Записки Ленинградского Горного института, т. IX, вып. 2, 1935
Annales de l'Institut des Mines à Leningrade, vol. IX, livr. 2, 1935

Об одной важной петрохимической закономерности

Проф. А. Н. Заварицкий

An important petrochemical peculiarity of igneous rocks

Prof. *A. N. Zavaritsky*

Термин «петрохимия» отсутствует в петрографических лексиконах. Его мы не найдем в русском словаре Левинсона-Лессинга и Струве, [1] нет его и в словаре Холмса. [2] В литературе он однако употребляется, и, судя по его употреблению, под «петрохимией» надо понимать совокупность наших сведений о химическом составе горных пород, заключающуюся во «множестве» (в математическом смысле) [3] химических анализов горных пород, и те выводы, которые из этих сведений можно сделать.

Каждый анализ представляет некоторое математическое выражение данных опыта, именно отношение окислов разных элементов, входящих в состав породы. Для того чтобы обнаружить какие-либо закономерности в множестве анализов, приходится, естественно, производить некоторые расчеты. Так как эти закономерности носят статистический характер и так как они по состоянию наших знаний являются чисто эмпирическими и не могут быть выражены в формулах математического анализа, то для их выражения рационально прибегнуть к способу построения диаграмм. Наглядность геометрического изображения числовых соотношений является при этом незаменимым эвристическим средством.

Всякий расчет, производимый на основании данных анализа, приводит к некоторым новым числовым отношениям. В них мы получаем отображение множества химических анализов, которые являются прототипами получаемых таким путем образов.

Развивая те приемы расчетов химического анализа, которые применяли Мишель-Леви и Озанн, автор настоящей статьи в других работах [4] показал, что главные особенности химического состава изверженной горной породы, данные в ее анализе, особенно удобно могут быть отражены в форме таких рядов отношений, сумма множеств которых однозначно отображает множество химических анализов и равномощна ему.

$$\text{I. } (Na_{Al} + K_{Al}) : Ca_{Al} : (Fe + Mg + Ca' + Al' + Na') : (Si + Ti)$$
$$\text{II. } Fe : Mg : Ca' : Al' : Na'$$
$$\text{III. } Na_{Al} : (Na_{Al} + K_{Al})$$

[1] Ф. Ю. Левинсон-Лессинг и Э. А. Струве, Петрографический словарь, 1932.

[2] A. Holmes, The Nomenclature of Petrology, 1928.

[3] B. L. Vander-Waerden, Moderne Algebra. Русск. перевод Окунева, 1934.

[4] А. Н. Заварицкий, Пересчет химических анализов изверженных горных пород, Лнгр., 1933, и Физико-химические основы петрографии, Лнгр., 1926.

В этих отношениях даны отношения чисел атомов разных элементов, входящих в состав породы, причем:

Na_{Al} и K_{Al} обозначают максимальное число атомов натрия и калия, которые могут входить в состав алюмосиликатов;

Ca_{Al} — максимальное число атомов кальция алюмосиликатов;

Ca′, Al′ и Na′ — числа атомов кальция, алюминия и натрия, не могущие войти в состав алюмосиликатов.

В огромном большинстве химических составов изверженных горных пород $Al' = 0$ и $Na' = 0$; это будет нормальный класс химических составов. В некоторых $Al' > 0$, тогда необходимо $Ca' = 0$, — это класс пересыщенных глиноземом составов; в других редких случаях $Na' > 0$, тогда необходимо $Al' = 0$, но Ca′ может и не равняться нулю, — это класс пресыщенных щелочами составов. Три вышеописанных ряда отношений, пересчитанных каждый в сумме на 100, мы обозначаем так:

I. $a : c : b : s$

II. $f' : m' : c'$, или $f' : m' : a'$, или $f' : m' : c' : n'$

III. n

Три разных случая отношений II взаимно исключают один другого.

I ряд отношений выражает относительное количество салических и фемических элементов породы, характер салических элементов и «кислотность» породы.

II ряд отношений выражает характер фемических составных частей пород.

III отношение дает относительное количество натрия в сумме одновалентных атомов алюмосиликатов.

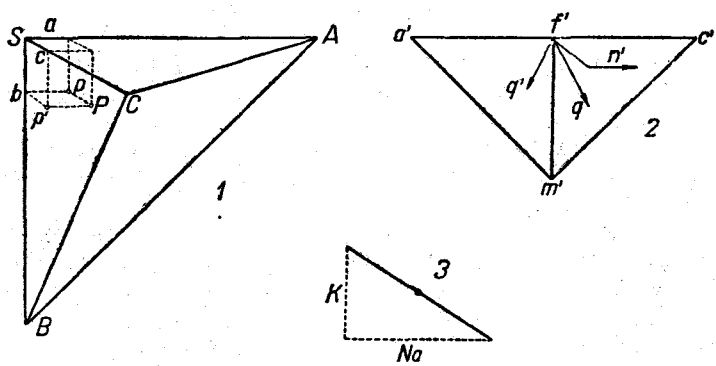


Рис. 1. Схема применения графического метода.

Очевидно, что очень важной петрохимической закономерностью является зависимость между отдельными рядами I, II и III этих отношений. Попытаемся найти эту зависимость, исходя из эмпирического материала. Для ее отыскания, в виду статистического характера закономерностей, воспользуемся теми 135 средними составами изверженных горных пород, которые были подсчитаны Дэли.[1] В приводимых ниже таблицах даны эти средние составы и вычисленные из них величины a, c, b, s, f', m', c' и др.[2] На диаграмме (рис. 2), приложенной на отдельном листе, дан список названий пород, каждая из которых отмечена цифрой, стоящей вверху колонки анализа породы, данного в таблицах.

Для нахождения искомой связи обратимся к графическому методу. В указанных выше работах автор предложил изображать отношение $a : c : b : s$ точкой внутри прямоугольного тетраэдра, определяемой по правилу барицентрических координат. Схема этого способа представлена в этой статье на рис. 1-1. Точка может быть изображена при помощи двух проекций p и p' на плоскости ASB и CSB, которые могут быть развернуты в одну плоскость, согласно обычному приему начертательной геометрии.

