

Оригинальная статья / Original article
УДК 911+574 (470.67)
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-110-116

Мощность солнечной радиации и ее распределение в высотно-широтных интервалах территории Дагестана

Лейла Ш. Ахмедова

Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Лейла Ш. Ахмедова, кандидат биологических наук, доцент кафедры рекреационной географии и устойчивого развития, Институт экологии и устойчивого развития Дагестанского государственного университета, 367001 Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21.
Email geoleyla@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1347-1429>

Формат цитирования

Ахмедова Л.Ш. Мощность солнечной радиации и ее распределение в высотно-широтных интервалах территории Дагестана // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16, N 1. С. 110-116.
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-110-116

Получена 22 июня 2020 г.

Прошла рецензирование 14 августа 2020 г.

Принята 21 сентября 2020 г.

Резюме

Цель. Расчет энергетического потенциала первичной продуктивности земель, экологического нормирования техногенной нагрузки, выработки мероприятий по устойчивому развитию территорий.

Материал и методы. Автором разработан метод оценки пространственной дифференциации мощности солнечной радиации применительно к территории Республики Дагестан. В основу метода положены результаты многолетних актинометрических измерений по разновысотным метеорологическим станциям Дагестана и сопредельных территорий со сложным рельефом.

Результаты. Выполнен статистический анализ закономерностей распределения-мощности солнечной радиации в координатах территории Республики Дагестан. На основе вычисленных закономерностей построена номограмма для считывания показателей энергетики экосистем в широтно-высотных интервалах земной поверхности Республики Дагестан. Полученная номограмма позволяет считывать пределы и средние значения характеристик солнечной радиации исследуемой территории, например, административного района по всем интервалам высот и широт.

Заключение. Полученные результаты необходимы для расчета энергетического потенциала первичной продуктивности земель, экологического нормирования антропогенной нагрузки, а также разработки мероприятий по устойчивому, сбалансированному эколого-экономическому развитию территорий.

Ключевые слова

Геоэкология, геоэкологическая модель, актинометрия, солнечная радиация, номограмма, устойчивость, устойчивое развитие.

Solar radiation power and its distribution in altitude-latitude intervals of the territory of Dagestan, Russia

Leyla Sh. Akhmedova

Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Leyla Sh. Akhmedova, PhD in Biology, Associate Professor, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University; 21 Dakhadaeva St., Makhachkala, Russia 367001.

Email geoleyla@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1347-1429>

How to cite this article

Akhmedova L.Sh. Solar radiation power and its distribution in altitude-latitude intervals of the territory of Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 1, pp. 110-116. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-110-116

Received 22 June 2020

Revised 14 August 2020

Accepted 21 September 2020

Abstract

Aim. Calculation of the energy potential of primary land productivity, environmental regulation of technogenic load and development of measures for sustainable development of territories.

Materials and Methods. The author has developed a method for assessing the spatial differentiation of solar radiation power in relation to the territory of the Republic of Dagestan. The method is based on the results of long-term actinometric measurements taken at meteorological stations at different altitudes in Dagestan and adjacent territories.

Results. A statistical analysis has been carried out of the regularities of the distribution power of solar radiation in coordinates of the territory of the Republic of Dagestan. On the basis of calculated regularities, a nomogram was constructed for reading the indicators of the energy of ecosystems in the latitudinal-altitudinal intervals of the earth's surface of the Republic of Dagestan. The resulting nomogram allows the reading of the limits and average values of the characteristics of solar radiation in an area studied, for example, for all intervals of heights and latitudes in an administrative region.

Conclusion. The results obtained are necessary for the calculation of the energy potential of primary productivity of lands, ecological regulation of anthropogenic load, as well as the development of measures for sustainable, balanced ecological and economic development of territories.

Key Words

Geosystem, geospheric model, actinometry, solar radiation, nomogram, stability, sustainable development.

