

В. О. ПАРОНИКЯН

О НОРМАЛЬНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ СОДЕРЖАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ В РУДАХ И МИНЕРАЛАХ (Армянская ССР)

Функция распределения является наиболее полной характеристикой содержаний компонентов и в ряде случаев может иметь также генетическое значение. Как показывают исследования, распределение частот содержаний элементов в большинстве гидротермальных месторождений Армянской ССР характеризуется значительной положительной асимметричностью, выходящей за рамки нормального распределения [7].

Проявления нормального закона распределения в геологических образованиях детально рассмотрены А. Б. Вистелиусом [2, 16]. Согласно его модели распределение нормальное с различными параметрами в разных точках исследуемого объекта [2]. Вместе с этим, важным является и следующее положение, которое подтверждается материалами, полученными по рудным формациям Армянской ССР: распределение вероятностей содержаний химических элементов в определенных фазах — нормальное, в то время как смешанные продукты многих фаз геохимических процессов характеризуются асимметричным распределением [16].

В настоящей статье приведены некоторые примеры нормального распределения частот содержаний химических элементов в рудах, породах и минералах. Наряду с этим автор пытался установить связь между функцией распределения и генетическими особенностями изучаемых объектов, а также функцией и параметрами распределения.

Как показывает аналитический материал, в генетическом отношении наиболее интересными являются случаи проявления нормального закона, устанавливающегося в тех геологических образованиях, которые связаны с локальными однородными процессами, протекающими в достаточно узких термодинамических и физико-химических условиях.

Следует, однако, отметить, что выделение совокупностей, которые удовлетворяли бы вышеуказанным условиям, в большинстве гидротермальных месторождений представляет трудную задачу. Руда в этих образованиях, обычно, является конечным продуктом многих стадий минерализации, каждая из которых характеризуется определенными физико-химическими показателями. Кроме того, практически почти невозможно произвести опробование только тех участков месторождений, которые были бы непосредственно связаны с рудообразующими процессами. В контуры рудных тел, обычно, включается огромная масса вмещающих пород, а в процессе опробования от пробы к пробе резко меняется соотношение руда : порода. В этих случаях, разумеется, функция

распределения лишена генетического значения, поскольку в ней вложены факторы, не имеющие прямого отношения к рудогенезу*.

В наиболее чистом виде первичные рассеяния или концентрации элементов могут ожидать в магматических породах или же собственно магматических месторождениях; этим же условиям удовлетворяет распределение изоморфных элементов-примесей в минералах руд и пород, связанных с определенными геологическими процессами. Таким образом, функции распределения, в которых устранено влияние паложженных факторов, приобретают определенное генетическое значение.

Как пример собственно магматических месторождений, здесь рассматривается Сваранцское месторождение титаномагнетитовых руд. Рудные тела (оливиниты) имеют дайкообразную и линзообразную форму и приурочены к габброидному комплексу пород третичного возраста. Главными рудообразующими минералами являются магнетит и титаномагнетит. Месторождение относится к гистеромагматической группе, аналогами его являются месторождения Качканар, Кусинское и др. на Урале [5, 12].

В ходе разведочных работ были достаточно детально опробованы как рудные тела, так и рудообразующие габбро, что позволяет определить функции распределения растворимого железа (связанное главным образом с магнетитом и титаномагнетитом) в этих образованиях**.

Проверка гипотезы нормального распределения содержаний элементов произведена по критерию χ^2 Пирсона. Как видно из приведенных таблиц 1 и 2, распределение частот содержаний растворимого железа не противоречит нормальному закону как в рудах, так и в породах рассматриваемого месторождения***.

* Здесь искусственно возрастает частота встречаемости низких содержаний, в результате чего в большинстве гидротермальных месторождений наблюдается распределение с преимущественно положительной асимметрией.

** Разведка месторождения осуществлялась механически колонковым бурением, результаты которого контролировались прохождением горизонтальных горных выработок. Средний выход керна по рудным участкам составлял 80,5%. Разведочные скважины были заложены на расстоянии 200 м друг от друга.

Опробование штолен произведено бороздовым способом, при сечении борозды 10×5 см. Вкрест простирания рудные тела опробовались непрерывно; расстояние между пробами в выработках, пройденных по простиранию рудных тел, составляло 3 м. Опробование буровых скважин произведено по керну (половина керна), длина которого в пределах одного рейса не превышала 2 метров.

