полученные количественные оценки гипсометрии территории необходимы в качестве фоновых показателей для разрабатываемых проектов по энергетике и пределов устойчивости геосистем отдельных районов и всей территории республики.

Ключевые слова: геосистема, геосферная модель, устойчивость, устойчивое развитие, гипсометрическая карта, ГИС, рельеф, математическая статистика.

Формат цитирования: Ахмедова Л.Ш., Гусейнова Н.О. Статистический анализ и интерпретация гипсометрической однородности (неоднородности) в целях реализации геосферной модели устойчивости геосистем Дагестана // Юг России: экология, развитие. 2019. Т.14, N1. С.54-66. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-1-54-66



STATISTICAL ANALYSIS AND INTERPRETATION OF THE HYSOMETRIC UNIFORMITY (NON-UNIFORMITY) FOR THE REALIZATION OF THE GEOSPHERE MODEL OF STABILITY OF GEOSYSTEMS IN DAGHESTAN

Leyla Sh. Akhmedova*, Nadira O. Guseynova

Dagestan State University, Makhachkala, Russia, geoleyla@mail.ru

Abstract. Aim. In order to introduce the geosphere sustainability model of geosystems in the territory of the Republic of Dagestan, we conducted a statistical analysis and interpretation using a hypsometric analysis of the territory based on a detailed study of the relief morphology using mathematical statistics and visualization methods. **Methods.** The morphological structure of the territory is determined using the method of planimetry at given intervals of heights according to a hypsometric map to a scale of 1: 1,000,000; morphometric analysis of the territory was carried out using a greater number of altitudinal gradations at predetermined border intervals above 500 m of height; hypsometric map was visualized using MapInfo Pro GIS. **Results and discussion.** As a result of the research, it was revealed that the main argument regarding which the energy indicators of the productivity and stability of geosystems are transformed is the relief in its hypsometric characteristics. The numerical values of the variance of the variability confirm the significant hypsometric non-uniformity of the territory. Comparing the obtained results, we conclude that the maximum uniformity (minimum of diversity) is achieved when the entire area belongs to one height gradation, therefore, $H_s = -\ln(1) = 0$, and the minimum uniformity (maximum of diversity) corresponds to the uniformity index 1, that is, when the areas occupied by all gradations of heights are equal, the value is $H_s = -\ln\left(\frac{1}{9}\right) = 2,2$. From this it follows that the hypsometric diversity (non-uniformity) of the territory of Dagestan is close to the maximum value. **Conclusion.** The findings of the study were used to implement the previously proposed energy model and the stability of geosystems in the preparation of ecological certificate in a number of districts of Dagestan, since the obtained quantitative estimates of the territory hypsometry are necessary as background indicators for the energy projects being developed and stability limits of the geosystems of particular regions and the entire republic. **Keywords:** geosystem, geosphere model, sustainability, sustainable development, hypsometric map, GIS, relief, mathematical statistics.

For citation: Akhmedova L.Sh., Guseynova N.O. Statistical analysis and interpretation of the hypsometric uniformity (non-uniformity) for the realization of the geosphere model of stability of geosystems in Daghestan. *South of Russia: ecology, development*. 2019, vol. 14, no. 1, pp. 54-66. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2019-1-54-66

ВВЕДЕНИЕ

Эффективная национальная доктрина, региональные программы, международное сотрудничество по адаптивному экологическому развитию требуют рассмотрения базовых показателей антропогенной деятельности в естественном сбалансированном круговороте вещества и энергии биосферы.

Разработанные к нашему времени модели экологического развития планеты в общем, регионов и стран, в частности, позволяют сделать вывод об усилении техногенной нагрузки на биосферу. Угрожающее биосфере усиление антропогенного пресса привело к безусловному международному сотрудничеству и принятию Рамочной конвенции ООН



по проблеме изменения климата (Глобальный саммит по устойчивому развитию в Рио-де-Жанейро, 1992, 2012), Киотского протокола (1997), Парижское соглашение и т.д. [1-5].

Устойчивое развитие территорий различного размера зависит от устойчивости образующих их геосистем, то есть экологическая компонента концепции устойчивого развития включает в себя как природные и природно-техногенные условия, так и процессы в экогеосистемах.

Одним из природных условий, определяющих устойчивость геосистем, является рельеф местности и его гипсометрические характеристики.

Рельеф территории Дагестана издавна привлекает внимание специалистов во всем диапазоне исследований от геолого-географических до социально-экономических. Результаты геоморфологических исследований неоднократно обобщались в ряде монографических работ и в учебниках по географии Дагестана [6; 7]. В многочисленных работах рельеф территории чаще всего характеризуется в традиционных параметрах геоморфологического анализа горных стран: возраст и история развития, орогенез и морфоструктура, экзодинамика, морфоскульптура и т.д.