---

[1] R. A. Daly, Igneous Rocks and the Depths of the Earth, 1933.

[2] Пересчеты сделаны Э. А. Струве, которой я считаю долгом принести свою благодарность.

Анализы средних составов изверженных горных пород

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO_2	71,06	69,81	69,73	70,18	72,80	72,90	72,77	72,36	69,21	73,30	73,51	75,45	68,63	60,79	59,25	51,59	58,65	60,19	60,68	63,91
Al_2O_3	14,10	13,76	14,98	14,47	13,49	14,18	13,33	14,17	14,41	12,33	11,43	13,11	10,30	16,10	15,28	18,77	16,38	16,28	17,74	15,88
Fe_2O_3	1,46	2,17	1,62	1,57	1,45	1,65	1,40	1,55	1,98	2,58	2,97	1,14	5,60	3,21	2,59	6,11	3,65	2,74	2,64	3,22
FeO	1,63	1,87	1,66	1,78	0,88	0,31	1,02	1,01	1,67	1,28	1,08	0,66	2,61	2,92	3,47	3,26	3,09	3,28	2,62	2,23
MgO	0,59	0,84	1,08	0,88	0,38	0,40	0,38	0,52	1,15	0,26	0,16	0,34	0,37	2,20	5,07	4,11	3,06	2,49	1,12	1,14
CaO	1,97	2,20	2,20	1,99	1,20	1,13	1,22	1,88	2,19	0,46	0,28	0,83	1,07	3,87	3,68	7,35	4,45	4,30	3,09	2,81
Na_2O	3,24	3,17	3,28	3,48	3,38	3,54	3,34	2,85	3,48	4,55	4,65	5,88	6,14	3,37	3,10	4,35	3,48	3,98	4,43	3,08
K_2O	4,50	0,38	3,95	4,11	4,46	3,94	4,58	4,56	4,23	4,20	4,53	1,26	4,17	5,43	4,41	2,99	4,79	4,49	5,74	5,80
H_2O	0,69	0,74	0,78	0,84	1,47	1,33	1,50	1,09	0,85	0,86	1,02	1,69	0,53	0,90	2,06	0,26	1,13	1,16	1,26	1,28
TiO_2	0,48	0,54	0,34	0,39	0,33	0,48	0,29	0,33	0,41	0,11	0,29	0,17	0,35	0,80	0,79	0,61	0,86	0,67	0,38	0,59
P_2O_5	0,10	0,26	0,27	0,19	0,08	0,01	0,10	0,09	0,30	0,05	0,04	0,18	0,02	0,30	0,30	0,36	0,31	0,28	0,24	0,05
MnO	0,18	0,26	0,11	0,12	0,08	0,13	0,07	0,09	0,12	0,02	0,04	0,29	0,21	0,11	—	0,24	0,15	0,14	0,06	0,01
a	13,4	13,2	12,7	13,4	13,8	12,9	13,7	12,6	13,7	15,6	14,6	14,2	12,8	15,4	13,25	14,3	14,8	15,5	18,6	15,5
c	2,4	2,5	2,6	2,4	1,4	1,3	1,4	1,6	2,6	0,1	0	1,0	0	3,2	3,65	5,7	3,7	3,2	2,9	3,0
b	4,4	5,4	6,5	5,4	3,8	5,3	3,7	5,7	5,5	4,1	5,5	2,8	14,2	10,9	15,0	19,3	13,3	11,9	7,7	7,3
s	79,8	78,9	78,2	78,8	81,0	80,5	81,2	80,1	78,2	80,2	79,9	82,0	73,0	70,5	68,1	60,7	68,2	69,4	70,8	74,2
n	52,0	52,0	55,8	56,0	53,4	58,2	52,4	48,4	55,4	62,2	61,0	87,1	—	48,2	51,5	69,4	52,3	57,5	54,1	44,6
f	67,7	71,6	45,4	57,5	55,0	35,0	60,0	40,7	61,7	79,4	63,1	61,4	48,9	50,9	36,4	45,0	47,1	47,1	62,1	67,6
m'	23,1	25,9	27,8	27,5	17,2	12,5	18,2	15,1	35,8	11,1	1,8	20,4	4,0	34,6	57,7	37,3	39,4	35,6	25,3	26,7
c'	—	2,5	—	—	—	—	—	—	—	9,5	5,8	—	8,5	14,5	5,9	17,7	13,5	17,3	12,6	5,7
a'	9,2	—	26,8	15,0	27,6	52,5	21,8	44,2	2,5	—	—	18,2	—	—	—	—	—	—	—	—
n'	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	26,2	—	38,6	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
SiO_2	64,36	61,58	61,96	60,01	62,00	62,63	61,51	57,45	56,36	56,12	57,65	57,84	62,43	49,07	45,61	50,34	56,11	53,78	54,36	54,63
Al_2O_3	16,81	18,37	17,07	16,65	17,44	17,06	17,37	21,11	20,10	16,96	16,68	17,24	16,15	21,71	27,76	14,73	21,33	16,33	19,99	19,89
Fe_2O_3	1,08	2,28	2,35	2,41	2,06	3,01	1,92	2,89	2,86	2,93	2,29	3,97	4,04	2,88	3,67	4,18	1,87	6,95	2,79	3,37
FeO	2,71	1,71	3,37	3,85	2,68	1,98	3,35	2,39	2,01	4,01	4,07	3,18	1,20	5,90	0,50	2,75	1,47	3,01	2,58	2,20
MgO	0,72	0,69	1,38	0,97	0,91	0,63	1,26	1,06	1,15	3,27	3,22	1,25	1,74	1,51	0,19	4,23	0,55	0,62	1,72	0,87
CaO	1,55	1,77	3,41	2,62	2,26	1,51	1,08	4,10	2,73	6,50	5,74	4,20	4,24	4,80	1,73	10,43	1,72	1,70	2,96	2,51
Na_2O	5,76	6,45	4,65	6,53	5,86	6,26	5,23	5,89	7,65	3,67	3,59	5,67	3,34	8,46	16,25	5,27	8,48	10,45	8,28	8,26
K_2O	5,62	5,70	3,80	5,47	5,17	5,37	5,29	3,87	4,97	3,76	4,39	3,62	3,75	2,98	3,72	5,21	6,46	3,78	4,98	5,46
H_2O	0,70	0,80	0,93	0,50	0,76	0,71	2,45	0,70	1,20	1,05	0,91	1,30	1,90	1,50	0,42	1,20	1,50	1,80	0,22	1,35
TiO_2	0,45	0,33	0,99	0,64	0,57	0,62	0,45	—	0,48	1,10	1,00	1,11	0,85	0,63	—	0,34	0,45	1,02	1,30	0,86
P_2O_5	0,09	0,21	—	0,17	0,17	0,09	0,08	0,54	0,48	0,47	0,36	0,57	0,27	0,39	—	1,19	0,01	0,01	0,64	0,25
MnO	0,15	0,11	0,09	0,18	0,12	0,13	0,01	—	0,01	0,16	0,10	0,05	0,09	0,17	0,15	0,11	0,05	0,55	0,18	0,35
a	20,6	22,6	16,0	21,9	20,4	21,4	19,02	19,5	24,6	13,8	14,4	18,0	13,2	23,9	37,6	18,6	28,5	21,2	25,5	26,4
c	0,8	1,0	3,6	0,1	1,4	0,7	1,4	5,0	1,4	4,7	4,1	11,2	8,6	14,1	0	0,3	0,2	0	0,6	0,3
b	5,9	5,9	8,2	10,3	7,3	6,8	8,5	7,0	8,5	15,6	14,5	2,8	4,5	3,2	10,1	25,2	6,0	18,6	11,0	9,7
s	72,7	70,5	72,2	67,7	70,9	71,1	70,9	68,5	65,5	65,9	67,0	68,0	73,7	58,8	52,3	55,9	65,3	60,2	62,9	63,6
n	60,8	63,0	65,2	64,4	63,3	63,9	60,0	69,9	70,1	59,6	55,2	70,6	57,4	81,0	—	60,7	66,5	—	71,7	69,7
f'	61,4	61,6	63,9	55,2	60,7	67,3	56,9	71,1	32,4	42,0	40,8	59,0	54,5	60,3	37,4	24,2	52,3	48,9	46,3	65,3
m'	20,4	19,8	29,4	15,6	21,5	15,9	25,2	26,8	23,8	36,6	38,4	19,3	35,8	19,1	3,4	27,8	16,3	5,7	26,5	15,6
c'	18,2	18,6	6,7	29,2	17,8	16,8	—	2,1	23,8	21,4	20,8	21,7	9,7	20,6	21,1	48,0	31,4	10,6	27,2	29,1
a'	—	—	—	—	—	—	17,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
n'	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	38,1	—	—	34,8	—	—

