

ПЕТРОГРАФИЯ

М. П. ВОЛАРОВИЧ И Л. И. КОРЧЕМКИН

СВЯЗЬ МЕЖДУ ВЯЗКОСТЬЮ РАСПЛАВЛЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД И КОЭФФИЦИЕНТОМ КИСЛОТНОСТИ ПО Ф. Ю. ЛЕВИНСОН-ЛЕССИНГУ

(Представлено академиком Ф. Ю. Левинсон-Лессингом 22 X 1937)

В одной из предыдущих работ авторы показали ⁽¹⁾, что вязкость расплавленных лав с вулкана Алагез (из коллекции П. И. Лебедева) определенным образом связана с их коэффициентами кислотности по Ф. Ю. Левинсон-Лессингу. Далее было показано ⁽²⁾, что для 18 образцов изверженных горных пород, из которых три базальта взяты из работы японского автора К. Кани ⁽³⁾, точки на диаграмме, связывающей логарифм вязкости ($\log \eta$) и коэффициент кислотности α , укладываются с достаточным приближением на одной плавной кривой. При этом значения α варьируют от 1.5 до 4.5, а вязкость изменяется от 50 до 10^7 пуазов.

В настоящее время нам удалось распространить эту зависимость на материал из 33 образцов горных пород, вязкость которых измерена различными исследователями. Следует отметить, что все авторы при измерении вязкости пользовались методом вращающегося цилиндра.

В таблице указано происхождение горных пород, приведены их химические анализы, значение α и $\log \eta$ при $t = 1400^\circ$. В этой же таблице приведены данные для некоторых минералов и синтетических расплавов.

Если зависимость $\log \eta - \alpha$ для серии пород одного магматического очага достаточно хорошо укладывается на одну плавную кривую ⁽¹⁾, то в случае пород разных петрографических провинций, как видно из диаграммы (фигура), точки оказываются несколько разбросанными; однако они все же определенно группируются в виде более или менее широкой полосы около кривой, проведенной на фигуре сплошной линией*.

Кривая эта удовлетворяет следующему приближенному уравнению:

$$\log \eta_{1400} = -\frac{c}{\alpha + b} + d,$$

где $c = 23.3$ и $b = 1.1$ представляют собой эмпирические константы. Постоянная d определена из условия $\alpha = \infty$. Так как можно считать, что для кварцевого стекла $\alpha = \infty$, то $d = \log \eta_{1400}$ для кварцевого стекла, т. е. $d = 10.5$ (см. таблицу, № 23). Таким образом кривая асимптотически приближается к значению $d = 10.5$. Пунктиром выделена область, внутри которой заключаются вязкость почти всех приведенных нами образцов горных пород. Таким образом вязкость породы при 1400° для каждого данного значения α можно вычислять приближенно по формуле:

$$\log \eta_{1400} = -\frac{23.3}{\alpha + 1.1} + 10.5 + n,$$

где $n = \pm 0.5$ есть расстояние пунктирных линий от кривой, расположенной между ними.

К. Кани и К. Говокава пытались установить связь между вязкостью расплавов горных пород и содержанием SiO_2 . Однако мы убедились, что

* Эта кривая несколько отличается от той, которая приведена нами на XVII Международном геологическом конгрессе ⁽⁹⁾.