Со второй половины XX века исследования горных стран и регионов и их рельефа приобрели планомерный и систематический характер в рамках международного проекта МАБ-6 ЮНЕСКО «Горные системы».

Головной центр проекта (Институт географии РАН) на регулярной основе проводит обсуждения устойчивого развития горных регионов с привлечением не только ведущих ученых, но и парламентариев, глав стран, а также многочисленных неправительственных организаций.

Важным поворотным пунктом в решении проблем глобальной экологии явилась вторая международная конференция по окружающей среде (КОСР-92). Принятые на конференции документы определили вектор последующих исследований по обеспечению устойчивого развития стран, регионов и биосферы в целом.

В основной документ Конференции – Повестка дня XXI – была включена специальная Горная глава, в которой заявлены стратегические планы устойчивого развития горных территорий на долгосрочную перспективу. В рамках этих инициатив на кафедре рекреационной географии и устойчивого развития Дагдосуниверситета разрабатывается проект «Энергетика и пределы устойчивости геосистем Дагестана», ориентированный на решение насущных проблем сохранения и развития ландшафтно-биологического и этнокультурного разнообразия региона. К настоящему времени разработана универсальная для региона модель энергетики геосистем, которая не только описывает структуру потоков энергии и вещества, но и позволяет обозначить и решать управленческие задачи по обеспечению стабильности, устойчивости территорий [7; 8].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В процессе разработки и реализации геосферной модели устойчивости геосистем региона обнаружилось, что основным аргументом, относительно которого трансформируются основные показатели энергетики продуктивности и устойчивости геосистем, является рельеф в его гипсометрических характеристиках.

Для выполнения данной задачи потребовалось более детальное исследование морфологии рельефа с применением средств математической статистики и визуализации в виде карты, векторизированной с использованием геоинформационных систем, что и составляет предмет настоящей публикации. Структура морфологии территории определялась методом планиметрирования в заданных интервалах высот по гипсометрической карте масштаба 1:1000 000 с применением геоинформационных технологий – ГИС MapInfo Pro.

На основе ГИС созданы электронные базы данных, характеризующие основные физико-географические и биогеоэкологические параметры геосистем Дагестана. Также

для детального анализа использован пакет Statistica, позволяющий применить практически весь комплекс методов математической статистики.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рельеф Дагестана традиционно принято делить на четыре района: низменный (до 200 м.), предгорный или низкогорный (до 1000 м.), внутригорный или среднегорный (до 2500 м.) и высокогорный (более 2500 м.) [6].

В приведенных интервалах высот (x_i) численные показатели площадей (n_i) характеризуется следующими численными значениями:

X_i	< 0,2	1	2,5	>2,5 км
n_i	23,6	7,6	14,3	4,8, км ²
W_i	0,479	0,151	0,284	0,95,

где W_i – относительная частота, равная отношению частоты вариант (n_i) к объему выборки ($n = 50,3$ тыс. км²).

Расчет эмпирической функции распределения по $F^*(x) = n_x/n$ приведенного вариационного ряда показал следующий результат:

$$F^*(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < 0,2 \\ 0,47 & \text{при } 0,2 < x \leq 1,0 \\ 0,62 & \text{при } 1,0 < x \leq 2,5 \\ 1,0 & \text{при } x > 2,5 \end{cases}$$

График приведенной функции изображен на рис. 1.

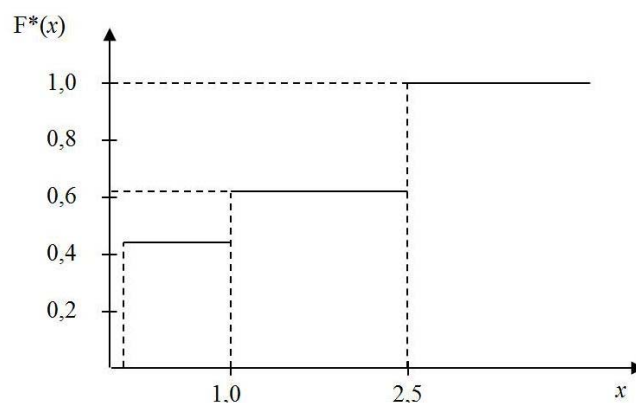


Рис.1. График эмпирической функции распределения гипсометрии территории Дагестана

Fig.1. Empirical distribution function of hypsometry of the territory of Daghestan

Приведенное районирование оказалось недостаточным по грациям высот для реализации геосферной модели устойчивости геосистем. Для этой цели был выполнен морфометрический анализ территории с выделением большего числа высотных грааций по заданным интервалам границ через 500 м высоты. Гипсометрическая карта демонстрирует результат выполненной работы (рис. 2).