Продолжение

	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
SiO_2	57,45	61,59	61,32	66,64	65,01	65,68	58,90	56,77	59,59	57,50	59,48	61,12	62,25	50,39	49,50	46,49	48,24	49,06	48,78	48,80
Al_2O_3	20,60	16,21	16,95	15,57	15,94	16,25	16,47	16,67	17,31	17,33	17,38	17,65	16,10	16,06	18,00	17,73	17,88	15,70	15,85	13,98
Fe_2O_3	2,35	2,54	2,39	1,91	1,74	2,38	2,89	3,16	3,33	3,78	2,96	2,89	3,62	2,43	2,80	3,66	3,16	5,38	5,37	3,59
FeO	1,03	3,77	4,29	1,94	2,65	1,90	4,04	4,40	3,13	3,62	3,67	2,40	2,20	7,86	5,80	6,17	5,95	6,37	6,34	9,78
MgO	0,30	2,80	2,84	1,41	1,91	1,41	3,57	4,17	2,75	2,86	3,28	2,44	2,03	8,37	6,62	8,86	7,51	6,17	6,03	6,70
CaO	1,50	5,38	5,56	3,50	4,42	3,46	6,14	6,74	5,80	5,83	6,61	5,80	4,05	9,20	10,64	11,48	10,99	8,95	8,91	9,38
Na_2O	8,84	3,37	2,62	3,41	3,70	3,97	3,46	3,39	3,58	3,53	3,41	3,83	3,55	2,61	2,82	2,16	2,55	3,11	3,18	2,59
K_2O	5,23	2,10	2,20	3,72	2,75	2,67	2,11	2,12	2,04	2,36	1,64	1,72	2,44	0,79	0,98	0,78	0,89	1,52	1,63	0,69
H_2O	2,04	1,22	1,22	1,15	1,04	1,50	1,27	1,36	1,26	1,88	0,74	1,43	1,50	0,79	1,60	1,04	1,45	1,62	1,76	1,80
TiO_2	0,41	0,66	0,23	0,50	0,57	0,57	0,76	0,84	0,77	0,79	0,48	0,42	1,65	1,13	0,84	1,17	0,97	1,36	1,39	2,19
P_2O_5	0,12	0,26	0,33	0,19	0,20	0,15	0,27	0,25	0,26	0,30	0,20	0,15	0,40	0,20	0,28	0,29	0,28	0,45	0,47	0,33
MnO	0,13	0,10	0,05	0,06	0,07	0,06	0,12	0,13	0,18	0,22	0,15	0,15	0,21	0,17	0,12	0,17	0,13	0,31	0,29	0,17
a	27,5	10,6	9,1	12,9	12,4	12,8	10,8	10,7	11,1	11,6	10,1	11,3	11,6	6,9	7,9	6,1	7,1	9,2	9,6	8,1
c	0,3	5,7	7,0	4,1	4,5	4,3	5,8	6,1	6,4	6,3	6,9	6,6	5,0	7,3	8,4	9,0	8,7	6,1	6,0	5,4
b	5,3	11,7	11,7	6,2	8,3	7,0	14,5	16,7	12,0	13,4	13,4	10,0	9,6	27,7	24,9	29,9	27,0	26,8	26,6	30,3
s	66,9	72,0	72,2	76,8	74,8	75,9	68,9	66,5	10,5	68,7	69,6	72,1	73,8	58,1	55,8	55,0	57,2	57,9	57,8	56,2
n	72,2	71,1	64,6	58,5	66,7	68,8	71,8	71,4	75,3	69,5	76,4	77,5	68,7	82,4	80,4	79,4	80,4	75,8	75,4	71,2
f'	59,7	50,6	54,8	57,1	49,6	55,9	44,7	42,9	51,8	53,4	47,4	50,0	58,4	34,7	33,3	31,2	32,5	41,6	41,8	41,7
m'	10,4	41,7	42,8	38,5	39,7	34,3	42,8	43,3	40,6	38,1	42,7	43,0	37,4	51,3	46,9	51,4	48,8	39,8	39,4	37,9
c'	29,9	7,7	—	4,4	10,7	—	12,5	13,8	7,6	8,5	9,9	7,0	—	14,0	19,8	17,4	18,7	18,6	18,8	20,4
a'	—	—	2,4	—	—	9,8	—	—	—	—	—	—	4,4	—	—	—	—	—	—	—
n'	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение

	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
SiO_2	50,60	48,78	54,39	50,40	48,54	50,48	49,94	52,34	55,46	41,30	45,6	43,82	39,49	44,45	40,91	45,07	40,65	43,95	40,49	33,94
Al_2O_3	17,40	18,04	16,72	28,30	15,24	15,34	14,50	13,70	16,85	9,43	8,3	8,81	9,71	6,40	5,00	5,75	1,25	4,82	0,86	10,28
Fe_2O_3	4,57	1,16	2,49	1,06	3,06	3,84	3,74	5,05	2,13	5,30	2,3	3,08	4,53	2,91	4,64	3,43	2,53	2,20	2,84	4,59
FeO	6,29	8,94	7,15	1,12	8,88	7,78	8,01	8,78	4,86	8,86	10,2	8,01	7,74	7,89	7,97	9,53	6,15	6,34	5,54	11,12
MgO	4,89	8,07	4,15	1,25	8,08	5,79	6,93	4,72	6,31	19,94	21,7	15,50	14,85	25,05	30,82	22,88	42,36	36,81	46,32	20,45
CaO	8,09	8,92	6,68	12,46	9,38	8,94	9,71	8,03	7,86	8,01	7,5	13,50	14,17	8,52	4,41	7,48	1,29	3,57	0,70	5,35
Na_2O	3,23	2,56	3,15	3,67	2,69	3,07	2,65	2,60	3,30	1,20	1,3	1,51	2,31	0,92	0,58	1,14	0,29	0,63	0,10	0,48
K_2O	1,76	0,91	1,58	0,74	0,98	0,97	0,97	1,17	1,40	0,39	0,4	0,87	1,34	0,54	0,36	0,57	0,13	0,21	0,04	4,90
H_2O	1,83	0,69	1,85	0,75	1,35	1,89	1,28	1,56	0,58	4,27	0,6	1,17	1,99	1,83	4,56	3,10	5,02	1,08	2,88	2,96
TiO_2	0,68	1,48	1,29	0,15	1,31	1,45	1,57	1,82	0,88	0,81	1,7	3,32	3,23	1,21	0,65	0,64	0,11	0,10	0,02	4,95
P_2O_5	0,20	0,25	0,35	0,05	0,28	0,25	0,37	—	0,15	0,20	0,3	0,41	0,64	0,11	0,03	0,15	0,04	0,10	0,05	0,82
MnO	0,46	0,20	0,20	0,05	0,21	0,20	0,33	0,23	0,22	0,29	0,1	—	—	0,17	0,07	0,26	0,18	0,19	0,16	0,16
a	10,0	7,1	9,6	10,6	7,5	8,3	7,4	7,6	9,3	2,9	3,0	4,2	6,4	2,3	1,6	2,8	0,63	1,3	0,2	7,7
c	7,1	8,7	6,8	16,7	6,4	6,2	6,0	5,4	6,7	4,4	3,35	3,2	2,8	2,5	2,0	1,9	0,32	1,9	0,4	2,6
b	22,6	26,4	18,5	5,8	30,0	25,9	28,6	25,5	20,2	48,5	47,15	44,9	46,8	51,3	56,7	50,4	63,22	57,4	65,1	49,7
s	60,3	57,8	65,1	66,9	56,1	59,6	58,00	61,5	63,8	44,2	46,5	47,7	44,0	43,9	39,7	44,9	35,83	39,4	34,3	40,0
n	73,2	80,4	75,0	88,1	80,0	81,7	79,6	76,4	78,0	82,6	84,0	70,6	72,6	75,0	71,5	75,0	83,3	83,3	100,0	13,3
f'	47,8	37,7	51,3	41,1	37,4	42,5	38,6	50,8	32,7	25,2	21,6	20,5	21,9	16,8	17,3	20,9	10,0	11,15	9,0	27,5
m'	38,1	53,3	39,6	42,5	45,8	38,8	41,2	31,7	53,2	65,1	68,4	53,4	50,0	70,9	78,2	67,1	88,6	86,15	90,5	65,6
c'	14,1	9,0	9,1	16,4	16,8	18,7	20,2	17,5	14,1	9,7	10,0	26,1	28,1	12,3	4,5	12,0	1,4	2,7	0,5	6,9
a'	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
n'	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение

	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
SiO_2	34,73	42,80	52,33	54,63	46,93	42,25	41,25	41,70	42,81	45,52	45,61	46,79	48,64	49,20	44,38	44,84	49,86	48,66	49,14	44,64
Al_2O_3	2,88	10,55	3,54	2,39	6,37	16,26	12,03	14,50	18,95	16,08	14,35	17,77	17,96	16,65	15,46	14,04	14,42	12,36	16,57	15,35
Fe_2O_3	6,10	6,62	2,61	1,71	4,08	8,43	5,65	5,13	3,86	4,18	6,17	3,21	4,31	4,76	3,27	3,95	5,65	3,08	3,65	4,51
FeO	3,13	9,16	5,19	7,07	10,85	5,46	7,29	7,09	4,84	6,37	4,03	7,24	5,58	5,36	10,17	6,69	7,49	5,86	6,68	6,33
MgO	31,41	12,48	23,92	30,30	12,13	5,49	11,22	9,26	3,16	4,85	6,05	5,83	4,00	4,43	7,27	8,96	3,43	8,09	3,98	7,92
CaO	5,79	11,67	10,29	2,20	16,03	9,75	11,88	12,20	10,47	8,34	9,49	10,17	8,89	7,74	9,24	9,18	6,80	10,46	9,88	9,88
Na_2O	0,33	1,89	0,43	0,45	0,82	4,45	3,40	3,59	9,63	4,63	5,12	3,52	4,30	4,54	3,31	3,73	4,21	2,71	2,57	3,54
K_2O	1,17	1,00	0,35	0,11	0,49	1,92	1,30	1,18	2,26	2,09	3,69	1,89	2,28	3,19	0,90	1,76	1,67	5,15	3,39	2,67
H_2O	9,20	1,73	1,03	0,52	1,01	2,43	3,20	1,80	0,85	4,92	2,60	1,32	1,34	1,30	3,48	3,44	3,09	1,46	2,00	2,18
TiO_2	1,62	1,62	0,10	0,36	0,97	2,52	1,59	2,70	1,56	2,07	1,96	2,94	1,86	1,68	1,98	2,56	2,12	0,97	1,00	1,95
P_2O_5	3,04	0,24	0,06	0,12	0,12	1,04	0,65	0,85	1,42	0,68	0,74	0,32	0,65	0,60	0,28	0,70	0,87	1,07	0,84	0,57
MnO	—	0,24	0,15	0,14	0,20	—	0,54	—	0,19	0,27	0,19	—	0,19	0,55	0,26	0,15	0,39	0,13	0,30	0,46
a	2,2	5,4	1,1	0,85	2,2	13,0	9,1	9,6	24,3	13,9	16,3	10,6	13,1	14,8	8,8	10,7	12,1	12,8	11,0	11,7
c	0,6	4,0	1,4	0,85	2,8	4,8	3,2	4,8	0,4	4,4	1,3	6,2	5,9	3,9	6,3	4,0	3,9	1,6	6,1	4,4
b	60,8	43,3	48,5	48,8	46,1	30,1	41,0	36,4	25,6	25,4	29,6	26,3	22,0	23,15	31,2	32,3	23,5	31,8	23,7	31,5
s	36,4	47,3	49,0	49,5	48,9	52,1	46,7	49,2	49,7	56,3	52,8	56,9	59,0	58,15	53,7	53,0	60,5	53,8	59,4	52,4
n	27,8	73,8	70,0	87,5	72,2	78,2	79,7	81 7	86,6	77,3	67,8	73,7	74,2	68,2	84,1	76,0	79,1	44,9	53,2	66,3
f'	11,9	31,6	12,3	13,5	27,3	42,8	28,6	30,1	31,2	40,9	31,2	37,0	43,4	42,4	42,0	30,5	54,2	25,0	42,8	32,7
m'	78,7	46,5	69,2	82,9	40,4	32,2	45,0	42,7	20,9	34,2	34,4	38,6	32,2	33,1	40,9	47,2	25,9	41,5	30,0	42,9
c'	9,4	21,9	18,5	2,6	32,3	25,0	26,4	27,2	47,9	24,9	34,4	24,4	24,4	24,5	17,1	22,3	19,9	33,5	27,2	24,4
a'	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
n'	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение

	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
SiO_2	46,91	49,90	44,2	45,55	48,97	44,27	46,18	46,90	54,89	49,83	41,17	39,87	37,56	35,72	43,91	76,47	62,21	74,04	52,04	53,56
Al_2O_3	15,25	16,94	15,64	14,97	17,48	10,73	12,74	16,33	21,28	19,00	16,83	13,58	10,08	9,56	17,17	13,03	16,45	13,19	17,65	17,88
Fe_2O_3	7,70	3,02	4,35	4,77	3,61	3,63	5,27	4,22	3,04	3,17	7,61	6,71	6,82	5,41	4,15	1,04	2,53	1,35	4,66	4,51
FeO	4,06	7,15	6,14	6,64	3,43	5,87	5,06	4,14	1,49	3,59	6,64	6,43	5,94	6,55	5,12		2,89	1,01	2,75	3,05
MgO	2,95	4,22	8,89	6,41	5,43	13,05	8,36	5,03	0,66	1,79	3,72	10,46	15,32	15,46	3,33	0,06	3,32	0,32	3,33	3,62
CaO	9,36	10,04	9,74	10,16	7,77	11,46	8,16	9,72	2,31	5,69	10,12	12,36	13,82	14,20	8,83	0,45	4,96	1,19	5,11	6,45
Na_2O	4,25	2,24	4,03	2,76	2,50	1,07	2,36	2,75	5,62	7,19	6,45	3,85	3,11	3,35	6,17	3,53	3,88	3,88	4,10	3,41
K_2O	2,63	3,57	1,83	4,04	7,18	4,43	6,18	7,58	8,39	6,15	2,49	1,87	1,53	1,67	3,52	4,81	2,21	3,75	5,03	3,76
H_2O	2,51	1,74	2,67	1,61	2,04	3,23	2,60	1,50	2,31	1,93	2,42	2,22	2,52	2,67	4,25	0,52	0,80	1,02	3,74	2,32
TiO_2	1,81	0,16	1,64	2,33	0,81	1,37	2,13	1,22	—	0,71	1,35	1,50	2,66	4,78	2,74	0,07	0,60	0,18	0,76	0,82
P_2O_5	1,14	0,79	0,68	0,15	0,68	0,83	0,77	0,50	—	0,78	1,04	0,94	0,58	0,63	0,70	0,01	0,13	0,03	0,70	0,55
MnO	1,43	0,23	0,19	0,61	0,10	0,06	0,19	0,11	0,01	0,17	0,16	0,21	0,06	—	0,11	0,01	0,02	0,04	0,13	0,07
a	14,2	10,5	11,5	12,0	16,4	8,3	13,9	18,4	25,8	25,1	18,5	10,9	8,3	9,0	19,4	14,1	11,8	13,5	17,2	13,6
c	4,0	6,6	4,5	4,0	3,8	2,7	1,4	2,6	2,1	0,3	2,4	3,4	2,1	1,4	2,3	0,5	5,1	1,4	3,9	5,75
b	26,8	23,6	32,1	30,2	22,0	40,1	31,5	20,2	6,2	16,3	29,4	40,3	48,1	48,6	23,7	2,4	11,6	3,3	15,7	16,0
s	55,0	59,3	51,7	53,8	57,8	48,9	53,2	58,8	65,9	58,3	49,7	45,4	41,5	41,5	54,6	83,0	71,5	81,8	63,2	64,65
n	70,8	48,6	77,4	51,1	34,2	26,6	36,5	35,2	50,3	64,1	79,4	75,6	75,8	75,0	72,8	52,8	73,3	61,8	55,5	50,8
f'	47,9	42,2	30,3	36,2	30,1	20,8	29,4	40,1	68,6	39,3	42,4	29,0	22,1	20,5	37,4	35,1	42,6	60,0	44,9	44,2
m'	20,5	31,6	47,3	36,2	43,2	52,7	44,2	46,0	18,6	19,2	22,4	43,0	50,1	49,7	25,0	5,4	49,1	16,0	38,1	40,2
c'	31,6	26,2	22,4	27,6	26,7	26,5	26,4	13,9	12,8	41,5	35,2	28,0	27,8	29,8	37,6	59,5	8,3	—	17,0	15,6
a'	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24,0	—	—
n'	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—