Начальный вес пробы—52 кг; после измельчения и сокращения конечный вес пробы составлял 0,41 кг (данные заимствованы из работы С. Г. Машуряна, С. Н. Даниеляна, Г. Б. Межлумяна и С. Г. Алояна, 1963 г.).

*** Месторождения железа, которые связаны с гидротермально метасоматическими процессами (например, месторождение Кохб Алавердского рудного района) характеризуются значительным асимметричным распределением частот содержаний, аналогично гидротермальным месторождениям других элементов. Таким же образом распределение растворимого железа в рудах Капутанского месторождения близко к логнормальному, что указывает на возможность участия пневматолито-гидротермальных процессов в формировании этого месторождения.

Появление нормального закона распределения в геологических образованиях объясняется в литературе либо рассеянием элементов во многих минералах пород приблизительно равными порциями [9], либо же наличием наложенных процессов [9] и, в частности, метаморфизма [1, 6]. В нашем случае, однако, речь идет о первичном рассеянии или концентрации железа в породе и руде, причем, как видно, нормальный закон имеет место и в том случае, когда элемент сконцентрирован только в одном минерале. Анализ большого эмпирического материала показывает, что нормальное или же приближенно нормальное распределение присуще таким элементам и объектам, которые характеризуются достаточной однородностью и устойчивостью свойств (например, содержания) или же малыми числовыми значениями коэффициента вариации, что характерно для локальных процессов без проявления наложенных факторов.

Таблица 1

Проверка гипотезы нормального распределения железа в рудах
Сваранцского месторождения

Границы интервалов, ‰	Число анализов (m_i)	Частота встречаемости $\left(\frac{m_i}{n}\right)$	Теоретические частоты (P_i)	$\frac{\left(\frac{m_i}{n} - P_i\right)^2}{P_i}$	Эмпирическая функция распределения $F_n(x)$	Теоретическая функция распределения $F(x)$
до 10	1	0,0013	0,0063	0,004	0,0013	0,0063
10—12	10	0,0134	0,0165	0,0006	0,0147	0,0228
12—14	23	0,0309	0,0441	0,0004	0,0456	0,0669
14—16	59	0,0794	0,0918	0,0016	0,1249	0,1587
16—18	133	0,1787	0,1499	0,0055	0,3036	0,3086
18—20	160	0,2150	0,1914	0,003	0,5186	0,5005
20—22	135	0,1814	0,1914	0,0005	0,7000	0,6919
22—24	126	0,1693	0,1499	0,0025	0,8693	0,8418
24—26	60	0,0806	0,0918	0,0013	0,9499	0,9336
26—28	20	0,0269	0,0441	0,0067	0,9768	0,9777
28—30	11	0,0148	0,0165	0,0002	0,9916	0,9942
30—32	5	0,0067	0,0049	0,0006	0,9983	0,999
>32	1	0,0013	0,0013	0,0	1,0	1,0

$$n = 744$$

$$\bar{x} = 20\%$$

$$s = 4,0$$

$$V = 20\%$$

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^k \frac{\left(\frac{m_i}{n} - P_i\right)^2}{P_i} = 20,0$$

$$\chi_a^2 = 20,1, \text{ при } a = 0,01 \text{ и } 8 \text{ степенях свободы.}$$

Из изоморфных элементов-примесей здесь рассматриваются распределение селена в пирите, халькопирите и молибдените Каджаранского медно-молибденового и Кафанского медноколчеданного месторождений, рения — в молибдените Каджаранского месторождения, а также аксессуарных редкоземельных элементов в апатите железорудного месторождения*.

* С этой целью использованы данные химических анализов (Г. О. Пиджян, К. А. Карамян, А. С. Фарамазян, Р. Н. Зарьян и автор) по Se и Re, а также данные количественного спектрального анализа (Г. М. Мкртчян и Л. Б. Саруханян) по редкоземельным элементам в апатитах.