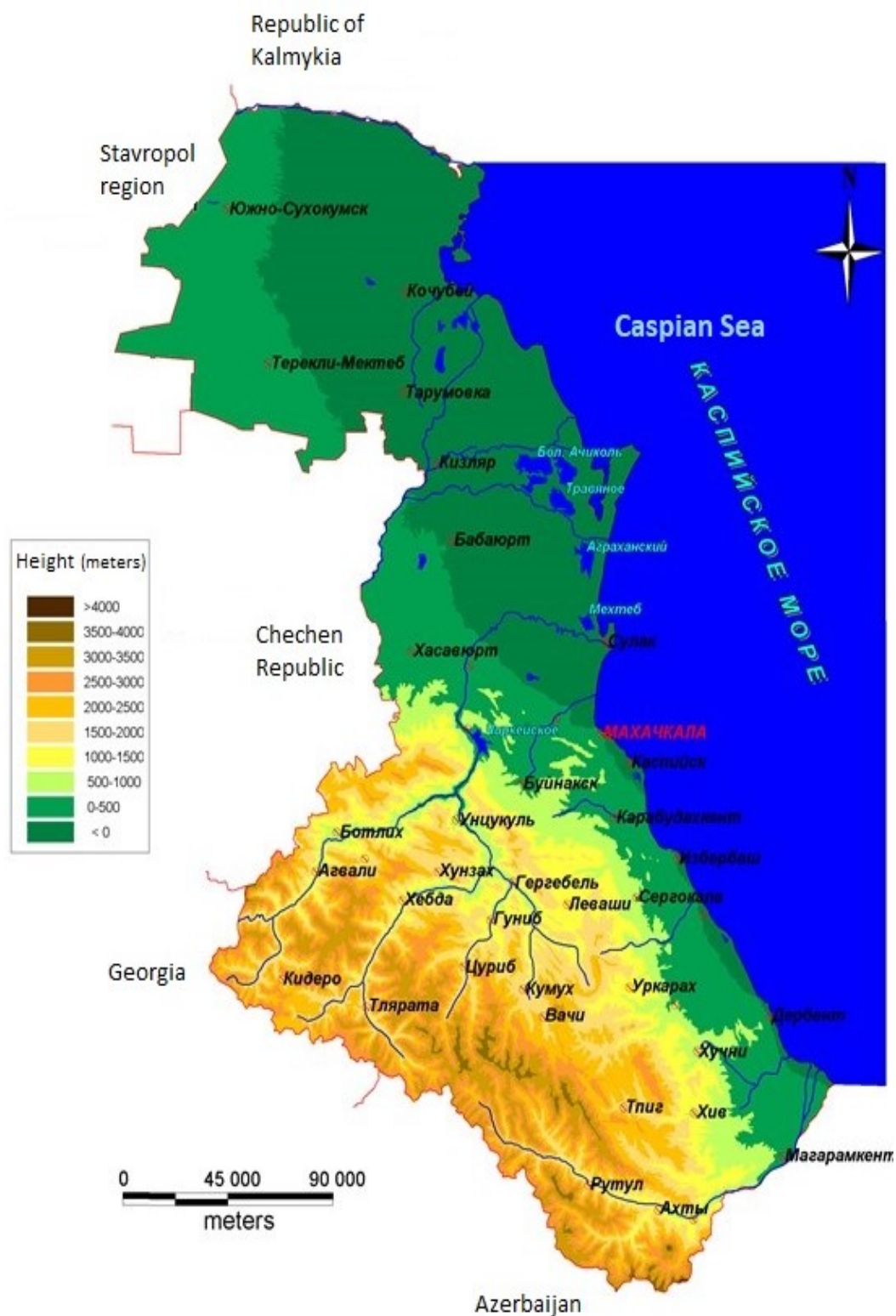


Рис.2. Карта морфометрического районирования территории Дагестана
Fig.2. Morphometric zoning of the territory of Dagestan



Полученные результаты подсчета площадей по интервалам высот и расчета основных частотных характеристик представлены в табл. 1.

Таблица 1
Частотные характеристики гипсометрии территории Дагестана
Table 1
Frequency characteristics of hypsometry of the territory of Dagestan

Границы интервала, Н, м Interval boundaries, m	Середина интервала, м Mid interval, m	Площадь (частота) F_i , км ² Square (frequency) F_i , km ²	Относительная частота, $F_i/F = P_i$ Relative frequency, $F_i/F = P_i$	Кумулятивная частота, км ² Cumulative frequency, km ²	Кумулятивная относительная частота Cumulative relative frequency
< 0	-13,5	15500	0,308	15500	0,308
0-500	250	11600	0,231	27100	0,539
500-1000	750	4100	0,082	31200	0,621
1000-1500	1250	4200	0,083	35400	0,704
1500-2000	1750	5100	0,101	40500	0,805
2000-2500	2250	5000	0,099	45500	0,904
2500-3000	2750	2600	0,052	48100	0,956
3000-3500	3250	1800	0,036	49900	0,992
>3500	3983	400	0,008	50300	1,000

Графическое представление распределения площадей по интервалам высот дает рис. 3.