ВВЕДЕНИЕ

Экологическое нормирование антропогенной нагрузки в интересах устойчивого развития окружающей среды может быть осуществлено по энергопотенциалу первичной продуктивности экосистем. В основе подобных оценок лежат результаты актинометрических измерений. Однако при нормировании антропогенной нагрузки в пределах административно-территориальных образований специалисты сталкиваются с трудностями двоякого рода: а) ограниченное число актинометрических станций и б) влияние рельефа местности на поступление солнечной радиации к земной поверхности. Интенсивность солнечной радиации на уровне моря от экватора к полюсам понижается по косинусу широты местности и существенно корректируется особенностями подстилающей поверхности. В их числе наибольшее влияние на мощность солнечной радиации оказывает рельеф территории. Поэтому гипсометрический анализ региона представляет собой первый шаг к оценке характеристик солнечной радиации. Такой анализ обязателен для Дагестана не только потому, что более половины его территории принадлежит горам, но и прежде всего малочисленности актинометрических наблюдений (всего три станции).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для преодоления этих и других трудностей нами разработан метод оценки пространственной дифференциации мощности солнечной радиации применительно к территории Республики Дагестан [1-7].

В основу метода положены результаты многолетних актинометрических измерений по разновысотным метеорологическим станциям Дагестана и сопредельных территорий со сложным

рельефом.

Так как оценка устойчивости экосистем, как отношение фактической антропогенной нагрузки к емкости среды в энергетических единицах измерения, в нашем представлении, предполагает сложную многоходовую операцию, то решение этой задачи целесообразно выстроить в следующей последовательности: мощность и энергия экосистем, экологическая емкость, потенциал продуктивности, антропогенная нагрузка, устойчивость экосистем. Поэтому в основу всего алгоритма решения необходимо положить вычисленные результаты распределения мощности солнечной радиации (Y , кВт/км²) по высотно-широтным интервалам.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате анализа массива данных вычислены следующие градиенты изменения мощности солнечной радиации в диапазоне высотно-широтных интервалов территории Дагестана:

а) широтный

$$\gamma_{\varphi} = -dI/d\varphi = -3 \cdot 10^3 \text{ кВт/км}^2 \text{ на } 1^\circ \varphi$$

б) вертикальный

$$\gamma_h = dI/dh = 750 \text{ кВт/км}^2 = 0,75 \text{ Вт/м}^2 \text{ на } 100 \text{ м}$$

где φ – географическая широта, градус;

I – мощность солнечной радиации, кВт/км²;

h – высота местности.

Вычисленные результаты распределения мощности солнечной радиации (Y , кВт/км²) по высотно-широтным интервалам (Z и X) территории Дагестана приведены в таблицах 1 и 2, кроме того в таблицах даны преобразованные величины переменных, необходимые для соответствующих статистических заключений.

Таблица 1. Распределение мощности солнечной радиации в зависимости от географической широты местности
Table 1. Distribution of solar radiation power depending on geographical latitude of an area

№	X, φ°	$Y, 10^3$ кВт/км ² / kW/km ²	$X-A$	$(X-A)^2$	$Y-B$	$(Y-B)^2$	XY
1.	40	162,5	-1	1	12	144	-12
2.	41	159,5	0	0	9	81	0
3.	42	156,5	1	1	6	36	6
4.	43	153,5	2	4	3	9	6
5.	44	150,5	3	9	0	0	0
6.	45	147,5	4	16	-3	9	-12
I	255	930	+9	31	27	279	-12
		n-6	A-41		B-150,5·10 ³		

Примечание: 1) столбцы 2 и 3 исходные величины эмпирических вариантов; 2) остальные столбцы - вспомогательные величины вариант, преобразованные способом условного нуля, необходимые для статистических заключений; 3) n – число вариант, A и B – условные средние для X и Y

Note: 1) Columns 2 and 3 are the original values of empirical variants; 2) the other columns are the auxiliary values of a variant, transformed by the method of zero conditional, necessary for statistical conclusions; 3) n is the number of variants, A and B are conditional averages for X and Y

Таблица 2. Распределение мощности солнечной радиации в зависимости от высоты местности**Table 2.** Distribution of solar radiation power depending on altitude of an area