Таблица 2

Проверка гипотезы нормального распределения железа в рудовмещающих габбро Сваранцкого месторождения

Границы интервалов %	Число анализов (m_i)	Частота встречаемости $\left(\frac{m_i}{n}\right)$	Теоретические частоты (P_i)	$\frac{\left(\frac{m_i}{n} - P_i\right)^2}{P_i}$	Эмпирическая функция распределения $F_n(x)$	Теоретическая функция распределения $F(x)$
1—2	2	0,0058	0,0033	0,002	0,0058	0,0033
2—3	1	0,0029	0,0049	0,0008	0,0087	0,0082
3—4	4	0,0116	0,0265	0,0083	0,0203	0,0347
4—5	14	0,0436	0,0441	0,0	0,0639	0,0788
5—6	40	0,1163	0,0918	0,006	0,1808	0,1706
6—7	55	0,1584	0,1497	0,005	0,3813	0,3203
7—8	75	0,2180	0,1914	0,003	0,5993	0,5117
8—9	59	0,1715	0,1914	0,002	0,7708	0,7031
9—10	46	0,1337	0,1497	0,0017	0,9045	0,8528
10—11	31	0,0893	0,0918	0,00006	0,9539	0,9446
11—12	10	0,0290	0,0441	0,005	0,9829	0,9887
12—13	9	0,0262	0,0265	0,0	1,0	1,0

$n = 347$

$\chi^2 = 11,7$

$\bar{x} = 7,85\%$

$\chi_{\alpha}^2 = 14,07$, при $\alpha = 0,05$ и 7 степенях свободы

$s = 2,0$

$V = 25\%$

Таблица 3

Проверка гипотезы нормального распределения селена в халькопирите пирит-халькопиритовой стадии минерализации Кафанского месторождения

Границы интервалов г/т	Число проб (m_i)	Частота встречаемости $\left(\frac{m_i}{n}\right)$	Теоретическая частота (P_i)	$\frac{\left(\frac{m_i}{n} - P_i\right)^2}{P_i}$
до 80	5	0,1389	0,1252	0,001
80—120	11	0,3056	0,2398	0,018
120—160	12	0,3334	0,3102	0,016
160—200	8	0,2222	0,2189	0,00
>200	3	0,0833	0,1039	0,004

$n = 39$

$\chi^2 = 1,52$

$\bar{x} = 137$ г/т

$\chi_{\alpha}^2 = 3,84$, при $\alpha = 0,05$ и одной степени свободы

$s = 50$

$V = 36\%$

Следует отметить, что определение функций распределения указанных элементов в минералах произведено как для одной стадии минерализации, также и для месторождения в целом, сформировавшегося, как правило, в течение нескольких стадий минерализации. При этом, функция распределения, которая характеризует закон распределения элемента в минерале одной парагенетической ассоциации, принимает совершенно иной вид, когда минерал рассматриваем вне зависимости от парагенезиса.

Как пример не изоморфного или же частично изоморфного элемен-

Таблица 4

Проверка гипотезы нормального распределения селена в халькопирите кварц-халькопиритовой стадии Каджаранского месторождения

Границы интервалов, г/т	Число проб (m_i)	Частота встречаемости $\left(\frac{m_i}{n}\right)$	Теоретические частоты (P_i)	$\frac{\left(\frac{m_i}{n} - P_i\right)^2}{P_i}$
до 100	2	0,0465	0,0303	0,0087
100—150	5	0,1162	0,0964	0,004
150—200	13	0,3022	0,2064	0,044
200—250	9	0,2092	0,2766	0,016
250—300	7	0,1627	0,2311	0,020
300—350	5	0,1162	0,1150	0,0
350—400	2	0,0465	0,0361	0,0026
>400	1	0,0232	0,0076	0,031

$$n = 44$$

$$\chi^2 = 5,51$$

$$\bar{x} = 230 \text{ г/т}$$

$$\chi_a = 5,99, \text{ при } a = 0,05 \text{ и двух степенях свободы}$$

$$s = 70$$

$$V = 30\%$$

та изучены также функции распределения теллура в главных сульфидах вышеупомянутых месторождений.

Селен по многим физико-химическим показателям очень близко стоит к сере, чем и определяются главные особенности его поведения в процессах рудообразования и форм его нахождения. Во многих месторождениях, как показывает аналитический материал, селен без особого предпочтения изоморфно входит в решетки сульфидов, замещая серу ($\text{Se}^{2-} \rightarrow \text{S}^{2-}$). Этот изоморфизм, согласно экспериментальным работам, [13] в некоторых системах (например PbS и PbSe) почти неограничен.