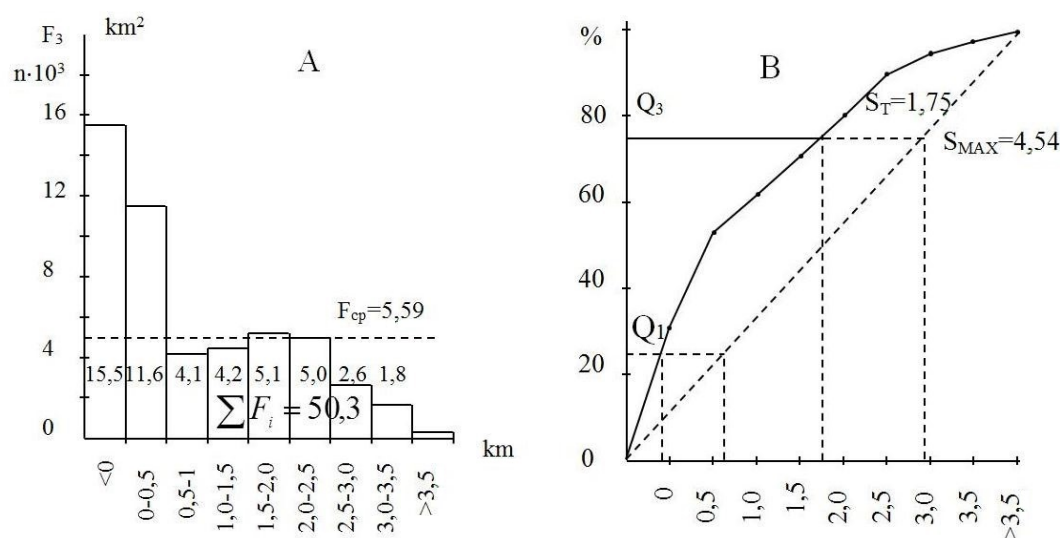


Рис.3. Гистограмма распределения (А) и кумулятивная кривая (В) гипсометрии Дагестана (по данным табл. 1)

Fig.3. Distribution histogram (A) and cumulative curve (B) of Dagestan hypsometry (according to Table 1)

Полученные данные являются достаточным основанием для статистического анализа совокупности и содержательной интерпретации мер гипсометрической однородности (неоднородности) рельефа территории. Применительно к экологическим данным эти методы достаточно подробно рассмотрены в работе Ш.Ш. Гасанова [9].



Согласно данным табл. 1, основные статистические показатели вариационного ряда характеризуются следующими величинами:

$$1) \text{ средняя арифметическая } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N x_i = \frac{50,3}{9} = 5,59;$$

$$2) \text{ дисперсия } S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 = \frac{212,9}{9} = 23,66;$$

$$3) \text{ среднеквадратическое отклонение } S = \sqrt{23,66} = 4,86;$$

$$4) \text{ коэффициент вариации } C_u = \frac{S}{\bar{x}} 100 = \frac{4,86}{5,59} = 86,9\%$$

$$5) \text{ коэффициент выравненности } V = 100 - C_u = 100 - 86,9 = 13,1$$

Числовые значения дисперсии вариабельности подтверждают значительную гипсометрическую неоднородность территории.

Для оценки меры однородности статистических совокупностей издавна применяется в литологии и в смежных областях метод Траска [10] по соотношению кумулят $S_T = Q_3/Q_1$, которые соответствуют 75% и 25% значений на кумулятивной (накопительной) кривой (см. рис. 3 В).

На оси абсцисс графика отображены верхние границы высотных интервалов, а ординаты – это накопленные частоты (%) с последующим соединением гипсометрических точек. При таком построении графика кумуляты представляют собой абсолютные отметки высот, соответствующие 75% и 25% ординаты.