№	Z км / km	$Y, 10^3$ кВт/км ² / kW/km ²	Y-A	(Y-A) ²	Z ²	ZY
1.	0,0	162,5	-3,75	14,06	0,0	0,0
2.	0,5	166,25	0,00	0,00	0,25	0,0
3.	1,0	170,00	3,75	14,06	1,0	3,75
4.	1,5	173,75	7,50	56,25	2,25	11,25
5.	2,0	177,50	11,25	126,56	4,00	22,50
6.	2,5	181,25	15,00	225,00	6,25	37,50
Σ	7,5	1031,25	33,75	435,93	13,75	75,00
n-6		A-166,25·10 ³				

Примечание: 1) столбцы 2 и 3 исходные величины эмпирических вариантов; 2) остальные столбцы - вспомогательные величины вариант, преобразованные способом условного нуля, необходимые для статистических заключений; 3) n – число вариант, A и B – условные средние для X и Y

Note: 1) Columns 2 and 3 are the original values of empirical variants; 2) the other columns are the auxiliary values of variants, transformed by the method of zero conditional, necessary for statistical conclusions; 3) n is the number of variants, A and B are conditional averages for X and Y

Задача заключается в установлении парной корреляции (силы связи) между зависимой переменной (Y) и двумя другими независимыми переменными (X и Z). Применяемая при трех переменных множественная корреляция и регрессия в данном случае невозможна, поскольку анализируемые связи являются односторонними (Y по X и Z), а корреляция географической широты (X) и высоты (Z) лишена логического смысла [2-4].

Согласно данным вспомогательных таблиц 1 и 2 коэффициенты корреляции определяются по упрощенной формуле для малых выборок [3].

$$Z = \frac{\sum XY - (\sum X \sum Y) : n}{\sqrt{(\sum X^2 - (\sum X)^2 : n)(\sum Y^2 - (\sum Y)^2 : n)}};$$

Отсюда

$$Z_{xy} = \frac{-12 - (9 \cdot 27) : 6}{\sqrt{(31 - (9)^2 : 6)(279 - (27)^2 : 6)}} = -1,0$$

$$Z_{zy} = \frac{75 - (7,5 \cdot 33,75) : 6}{\sqrt{(13,75 - (7,5)^2 : 6)(435,93 - (33,75)^2 : 6)}} = 1,0$$

В данном случае корреляционная связь соответствует функциональной, поскольку каждой величине аргументов (X и Z) соответствует только одна величина функции (Y). При этом корреляция мощности солнечной радиации (Y) с географической широтой (X) линейная, отрицательная ($Z_{yx} = -1,0$), а с высотой местности - корреляция также линейная, но положительная ($Z_{yx} = +1,0$). Следовательно, в обоих случаях стандартная ошибка сводится к нулю.

Регрессионный анализ данных (см. табл. 1 и 2) дополняет корреляционные заключения и дает количественное представление зависимости изменения функции на единицу изменений аргумента. Рисунок 1

дает графическое изображение Y по X и Z.

Для завершения регрессионного анализа [8-11] вычислим коэффициенты регрессии и составим уравнение регрессии Y по X и Z.

Коэффициент регрессии (b) выполняется по общей формуле:

$$b = \frac{\sum (X - \bar{x})(Y - \bar{y})}{\sum (Y - \bar{y})^2} = \frac{\sum XY - (\sum X \sum Y) : n}{\sum X^2 - (\sum X)^2 : n}$$

Согласно приведенным выше данным вспомогательных таблиц 1 и 2, коэффициент регрессии результирующего признака (Y) по факториальному (X) равен

$$b_{xy} = \frac{-12 - (9 \cdot 27)}{31 - (9)^2 : 6} = \frac{-52,5}{17,5} = -3 \text{ кВт} / \text{км}^2$$

По найденному значению коэффициента уравнение линейной регрессии составит

$$Y = \bar{y} + b_{xy}(X - \bar{x}) = 155 + [-3(X - 42,5)] = 155 - 3x + 127,5 = -3x + 282,5$$

где \bar{x} и \bar{y} – условные средние.