Как следует из таблиц 3 и 4, распределение селена в мономинеральном халькопирите из пирит-халькопиритовой стадии Кафана и кварц-халькопиритовой стадии Каджарана не противоречит нормальному закону. С этим же законом хорошо согласуются эмпирические данные по содержанию селена в молибдените кварц-молибденитовой стадии минерализации Каджаранского месторождения (табл. 5).

Одним из главных концентраторов рения в рудах медно-молибденовых месторождений Армянской ССР является молибденит [4, 11]. В этом отношении наиболее детально изучены молибдениты Каджаранского месторождения. В гидротермальных процессах, рений, как и молибден, выступает в четырехвалентной форме, ионный радиус которого очень близок к молибдениту (по Гольдшмидту—тождественны). Изоструктурны также дисульфиды рения и молибдена [14], а экспериментально установлен неограниченный изоморфизм между ними [15]. Большими химическими и кристаллохимическими сходствами рения и молибдена обусловлены довольно широкие границы изоморфного вхождения рения в природные молибдениты.

Аналогично селену распределение частот содержаний рения в молибдените кварц-молибденитовой стадии минерализации хорошо аппроксимируется с нормальной функцией распределения (табл. 6).

Таблица 5

Проверка гипотезы нормального распределения селена в молибденитах кварц-молибденитовой стадии минерализации Каджаранского месторождения

Границы интервалов г/т	Число проб (m_i)	Частота встречаемости $\left(\frac{m_i}{n}\right)$	Теоретические частоты (P_i)	$\frac{\left(\frac{m_i}{n} - P_i\right)^2}{P_i}$
до 100	10	0,1388	0,1039	0,011
100—200	11	0,1528	0,1950	0,009
200—300	25	0,3192	0,2567	0,013
300—400	15	0,2082	0,2274	0,0017
400—500	8	0,1110	0,1289	0,0024
500—600	4	0,0555	0,047	0,0015
>600	1	0,0139	0,0136	0,0

$$n = 72$$

$$\chi^2 = 2,78$$

$$\bar{x} = 268 \text{ г/т}$$

$$\chi_a^2 = 7,82, \text{ при } a = 0,05 \text{ и трех степенях свободы}$$

$$s = 150$$

$$V = 56\%$$

Таблица 6

Проверка гипотезы нормального распределения рения в молибденитах кварц-молибденитовой стадии минерализации Каджаранского месторождения

Границы интервалов, г/т	Число проб (m_i)	Частота встречаемости $\left(\frac{m_i}{n}\right)$	Теоретические частоты (P_i)	$\frac{\left(\frac{m_i}{n} - P_i\right)^2}{P_i}$
до 100	1	0,0149	0,0165	0,0001
100—150	2	0,0298	0,0362	0,0011
150—200	8	0,1194	0,0798	0,019
200—250	9	0,1343	0,1375	0,00007
250—300	12	0,1720	0,1852	0,0002
300—350	15	0,2238	0,1955	0,004
350—400	8	0,1194	0,1615	0,0109
400—450	6	0,0895	0,1047	0,004
450—500	5	0,0746	0,0529	0,009
>500	1	0,0149	0,0294	0,07

$$n = 67$$

$$\chi^2 = 3,57$$

$$\bar{x} = 311 \text{ г/т}$$

$$\chi_a^2 = 9,49, \text{ при } a = 0,05 \text{ и четырех степенях свободы}$$

$$s = 100$$

$$V = 32\%$$

В отличие от предыдущих элементов содержания теллура в сульфидах контролируются двумя факторами — собственными минералами и частично изоморфной примесью. Собственные минералы теллура в сульфидах устанавливаются при его ничтожных содержаниях (<0,001%). В соответствии с этим распределение теллура, в отличие от селена, характеризуется значительной асимметрией и коэффициентом вариации. Исследования показывают хорошую сходимость между эмпирическими частотами содержаний теллура и теоретическими вероятностями, вычисленными из показательной и логарифмически-нормаль-

Таблица 7

Проверка гипотезы нормального распределения ΣTR в апатитах

Границы интервалов	Число проб (m_i)	Частота встречаемости $\left(\frac{m_i}{n}\right)$	Теоретические частоты (P_i)	$\frac{\left(\frac{m_i}{n} - P_i\right)^2}{P_i}$
до 2,0	13	0,1000	0,0918	0,0007
2,0—2,5	28	0,2170	0,2068	0,005
2,5—3,0	50	0,3175	0,3207	0,014
3,0—3,5	23	0,1782	0,2497	0,020
>2,5	15	0,1162	0,1110	0,0003