Расчет коэффициента однородности, а также ряда других показателей удобнее выполнять с однозначными величинами варьирующего признака. Для этого воспользуемся известным в статистике правилом, согласно которому многие статистические показатели (дисперсия, стандарт и др.) не изменяются, если каждую варианту совокупности уменьшить или увеличить на одно и то же постоянное число. Поэтому вариационный ряд частотных характеристик можно построить не от абсолютных отметок, а от береговой линии моря. Для этого к верхней границе интервалов прибавим 27,5 м (-27,5 м абсолютная отметка уровня Каспийского моря по карте 1991 г.) и построим новый вариационный ряд:

0,027	0,527	1,027	1,527	2,027	2,527	3,027	3,527	>3,527
15,5	11,6	4,1	4,2	5,1	5,0	2,6	1,8	0,4

Согласно приведенным данным, относительные отметки высот, соответствующие кумулятам Q_1 и Q_3 равны 22,4 м и 1800 м, а коэффициент гипсометрической однородности по Траску $S_t = Q_3/Q_1 = 1800/22,4 = 80,4$. Для содержательной интерпретации этой величины достаточно напомнить, что максимальная однородность равна или близка единице, когда вся совокупность принадлежит одной вариане.

Поскольку в результате оценки по формуле Траска получаются числа, мало говорящие о гипсометрической однородности, Ю.Г. Симонов [11] предложил ввести более объективный и показательный коэффициент относительной однородности географического объекта, выводимого из сопоставления показателя S_T с крайними значениями однородности (S_{min} и S_{max}):

$$K = 1 - \frac{S_T - S_{min}}{S_{max} - S_{min}}$$

Согласно этому выражению, $K \in [0;1]$, т.е. коэффициент растет от минимального до максимального показателя однородности.

Крайние значения однородности также вычисляются по графику накопленных частот. Максимальная однородность или максимум разнообразия соответствует отношению кумулят при линейном распределении относительных частот с постоянным угловым ко-



эффицентом. По нашим данным (см. рис. 3 В) – это пунктирная линия, соединяющая концы кумулятивной кривой. По нашим данным $S_{\max}=4,54$. Минимуму однородности соответствует совокупность, когда все частоты принадлежат одному интервалу и эта величина равна или близка к 1. В соответствии с этими данными $K=0,79$ и характеризует территорию со значительной гипсометрической неоднородностью.

Есть и другие методы математического описания кумулятивных кривых. В частности, Кемптон и Тейлор [12] для оценки разнообразия (однородности, неоднородности) совокупностей предложили индекс Q , который представляет собой меру межквартильного наклона кривой накопленных частот:

$$Q = \frac{0,5n_{Q_1} + \sum_{Q_1+1}^{Q_3-1} n_Q + 0,5n_{Q_3}}{\ln(Q_3 / Q_1)},$$

где n_{Q_1} , n_{Q_3} , n_Q – частотные величины, приходящиеся на соответствующие квартили и межквартильный интервал (в нашем примере – площади),

Q_1 и Q_3 – числовые значения квартилей (по абсциссе графика).

Согласно нашим данным

$$Q = \frac{0,5 \cdot 12,6 + 32,7 + 0,5 \cdot 5}{\ln(1800 / 22,4)} = 9,4$$

Оба эти коэффициента (S_1 и Q) сами по себе мало говорят о разнообразии или однородности статистического ряда, а в нашем анализе – о гипсометрической однородности территории. Для объективной оценки и содержательной интерпретации индексов полезно их сопоставлять по лимитам и такие показатели особенно информативны при сравнении разных территорий. В частности, приведенные значения гипсометрической однородности весьма полезны при сопоставлении с аналогичными показателями отдельных районов Дагестана.

Во многих областях науки для статистической оценки совокупностей широко применяются непараметрические индексы неоднородности двух видов: информационно-статистические и доминирования.

Из первой группы методов оценки наиболее известен индекс разнообразия Шеннона, который хорошо коррелируется с понятиями «однородность», «неоднородность», «сортированность» и т.п. [13].

Результат выражается в единицах неопределенности (информации) и рассчитывается по формуле простой энтропии:

$$H_s = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i,$$

где p_i – относительная частота варианты;

$$\sum_i p_i = 1$$

На основе индекса Шеннона можно вычислить и другой – индекс выравнинности в виде отношения наблюдаемого разнообразия к максимально возможному, т.е.

$$E_s = H_s / \ln S,$$

где S – число градаций.

Согласно этому отношению, $E_s \in [0;1]$, причем $E_s=1$ при равенстве всех частот.

Среди индексов доминирования наиболее распространенным является индекс Симпсона [11], рассчитывающийся по формуле:



$$D = \sum \left(\frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \right),$$

где n_i – частота i -го класса (площадь соответствующего интервала высот),

N – общее количество, сумма частот.

Для вычисления приведенных индексов необходимо табл. 1 преобразовать в таблицу рангового распределения, расположив частоты относительного доминирования по убыванию, т.е. $P_1 > P_2 \dots > P_9$.