Аналогично коэффициент регрессии Y по Z и уравнение регрессии составит

$$b_{zy} = \frac{75 - 7,5 \cdot 33,75}{13,75 - 9,375} = \frac{32,812}{4,375} = 7,5 \text{ кВт} / \text{км}^2;$$

$$Y = \bar{y} + b_{zy}(Z - \bar{z}) = 171,5 + 7,5(Z - 1,25) = 7,5Z + 162,125$$

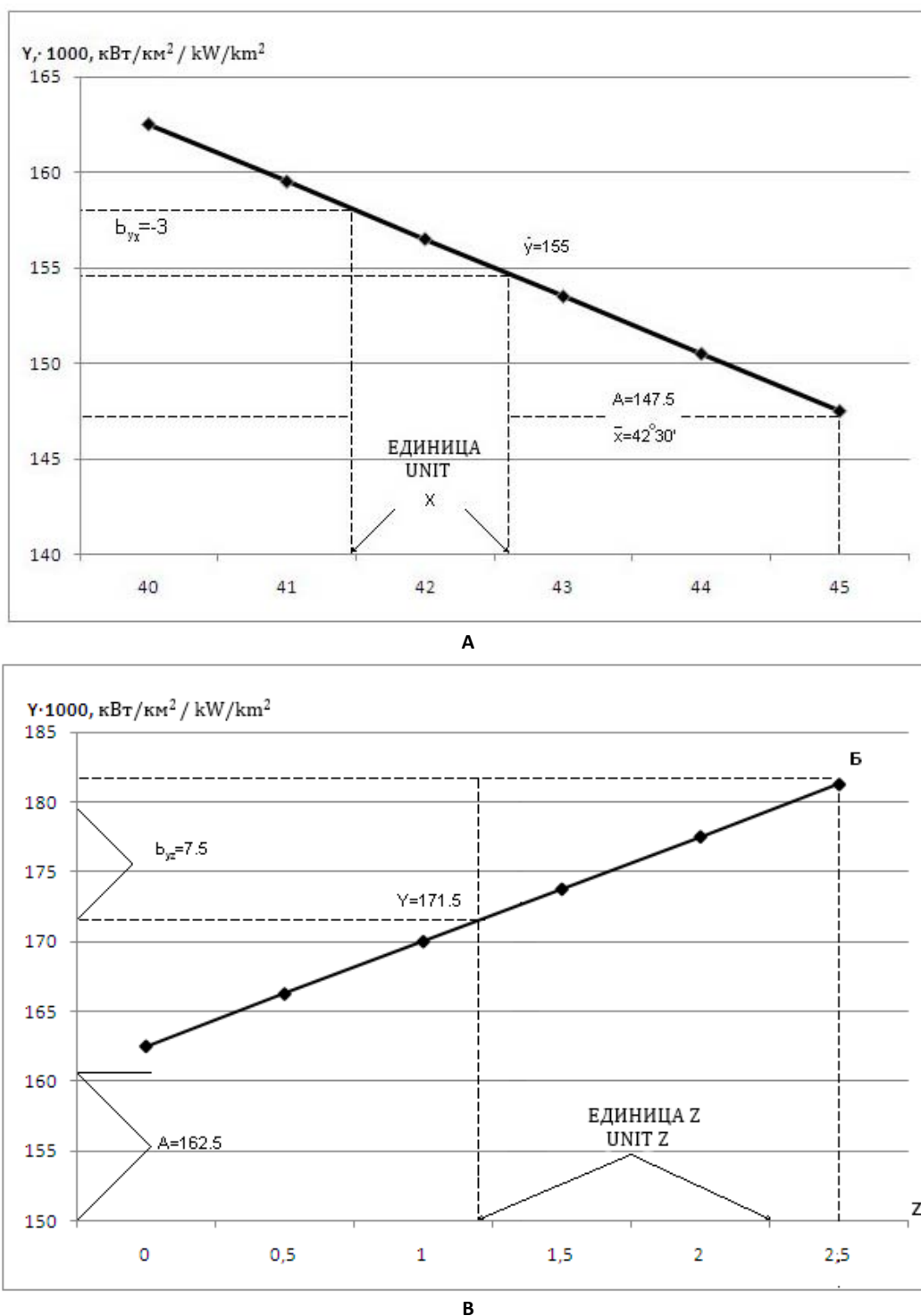


Рисунок 1. График линейной регрессии Y и X (А) и Y по Z(В)
Figure 1. Linear regression graph of Y and X (A) and Y along Z (B)