$n = 129$

$\chi^2 = 5,16$

$\bar{x} = 2,8$

$\chi^2_{\alpha} = 5,99$, при $\alpha = 0,05$ и двух степенях свободы

$s = 0,6$

$V = 21\%$

Таблица 8

Проверка гипотезы нормального распределения церия в апатитах

Границы интервалов	Число проб (m_i)	Частота встречаемости $\left(\frac{m_i}{n}\right)$	Теоретические частоты (P_i)	$\frac{\left(\frac{m_i}{n} - P_i\right)^2}{P_i}$
до 1,0	8	0,0620	0,0854	0,008
1,0—1,2	16	0,1240	0,1053	0,003
1,2—1,4	22	0,1705	0,1778	0,0003
1,4—1,6	33	0,2557	0,2048	0,012
1,6—1,8	24	0,1867	0,1844	0,00004
1,8—2,0	13	0,1007	0,1319	0,007
2,0—2,2	6	0,0465	0,0679	0,007
>2,2	7	0,0542	0,0560	0,0006

$n = 129$

$\chi^2 = 4,8$

$\bar{x} = 1,52$

$\chi^2_{\alpha} = 11,07$, при $\alpha = 0,05$ и 5 степенях свободы

$s = 0,38$

$V = 25\%$

ной функций в молибдените, пирите и халькопирите как одной стадии минерализации, так и месторождения в целом.

Трехвалентные элементы редкоземельной группы в структуре апатита замещают двухвалентный кальций (при гетеровалентном замещении, например, по схеме $\text{Ce}^{3+} + \text{Si}^{4+} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{P}^{5+}$, возникает структурный редкоземельный аналог апатит,—бритолит). В исследуемых апатитах акцессорные редкоземельные элементы представлены полностью с преобладанием цериевой группы [10]; на долю La+Ce приходится около 60—70% от суммы редких земель.

Преобладание цериевой группы редких земель в апатите объясняется координационным числом кальция и структурой минерала [3], при которых вхождение других элементов редкоземельной группы в значительной степени затруднено.

Таблица 9

Проверка гипотезы нормального распределения лантана в апатитах

Границы интервалов	Число проб (m_i)	Частота встречаемости ($\frac{m_i}{n}$)	Теоретические частоты (P_i)	$\frac{\left(\frac{m_i}{n} - P_i\right)^2}{P_i}$
до 4	4	0,0310	0,0606	0,014
0,4—0,5	12	0,0930	0,0981	0,0003
0,5—0,6	29	0,2248	0,1713	0,020
0,6—0,7	37	0,2867	0,2138	0,018
0,7—0,8	23	0,1782	0,2047	0,0035
0,8—0,9	12	0,0930	0,1402	0,021
0,9—1,0	6	0,0465	0,0737	0,01
>1,0	6	0,0465	0,0376	0,002

$$n = 129$$

$$\chi^2 = 10,4$$

$$\bar{x} = 0,68$$

$$\chi_a^2 = 11,07, \text{ при } a = 0,05 \text{ и } 5 \text{ степенях свободы}$$

$$s = 0,18$$

$$V = 26\%$$

Как следует из приведенных табл. 7, 8, 9, распределение главных элементов цериевой группы—лантана и церия, а также суммы редкоземельных элементов (ΣTR) в апатитах, не противоречит нормальной функции распределения. Полученные результаты позволяют, с другой стороны, предполагать принадлежность изучаемых апатитов к единой в генетическом отношении совокупности.

Таким образом, нормальное или же приближенно-нормальное распределение является характерным для достаточно устойчивых признаков руд, пород и минералов (при значении коэффициента вариации до 30—40%). Оно присуще для однородных и локальных процессов и в этом отношении может иметь определенное генетическое значение. С увеличением коэффициента вариации (>50—60%), как правило, возрастает и степень асимметрии распределения, в соответствии с этим усиливаются расхождения от нормального закона. Условиям нормального распределения удовлетворяют распределение железа в собственно магматическом месторождении, а также изоморфных элементов—примесей в минералах из одной парагенетической ассоциации или стадии минерализации.

Распределение элементов в большинстве гидротермальных месторождений, а также распределение не изоморфных примесей в минералах, характеризующихся несравненно более высокими значениями коэффициентов вариации и асимметрии, значительно отличаются от нормального закона.