Величина показателя относительного доминирования j -го члена ранжированного ряда равняется

$$P_j = c (1 - c)^{j-1} P,$$

c – фиксированное число; $c \in [0;1]$ и равняется доле первой доминанты суммарной величины, т.е. $P_1 = c P$.

Результаты расчета – относительные частоты в логарифмическом виде – представлены в таблице 2 в последнем столбце.

Таблица 2

Относительные частоты в логарифмическом виде

Table 2

Relative frequencies in logarithmic scale

Площадь, $F_i, \text{ км}^2$ Area, $F_i, \text{ км}^2$	Ранг интервала Interval rank	Относительная частота, P_i Relative frequency, P_i	Относительное доминирование, % Relative domination, %	Логарифм относительной частоты, $P_i \ln P_i$ Relative frequency logarithm, $P_i \ln P_i$
15500	1	0,308	30,8	- 0,363
11600	2	0,231	21,3	- 0,338
5100	3	0,101	14,7	- 0,232
5000	4	0,099	10,2	- 0,229
4200	5	0,083	7,1	- 0,207
4100	6	0,082	4,9	- 0,205
2600	7	0,052	3,4	- 0,154
1800	8	0,036	2,3	- 0,120
400	9	0,008	1,6	- 0,039

Согласно полученным результатам, индекс Шеннона равен $H_s = 1,887$ (\sum величин последнего столбца табл. 2 с обратным знаком), а индекс выравненности по $E_s = H_s / \ln S = 1,887 / 2,2 = 0,86$. Сравним полученные результаты с граничными доминантами, т.е. максимальной и минимальной неоднородностями гипсометрического распределения. Максимальная однородность (минимум разнообразия) достигается, когда вся площадь принадлежит одной высотной градации, следовательно, $H_s = -(1 \ln 1) = 0$

Минимальная однородность (максимум разнообразия) соответствует индексу выравненности 1, т.е. при равенстве площадей, занимаемых всеми градациями высот. По нашим данным это величина составит $H_s = -\ln \left(\frac{1}{9} \right) = 2,2$. Из этого следует, что гипсометрическое разнообразие (неоднородность) территории близко к максимальной величине.

Аналогичную закономерность подтверждают индексы разнообразия и выравненности Симпсона соответственно

$$D_s = \sum_{i=1}^s P_i^2 \text{ и } E_s = 1/S \cdot \sum_{i=1}^s P_i^2$$

Согласно данным табл. 2, соответствующие значения индексов разнообразия и выравненности составляют $D_s = 0,184$ и $E_s = 0,602$.

График относительного доминирования в координатах ранг / частота соответствует или близко к модели геометрического ряда (рис. 4).

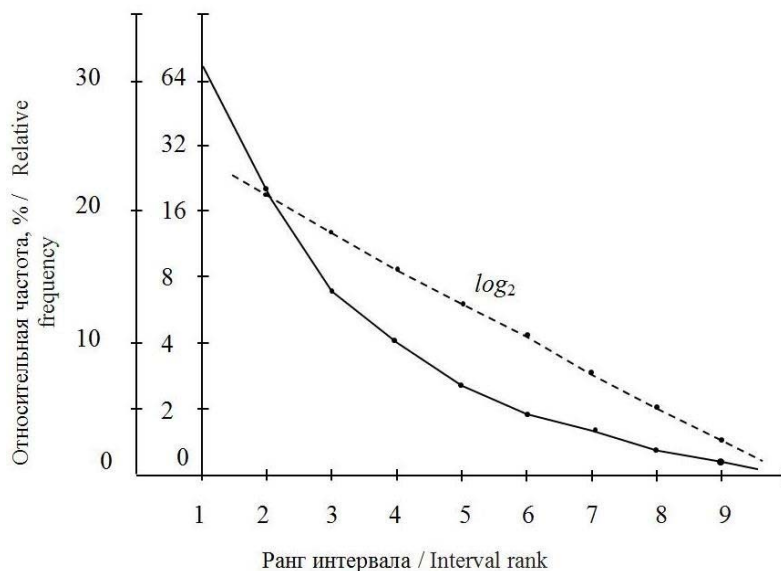


Рис.4. Ранговое распределение относительных частот гипсометрии Дагестана по данным табл. 2 в линейных и в полулогарифмических осях (\log_2)
Fig.4. The rank distribution of the relative frequencies of the hypsometry of Daghestan according to the table 2 on linear and semi-log axes (\log_2)

Для проверки гипотез о соответствии между наблюдаемыми и теоретически ожидаемыми распределениями совокупностей предложено несколько параметрических критериев. Среди них наиболее широкое применение находит критерий соответствия χ^2 (Хи-квадрат критерий). Критерий χ^2 используется для оценки соответствия наблюдаемого значения критерия (χ_H^2) теоретической частоте (χ_T^2), которая определяется по специальной таблице критических точек χ_{KP}^2 .