Таким образом, оба показателя регрессии Y по X и Z характеризуют одностороннюю линейную корреляционную связь мощности солнечной радиации с географической широтой (x) и высотой местности (Z). В первом случае связь отрицательная, во втором – положительная (рис.1). Полученные уравнения регрессии позволяют вычислить мощность солнечной радиации в любой точке или фрагменте территории

(районе) Республики Дагестан.

В итоге выполненной работы парные функциональные связи сведены в номограмму (рис. 2) в единицах энергетической мощности солнечной радиации (кВт/км^2) и суммарной радиации в пределах географических широт (ϕ°) и высот (H, м) территории Дагестана.

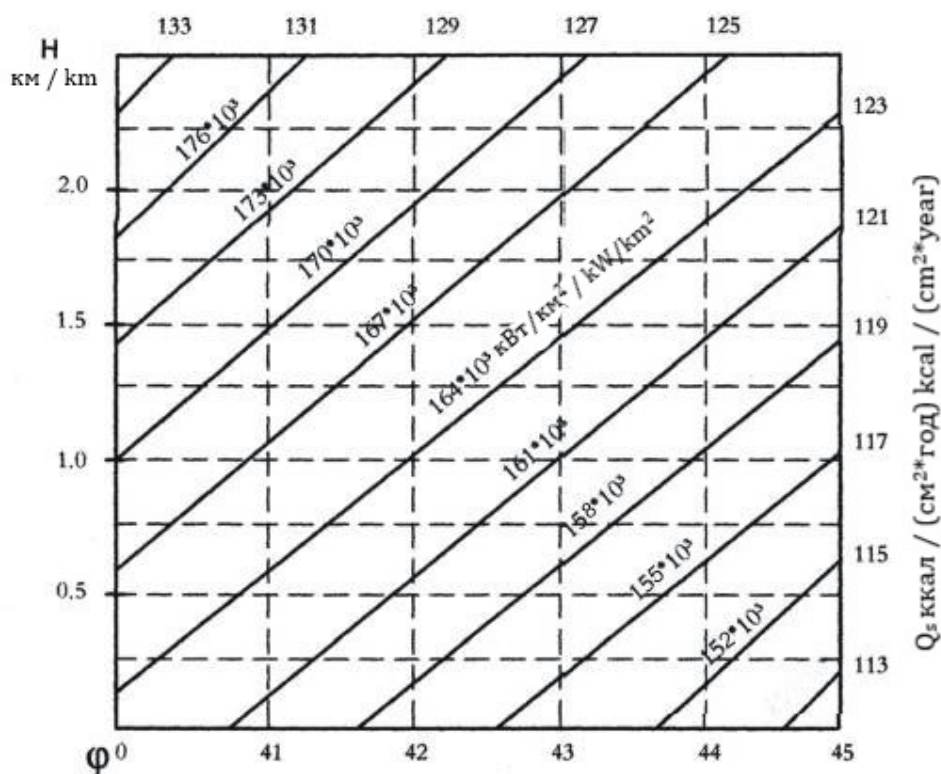


Рисунок 2. Номограмма для расчета мощности суммарной радиации в широтно-высотных интервалах территории Дагестана. Цифры на углах прямоугольника в штриховых осях – предельные значения мощности солнечной радиации

Figure 2. Nomogram for calculating power of total radiation in latitude-altitude intervals of the territory of Dagestan. The numbers at the corners of the rectangle in the dashed axes are the limit values of the power of solar radiation

В приведенных координатах получаем «семейство» параллельных прямых, которые отображают мощность солнечной радиации относительно высоты местности при изменении географических широт от 40° до 45°, т.е. в интервале территории Дагестана. График позволяет также определить изменение мощности солнечной радиации по заданной географической широте или ее предельные и средние значения в широтно-высотных интервалах изучаемой территории [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный регрессионный анализ, а также номограмма позволяют получить количественные показатели энергетики экосистем территории Дагестана, которые лежат в основе оценки современного состояния окружающей среды и выработки рекомендаций по стабилизации, устойчивому эколого-экономическому развитию территорий.