Продолжение

	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135
SiO_2	50,11	47,45	75,00	73,32	70,91	61,32	62,16	55,02	53,52	49,45	50,79	52,62	40,70	45,17	32,31
Al_2O_3	13,04	11,43	13,14	12,36	11,50	18,43	17,58	20,42	14,57	14,41	15,26	14,86	16,02	14,78	9,50
Fe_2O_3	4,58	3,22	0,58	1,80	4,58	3,84	3,05	3,06	3,52	3,39	3,29	3,60	5,43	5,10	5,42
FeO	3,94	5,78	0,40	1,66	1,88	1,60	1,80	1,82	5,29	5,01	5,54	4,18	7,84	5,05	6,34
MgO	9,27	14,60	0,30	0,14	0,11	0,46	0,48	0,59	6,60	8,26	6,33	8,55	5,43	6,26	17,43
CaO	7,63	8,18	1,13	0,42	0,39	1,45	1,11	1,67	7,03	6,73	5,73	5,86	9,36	11,06	13,58
Na_2O	1,94	2,32	3,54	4,70	5,43	5,75	7,30	8,63	3,48	2,54	3,12	3,21	3,23	3,69	1,42
K_2O	4,15	2,99	4,80	4,71	4,08	4,94	4,95	5,38	2,28	4,69	2,79	2,83	1,76	2,73	2,70
H_2O	3,58	2,50	0,71	0,58	0,25	1,31	1,04	4,77	1,75	3,04	5,71	2,70	5,59	3,40	7,50
TiO_2	0,96	0,81	0,30	0,20	0,48	0,89	0,31	0,36	1,24	1,23	1,02	0,54	3,86	1,90	1,41
P_2O_5	0,69	0,60	0,03	0,03	—	—	0,04	0,06	0,34	1,12	0,35	0,21	0,62	0,51	2,38
MnO	0,11	0,12	0,07	0,08	0,39	0,01	0,18	0,22	0,38	0,13	0,07	0,84	0,16	0,35	0,01
a	10,15	8,8	14,3	15,9	14,6	20,0	23,0	27,5	10,8	12,5	11,4	11,1	10,5	12,3	7,0
c	3,5	2,8	1,3	0	0	1,8	0,2	0,3	4,25	3,4	5,0	4,3	6,4	3,9	2,7
b	29,1	37,5	1,5	4,2	8,9	6,9	6,4	7,5	23,75	26,6	22,2	25,1	29,3	30,1	53,1
s	57,25	50,9	82,9	79,9	76,5	71,3	70,4	64,7	61,2	57,5	61,4	59,5	53,8	53,7	37,2
n	41,3	53,6	52,8	—	—	64,1	69,4	70,9	70,0	45,1	62,5	63,4	73,2	67,4	44,2
f'	26,5	20,7	65,2	70,8	65,2	70,0	69,5	61,7	35,2	29,0	38,6	31,3	45,2	31,9	19,65
m'	53,8	61,9	34,8	6,1	2,2	12,0	12,6	14,0	46,9	53,0	50,8	57,9	34,3	35,8	54,9
c'	19,7	17,4	0	10,8	5,1	—	17,9	24,3	17,9	18,0	10,6	11,0	20,5	32,3	25,45
a'	—	—	—	—	—	18,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
n'	—	—	—	12,3	27,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Отношения $f' : m' : c'$ или $f' : m' : a'$ могут быть изображены при помощи тех же барицентрических координат точкой q или q' в прямоугольном треугольнике, как это показано на рис. 1-2. Так как параметры c' и a' взаимно исключают друг друга, то и те и другие случаи можно удобно изображать, как это показано на рис. 1-2. Точки в треугольнике можно заменить векторами с начальной точкой в f', как это показано на том же рисунке. В редких случаях, когда имеем отношение $f' : m' : c' : n'$, необходимо ввести добавочный вектор n', как это изображено на рисунке.

Отношение $n = Na_{Al} : (Na_{Al} + K_{Al})$ заменим отношением $Na_{Al} : K_{Al}$ и будем его изображать наклоном отрезка прямой, как это показано на рис. 1-3.