Критерий χ^2 представляет собой сумму квадратов отклонений эмпирических частот (F_i) от ожидаемых (F_i'), отнесенную к теоретическим частотам, т.е.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(F_i - F_i')^2}{F_i'}$$

Если наблюдаемое значение меньше теоретического ($\chi_H^2 < \chi_{KP}^2$) гипотеза принимается, в противном случае – отвергается.

Расчет χ^2 – критерия по нашим данным, который оказался равным 2,947, приведен в таблице 3.

Таблица 3

Расчет χ^2 – критерия

Table 3

Calculation χ^2 – criteria

Ранг / Rank	F_i	F_i'	χ^2
1	15,5	16,16	0,027
2	11,6	11,15	0,018
3	5,1	7,69	0,87



4	5,0	5,3	0,017
5	4,2	3,67	0,08
6	4,1	2,52	0,99
7	2,6	1,74	0,425
8	1,8	1,29	0,3
9	0,4	0,83	0,22
Σ	50,3	50,3	2,947

Согласно этим данным, полученная величина при 8 степенях свободы и 5% уровне значимости существенно меньше критической точки по таблице χ^2 – распределения, равный 15,51. Это дает основание для принятия гипотезы о соответствии эмпирических данных теоретическим и предположение о принадлежности данной совокупности лог-нормальной модели распределения. Следовательно, различия между наблюдаемыми и ожидаемыми частотами носят не систематический, а случайный характер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в данной статье рассмотрены основные закономерности гипсометрической однородности (неоднородности) территории Дагестана с применением картографических, количественных и графических методов анализа данных. Результаты выполненной работы использованы для реализации ранее предложенной модели энергетики и устойчивости геосистем при составлении экологических паспортов ряда районов Республики Дагестан, так как полученные количественные оценки гипсометрии территории необходимы в качестве фоновых показателей для разрабатываемых проектов по энергетике и пределов устойчивости геосистем отдельных районов РД.

Благодарность: Авторы выражают благодарность сотруднику кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова Курамагомедову Баширу за консультацию при написании статьи.

Acknowledgment: The authors are grateful to Bashir Kuramagomedov, a staff member of the Department of Cartography and Geoinformatics, Faculty of Geography of M.V. Lomonosov Moscow State University, for assistance in writing the article.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рио-де-Жанейрская декларация по окружающей среде и развитию. URL: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/riodecl.shtml (дата обращения: 28.10.2018)
2. Рио+20 Конференция Организации Объединенных Наций по устойчивому развитию. URL: <http://www.un.org/ru/events/pastevents/rio20.shtml> (дата обращения: 30.10.2018)
3. Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. URL: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/kyoto.shtml (дата обращения: 30.10.2018)
4. Парижское Соглашение. URL: <https://wwf.ru/what-we-do/climate-and-energy/the-paris-agreement/> (дата обращения: 02.11.2018)
5. Программа ЮНЕСКО «Человек и биосфера», Проект N6 «Влияние человека на горные экосистемы». URL: <http://soil.igras.ru/index.php?r=403> (дата обращения: 04.11.2018)
6. Добрынин Б.Ф. География Дагестанской Автономной Советской Социалистической Республики. Буйнакс, 1926.
7. Ахмедова Л.Ш. Методы измерения и оценки устойчивости геосистем. Махачкала: Изд-во «АЛЕФ», 2008. 100 с.



8. Ахмедова Л.Ш., Раджабова Р.Т., Гусейнова Н.О., Курамагомедов Б.М. Геоэкологическая оценка устойчивого развития Республики Дагестан с использованием нормирования антропогенной нагрузки // Юг России: экология, развитие. 2015. Т. 10. N 1. С. 177-184. Doi:10.18470/1992-1098-2015-1-177-184
9. Гасанов Ш.Ш. Структурная экология. Методология и методы. Махачкала: ИД Наука плюс, 2006. 200 с.
10. Trask P.D. Origin and environment of source sediment of petroleum. Houston, 1932. 281 p.
11. Симонов Ю.Г. Региональный геоморфологический анализ. М.: Изд-во МГУ, 1972. 365 с.
12. Kempton R.A., Taylor L.R. The Q-statistics and the diversity of floras // Nature. 1978. V. 275. P. 252-253. Doi: 10.1038/275252a0
13. Shannon C.B., Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana (Illinois): Univ. of Illinois Press, 1963. 345 p.
14. Simpson E.H. Measurement of diversity // Nature (London). 1949. V. 163. N 4148. P. 668. Doi: 10.1038/163688a0