Практика индексации устойчивости окружающей среды отдельных районов Дагестана показала достаточно высокую надежность исходных показателей: 1) мощность первичной продуктивности; 2) экологическая емкость; 3) экологическое нормирование антропогенной нагрузки [6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахмедова Л.Ш., Гасанов Ш.Ш. Информационно-статистический метод оперативной оценки показателей

солнечной радиации на территории Дагестана // Труды Географического общества Дагестана. 2004. N 31-32. С. 106-109.

2. Гасанов Ш.Ш. Структурная экология. Методология и методы. Махачкала: ИД Наука плюс, 2006. 200 с.

3. Гасанов Ш.Ш. Эколометрия. Махачкала: Изд. ДГУ, 2008. 260 с.

4. Ахмедова Л.Ш. Методы измерения и оценки устойчивости геосистем. Махачкала: Изд-во «АЛЕФ», 2008. 100 с.

5. Ахмедова Л.Ш., Гасанов Ш.Ш. Биоразнообразие и устойчивость экосистем. Махачкала: Изд-во «АЛЕФ», 2015. 352 с.

6. Ахмедова Л.Ш., Раджабова Р.Т., Гусейнова Н.О., Курамагомедов Б.К. 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

7. 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. N 1. С. 54-66. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-1-54-66

8. Trask P.D. Origin and environment of source sediment of petroleum. Houston, 1932. 281 p.

9. 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

10. Shannon C.B., Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana (Illinois): Univ. of Illinois Press, 1963. 345 p.
11. Simpson E.H. Measurement of diversity // Nature (London). 1949. V. 163. N 4148. P. 668. DOI: 10.1038/163688a0

REFERENCES

1. Akhmedova L.Sh., Gasanov Sh.Sh. [Information and statistical method for the operational assessment of solar radiation indicators in the territory of Dagestan]. In: *Trudy Geograficheskogo obshchestva Dagestana* [Scientific works of Daghestan geographical society]. 2004, no. 31-32, pp. 106-109. (In Russian)
2. Gasanov Sh.Sh. *Strukturnaya ekologiya. Metodologiya i metody* [Structural ecology. Methodology and methods]. Makhachkala, Nauka plus Publ., 2006, 200 p. (In Russian)
3. Gasanov Sh.Sh. *Ekolometriya* [Ecolometry]. Makhachkala, DSU Publ., 2008, 260 p. (In Russian)
4. Akhmedova L.Sh. *Metody izmereniya i otsenki ustoychivosti geosistem* [Methods for measuring and assessing the stability of geosystems]. Makhachkala, Alef Publ., 2008, 100 p. (In Russian)
5. Akhmedova L.Sh., Gasanov Sh. Sh. *Bioraznoobrazie i ustoychivost' ekosistem* [Biodiversity and ecosystem

resilience]. Makhachkala, Alef Publ., 2015, 352 p. (In Russian)

6. Akhmedova L.Sh., 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
7. 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
8. Trask P.D. Origin and environment of source sediment of petroleum. Houston, 1932, 281 p.
9. 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
10. Shannon C.B., Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana (Illinois), Univ. of Illinois Press, 1963, 345p.
11. Simpson E.H. Measurement of diversity. *Nature*, 1949, vol. 163, no. 4148, pp. 668. DOI: 10.1038/163688a0

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Лейла Ш. Ахмедова написала рукопись и несет ответственность за плагиат, самоплагиат и другие неэтические проблемы.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Leyla Sh. Akhmedova wrote the manuscript and is responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The author declares no conflict of interest.

ORCID

Лейла Ш. Ахмедова / Leyla Sh. Akhmedova <https://orcid.org/0000-0003-1347-1429>