Институт геологических наук
АН Армянской ССР

Поступила 13.XII.1968.

Վ. Հ. ՊԱՐՈՆԻՅԱՆ

ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐՈՒՄ ԵՎ ՄԻՆԵՐԱԿԱՆԵՐՈՒՄ ԷԼԵՄԵՆՏՆԵՐԻ ՊԱՐՈՒՆԱԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՆՈՐՄԱԿ ԲԱՇԽՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ո ռ մ

Համաձայն հողվածում բերված տվյալների, հավանականությունների նորմալ բաշխմանն են ենթարկվում ինչպես երկաթի պարունակությունները մագմատիկ ծաղման Սվարանցի հանքանյութերում, այնպես էլ իզոմորֆ խառնուրդների՝ Se և Re պարունակությունները մեկ ստադիային պատկանող խալկոպիրիտներում և մոլիբդենիդներում: Նորմալ բաշխման ֆունկցիան հաստատվում է նաև ապատիտներում ալցեսոբ հազվագյուտ հողային էլեմենտների (La, Ce ΣTR) պարունակությունների նկատմամբ:

Ուսումնասիրությունների արդյունքները թույլ են տալիս սգրակացնելու, որ նորմալ կամ մոտավոր նորմալ բաշխումը բնորոշ է ապարների, հանքանյութերի և միներալների առավել կայուն հատկանիշներին (վարիացիոն գործակցի մինչև 30—40% արժեքների դեպքում), որը տեղի ունի միատարր և լոկալ պրոցեսների առաջացումներում և այդ տեսակետից կարող է ունենալ նաև գենետիկ նշանակություն: Վարիացիոն գործակցի աճի հետ մեկտեղ, որպես կանոն, մեծանում է նաև բաշխման ստիմետրիան և համապատասխանաբար սիճում նորմալ բաշխումից ունեցած շեղման աստիճանը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Азизов Т. М. Некоторые результаты применения математических методов при изучении рассеянных элементов в углях. В сб.: «Прим. мат. методов в геологии». Алма-Ата, 1968.
2. Вистелнус А. Б. Проблемы математической геологии. «Геология и геофизика», № 7, 1963.
3. Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. Т. I. Изд. «Наука», М., 1964.
4. Магакьян И. Г., Пиджян Г. О., Фарамазян А. С. Рений в медно-молибденовых месторождениях Армянской ССР. ДАН Арм ССР, т. XXXVII, № 2, 1963.
5. Межлумян Г. Б. О генезисе Сваранцского железорудного месторождения. Известия АН Арм. ССР, сер. геол. и географ., № 1, 1960.
6. Муканов К. М., Утегенов С. М. Вероятностно-статистические параметры распределения элементов некоторых свинцово-цинковых месторождений Центрального Казахстана. В сб.: «Прим. мат. методов в геологии». Алма-Ата, 1968.
7. Пароникян В. О. Характер распределения частот содержаний металлов в теле полезного ископаемого. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 1—2, 1966.
8. Пароникян В. О. К геохимии благородных и некоторых редких элементов в колчеданной и полиметаллической формациях руд Армянской ССР. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 5—6, 1967.
9. Раднонов Д. А. Функции распределения содержаний элементов и минералов в изверженных горных породах. Изд. «Наука», М., 1964.
10. Саруханян Л. Б., Мкртчян Г. М. Распределение акцессорных редкоземельных элементов в апатите. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 4, 1968.
11. Фарамазян А. С. Закономерности распределения рения в рудах Каджаранского месторождения. Изв. АН Арм. ССР, сер. геол. геогр. наук, № 1, 1961.
12. Хачатурян Э. А., Гулян Э. Х. Железо. В кн.: «Геология Армянской ССР». т. VI, Ереван, 1967.

13. Earley I. W. Description and synthesis of the selenide minerals. *Amer. Mineralogist*, 35, № 5–6, 1950.
14. Lagrenaudie J. Comparaison des composés de la famille de MoS_2 . *J. phys. et radium*, 15, № 4, 1954.
15. Naddack I., Naddack W. Die Geochemie des henlums. *Z. phys. Chem.*, № 3–4, 1931.
16. Vistelius A. B. The skew frequency distribution and the fundamental law of the geochemical processes. *J. Geol.*, vol. 68, № 1, 1960.