REFERENCES

1. Rio-de-Zhaneirskaya deklaratsiya po okruzhayushchei srede i razvitiyu [Rio Declaration on Environment and Development]. Available at: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/riodecl.shtml (accessed 28.10.2018)
2. Rio+20 Konferentsiya Organizatsii Ob"edinennykh Natsii po ustoichivomu razvitiyu [Rio + 20 United Nations Conference on Sustainable Development]. Available at: <http://www.un.org/ru/events/pastevents/rio20.shtml> (accessed 30.10.2018)
3. Kiotskii protokol k Ramochnoi konventsii Organizatsii Ob"edinennykh Natsii ob izmenenii klimata [Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change]. Available at: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/kyoto.shtml (accessed 30.10.2018)
4. Parizhskoe Soglashenie [Paris Agreement]. Available at: <https://wwf.ru/what-we-do/climate-and-energy/the-paris-agreement/> (accessed 02.11.2018)
5. Programma YuNESKO «Chelovek i biosfera», Proekt N6 «Vliyanie cheloveka na gornye ekosistemy» [UNESCO Program "Man and Biosphere", Project No. 6 "Human Impact on Mountain Ecosystems"]. Available at: <http://soil.igras.ru/index.php?r=403> (accessed 04.11.2018)
6. Dobrynin B.F. Geografiya Dagestanskoi Avtonomnoi Sovetskoi Sotsialisticheskoi Respubliki [Geography of the Dagestan Autonomous Soviet Socialist Republic]. Buynaksk, 1926. (In Russian)
7. Akhmedova L.Sh. Metody izmereniya i otsenki ustoichivosti geosistem [Methods for measuring and assessing the stability of geosystems]. Makhachkala, Alef Publ., 2008, 100 p. (In Russian)
8. Akhmedov L.S., Radzhabova R.T., Guseynova N.O., Kuramagomedov B.M. Geoecological evaluation of sustainable development of the Republic of Dagestan and normalizing the anthropogenic burden. *South of Russia: ecology, development*, 2015, vol. 10, no. 1, pp. 177-184. (In Russian) Doi: 10.18470/1992-1098-2015-1-177-184
9. Gasanov Sh.Sh. *Strukturnaya ekologiya. Metodologiya i metody* [Structural ecology. Methodology and methods]. Makhachkala, Nauka plus Publ., 2006, 200 p. (In Russian)
10. Trask P.D. Origin and environment of source sediment of petroleum. Houston, 1932, 281 p.
11. Simonov Yu.G. *Regional'nyi geomorfologicheskii analiz* [Regional geomorphological analysis]. Moscow, MSU Publ., 1972, 365 p. (In Russian)
12. Kempton R. A., Taylor L.R. The Q-statistics and the diversity of floras. *Nature*, 1978, vol. 275, pp. 252-253. Doi: 10.1038/275252a0
13. Shannon C.B., Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana (Illinois): Univ. of Illinois Press, 1963, 345 p.
14. Simpson E.H. Measurement of diversity. *Nature*, 1949, vol. 163, no. 4148. P. 668. Doi: 10.1038/163688a0



СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Лейла Ш. Ахмедова*, кандидат биологических наук, доцент кафедры рекреационной географии и устойчивого развития, Институт экологии и устойчивого развития Дагестанского государственного университета, ул. Дахадаева, 21, г. Махачкала, 367001, Россия, e-mail: geoleyla@mail.ru

Надира О. Гусейнова, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и биоразнообразия, Институт экологии и устойчивого развития Дагестанского государственного университета, г. Махачкала, Россия, e-mail: nadira_guseynova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3979-4293>

Критерии авторства

Ахмедова Л.Ш. обработала и проанализировала данные, провела обзор литературных источников по исследуемой проблеме, написала статью. Гусейнова Н.О. провела обзор литературных источников по исследуемой проблеме, откорректировала рукопись до подачи в редакцию. Оба автора несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 17.12.2018

Принята в печать 15.01.2019

AUTHOR INFORMATION

Affiliations

Leyla Sh. Akhmedova*, PhD in Biology, Associate Professor, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University. 21 Dakhadaev st., Makhachkala, 367001 Russia, e-mail: geoleyla@mail.ru

Nadira O. Guseynova, PhD in Biology, Associate Professor, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University. 21 Dakhadaev st., Makhachkala, 367001 Russia, e-mail: nadira_guseynova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3979-4293>

Contribution

Leyla Sh. Akhmedova analyzed the data, reviewed the literature on the studied problem, and wrote the article. Nadira O. Guseynova conducted a review of the literature on the problem under study, corrected the manuscript prior to submission to the editor. All authors are responsible for plagiarism and self-plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 17.12.2018

Accepted for publication 15.01.2019