Теперь, исходя из цифр, сведенных в таблицах, построим диаграмму следующим образом:

1) По указанному выше способу представим отношения $a : c : b : s$ в виде пар точек, являющихся проекциями соответственной точки P в пространстве.

2) В точках-проекциях на плоскости ASB построим векторы, изображающие отношения $f' : m' : c'$, или $f' : m' : a'$, или $f' : m' : c' : n'$, как это было пояснено выше. При этом для удобства сторону треугольника проекции ($f'm'$ или $f'c'$, рис. 1-2) возьмем в 20 раз меньшей, чем ребро основного тетраэдра проекций (1-1).

3) Наклонные отрезки прямых, построенные по правилу рис. 1-3, проведем через точки-проекции на плоскость CSB.

После всех этих построений получим диаграмму, представленную на рис. 2, которая и будет геометрическим изображением искомой связи. Рассматривая эту диаграмму, мы видим, что действительно существует определенная корреляция между направлениями и длинами векторов, построенных нами на плоскости ASB, с одной стороны, и их положением на этой плоскости — с другой. Существует также корреляция между направлениями отрезков, проведенных нами через точки проекций на плоскости CSB, и положением этих точек.

Эти особенности диаграммы выражают важные свойства химического состава. Первая из них показывает, что фемические составные части породы относительно богаты железом в кислых породах, магнезией в породах, богатых фемическими элементами, и известью — в щелочных.

Как известно, это отражается и в минералогическом составе изверженных пород. Диаграмма дает наглядное количественное выражение этой основной особенности химического состава.

Менее резко выступает корреляция между $a : c : b : s$ и n. Заметно лишь обогащение калием кислых пород и существование двух рядов, натриевого и калиевого, в породах щелочных, особенно меланократовых.

Summary

Every chemical analysis of a rock determines the proportions of different oxides in the composition of this rock and is its mathematical expression.

In order to compare the chemical analyses of different rocks and to find the correlations between the ratios of the different components, new ratios are to be calculated from the proportions of oxides by weight given in an analysis. These new ratios are therefore functions of direct results of analysis.

Petrochemical character of an igneous rock may be expressed by means of the following rows of ratios.

I $(Na_{Al} + K_{Al}) : Ca_{Al} : (Fe + Mg + Ca' + Al' + Na') : (Si + Ti)$

II $Fe : Mg : Ca' : Al' : Na'$

III $Na_{Al} : (Na_{Al} + K_{Al})$

In these expressions Na_{Al}, K_{Al}, Ca_{Al} are the highest possible numbers of the atoms of Na, K, Ca resp., in the composition of the salic aluminosilicates; Ca', Al', Na' are the numbers of the atoms of Ca, Al, Na which cannot be in the composition of these aluminosilicates.

Usually $Al' = Na' = 0$, in some cases $Al' > 0$ and $Ca' = 0$; then we have chemical analyses supersaturated with alumina. In other, more rare cases $Na' > 0$ and $Al' = 0$; then we have chemical compositions supersaturated with alkalies.

The above given rows of ratios we shall write as follows:

I $a : c : b : s$

II $f' : m' : c'$, or $f' : m' : a'$, or $f' : m' : c' : n'$

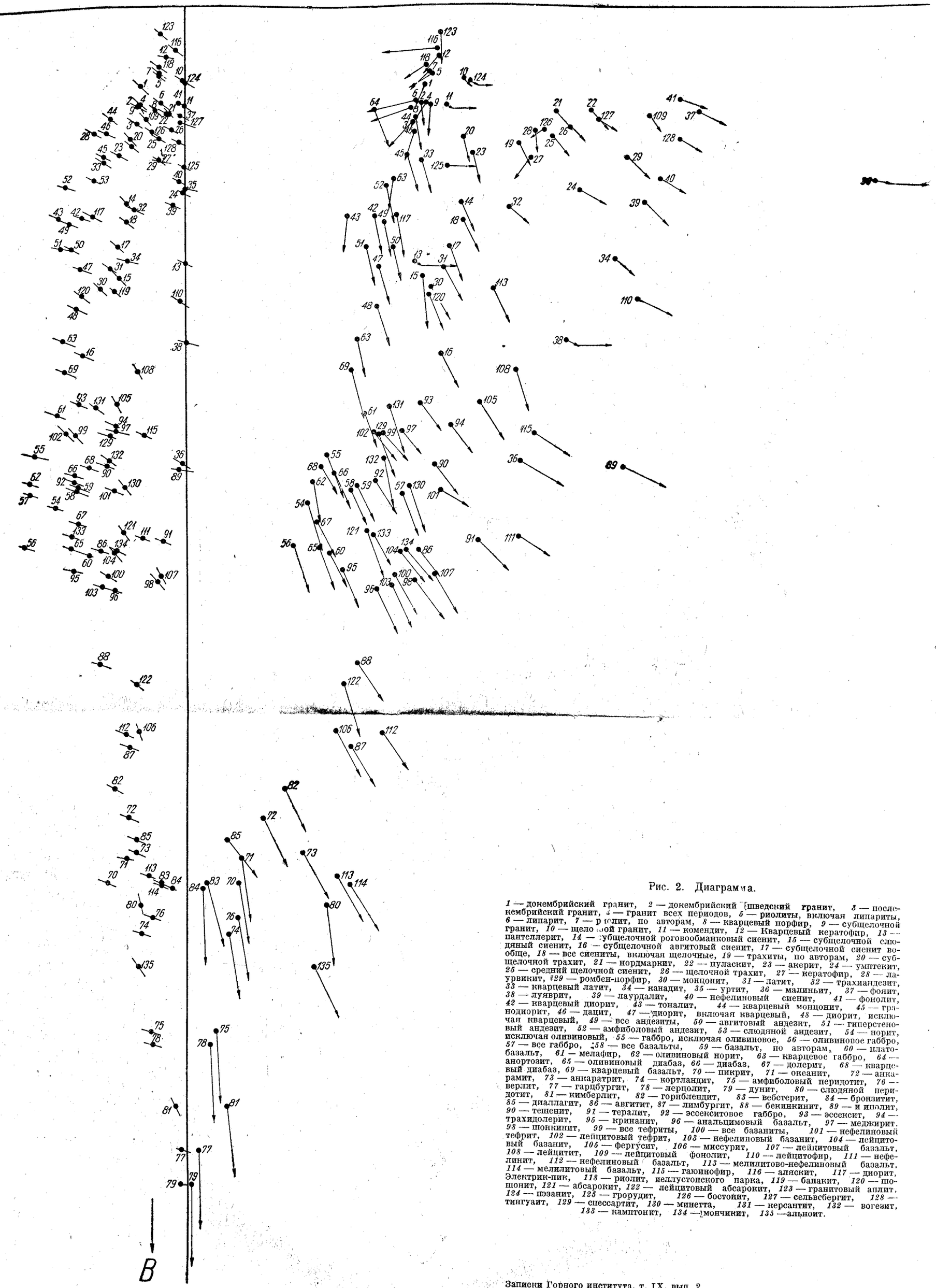


Рис. 2. Диаграмма.

1 — докембрийский гранит, *2* — докембрийский (шведский гранит, *3* — послекембрийский гранит, *4* — гранит всех периодов, *5* — риолиты, включая липариты, *6* — липарит, *7* — риолит, по авторам, *8* — кварцевый порфир, *9* — субщелочной гранит, *10* — щелочной гранит, *11* — комендит, *12* — Кварцевый кератофир, *13* — пантеллерит, *14* — субщелочной роговообманковый сиенит, *15* — субщелочной слюдяный сиенит, *16* — субщелочной авгитовый сиенит, *17* — субщелочной сиенит вообще, *18* — все сиениты, включая щелочные, *19* — трахиты, по авторам, *20* — субщелочной трахит, *21* — нордмаркит, *22* — пуласкит, *23* — акерит, *24* — умптекит, *25* — средний щелочной сиенит, *26* — щелочной трахит, *27* — кератофир, *28* — лаурвикит, *29* — ромбен-порфир, *30* — монцонит, *31* — латит, *32* — трахиандезит, *33* — кварцевый латит, *34* — канадит, *35* — уртит, *36* — малиньит, *37* — фоянит, *38* — луяврит, *39* — лаурдалит, *40* — нефелиновый сиенит, *41* — фонолит, *42* — кварцевый диорит, *43* — тоналит, *44* — кварцевый монцонит, *45* — гранодиорит, *46* — дацит, *47* — диорит, включая кварцевый, *48* — диорит, исключая кварцевый, *49* — все андезиты, *50* — авгитовый андезит, *51* — гиперстеновый андезит, *52* — амфиболовый андезит, *53* — слюдяной андезит, *54* — норит, исключая оливиновый, *55* — габбро, исключая оливиновое, *56* — оливиновое габбро, *57* — все габбро, *58* — все базальты, *59* — базальт, по авторам, *60* — плато-базальт, *61* — мелафир, *62* — оливиновый норит, *63* — кварцевое габбро, *64* — анортозит, *65* — оливиновый диабаз, *66* — диабаз, *67* — долерит, *68* — кварцевый диабаз, *69* — кварцевый базальт, *70* — пикрит, *71* — океанит, *72* — анкарамит, *73* — анкаратрит, *74* — кортландит, *75* — амфиболовый перидотит, *76* — верлит, *77* — гарцбургит, *78* — лерцолит, *79* — дунит, *80* — слюдяной перидотит, *81* — кимберлит, *82* — горнблендит, *83* — вебстерит, *84* — бронзитит, *85* — диаллагит, *86* — авгитит, *87* — лимбургит, *88* — бекинкинит, *89* — и ийолит, *90* — тешенит, *91* — тералит, *92* — эссекситовое габбро, *93* — эссексит, *94* — трахидолерит, *95* — кринанит, *96* — анальцимовый базальт, *97* — меджирит, *98* — шонкинит, *99* — все тефриты, *100* — все базаниты, *101* — нефелиновый тефрит, *102* — лейцитовый тефрит, *103* — нефелиновый базанит, *104* — лейцитовый базанит, *105* — фергусит, *106* — миссурит, *107* — лейцитовый базальт, *108* — лейцитит, *109* — лейцитовый фонолит, *110* — лейцитофир, *111* — нефелинит, *112* — нефелиновый базальт, *113* — мелилитово-нефелиновый базальт, *114* — мелилитовый базальт, *115* — гаюинофир, *116* — аляскит, *117* — диорит, Электрик-пик, *118* — риолит, иеллустонского парка, *119* — банакит, *120* — шошонит, *121* — абсарокит, *122* — лейцитовый абсарокит, *123* — гранитовый аплит, *124* — пэзанит, *125* — гроруд ит, *126* — бостонит, *127* — сельвсбергит, *128* — тингуаит, *129* — спессартит, *130* — минетта, *131* — керсантит, *132* — вогезит, *133* — камптонит, *134* — мончинит, *135* — альноит.

The correlation between the rows of the ratios I and II may be revealed by a suitable method of graphical representation.

The ratios I can be represented by a center of gravity of masses a, c, b, s concentrated at the corners of a rectangular tetrahedron SACB, as it is shown in fig. 1—1. This point can be given by its projections p and p′ on the planes SAB and CAB. The ratios II can be represented by the vector $f'q$ or $f'q'$ as in fig. 1—2 the end q (or q') of this vector being the center of gravity of masses f', m' and c' (or f', m', a') concentrated at the corresponding vertici of the triangle (f′ m′ c′ or f′m′a′).

Let us combine these two graphs and plot vectors f′q at the projections p of a point ($a : c : b : s$) on the plane ASB; the scale of the length of vector is to be 1 : 20 of that of the triangle ASB.

Now we obtain the diagram fig. 2 where the average analyses plotted are those computed by Daly and published in his Igneous Rocks and the Depths of the Earth.

The diagram clearly discloses the correlation sought for the lengths and the directions of the strokes depending evidently on their positions on the diagram.

It shows an important correlation between the characters of the salic and the femic components of an igneous rock.