п/п №	Наименование пород	α	$\log \eta$ при 1400°	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	H ₂ O ₍₊₎	H ₂ O ₍₋₎	
1	Базальт из Закавказья, Ереван, от А. А. Янушкевича	1.47	1.75	49.03	1.02	17.72	5.68	4.39	3.78	8.68	2.54	7.46	0.17	0.15		SO ₃ —0.89 П. п. п.—0.75
2	Тепциг Курсеби от А. А. Янушкевича	1.75	2.94	50.58	0.66	18.89	4.52	6.41	1.80	7.76	2.29	0.79	0.24	—		P ₂ O ₅ —0.29 SO ₃ —1.19 П. п. п.—3.43
3	Андезит с Казбека от А. А. Янушкевича	2.53	3.08	63.76	0.44	17.81	5.53	0.59	3.72	5.05	0.67	0.66	0.09	—		SO ₃ —1.56
4	Диабаз № 1 из Шелики, плавильный на Моск. диабазовом заводе	1.52	1.79	48.44	0.96	12.86	7.31	10.62	6.12	9.18	4.18	0.66	0.08	—		—
5	Базальт оливковый, Ключевский вулкан, поток Киргурича	1.71	2.1	52.40	0.79	15.28	2.14	6.36	8.87	9.45	2.89	0.34	0.14	0.11		П. п. п.—1.74
6	Обсидиан из окрестностей Еревана у Сухого Фонтана	4.38	5.24	73.79	0.16	13.77	0.40	0.78	0.08	1.06	4.14	5.13	0.08	0.08		П. п. п.—0.33
7	Стекло из трахита, плавильное с добавками, от И. И. Китайгородского	3.93	2.58	62.8	0.03	12.69	0.80	—	—	15.56	5.67	3.32	—	—		—
8	Диорит из Красноуральска от В. В. Аршинова	1.8	2.85	53.83	0.58	18.13	3.58	5.21	3.87	8.68	2.73	1.49	0.29	1.67		P ₂ O ₅ —0.05
9	Лава с Везувия (1)	1.50	2.4	47.79	1.02	17.72	5.68	4.39	3.78	8.68	2.54	7.46	0.17	0.15		—

Породы, изученные М. П. Волгаровичем с сотрудиниками

10	Базальт с Алагева от П. И. Лебедева	1.61	2.556	50.92	1.60	17.81	3.96	5.12	6.10	8.43	3.55	1.88	0.11	0.49	0.19	—
11	Андезит-базальт с Алагева от П. И. Лебедева	1.88	3.297	55.15	0.88	17.22	1.64	4.85	6.09	7.91	3.56	1.74	0.12	0.94	—	—
12	Андезит с Алагева от П. И. Лебедева	2.33	3.895	59.44	0.91	16.02	1.68	4.96	3.47	5.66	4.08	2.28	0.09	0.72	0.65	—
13	Дацил с Алагева от П. И. Лебедева	2.72	4.182	63.85	0.87	16.58	3.24	4.65	4.52	3.16	4.35	4.29	0.08	0.46	0.13	—
14	Щелочной дацит с Алагева от П. И. Лебедева	3.26	4.312	66.30	1.09	11.88	2.83	4.20	4.10	2.70	6.19	3.73	0.14	—	—	P ₂ O ₅ —0.23 П. п. п.—1.10
15	Диабаз № 101 онежский из Шелики	1.81	1.900	51.63	1.98	12.96	4.01	11.97	4.56	8.54	2.75	1.34	0.22	—	—	SO ₃ —0.19
16	Диабаз № 103 из Шелики, плавленный на Моск. диабазовом заводе	1.73	1.900	50.88	1.99	11.94	7.54	10.03	5.40	3.67	2.54	1.29	0.21	—	—	—
17	Уртит с Кольского пол-ва из Мончегундры от О. А. Воробьевой	1.04	3.5	43.68	0.19	28.23	2.70	0.28	0.18	2.80	15.10	3.34	0.07	—	—	Cl—0.07 P ₂ O ₅ —1.78 S—0.06 F—0.04 П. п. п.—0.79
18	Эгириновая порода от О. А. Воробьевой	—	2.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	Шлак синтетический М. П. Воляровича и Л. Зверева	1.11	1.3	40.98	—	15.00	—	0.48	—	43.86	—	—	—	—	—	—
20	Шлак № 1276/2 (4)	1.92	0.6	47.89	—	5.43	—	21.02	0.47	1.59	4.58	0.58	18.16	—	—	—
21	Стекло М. Воляровича и Д. Толстого (4)	6.2	2.6	73.5	0.06	0.6	0.16	—	1.38	4.3	14.0	3.5	—	—	—	SO ₃ —0.5

п/п №	Наименование породы	α	$\log \eta$ при 1400°	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	H ₂ O ₍₊₎	H ₂ O ₍₋₎
22	Стекло от И. И. Килтайгородского	6.89	2.5	73.42	—	0.86	0.31	—	0.14	4.99	10.48	5.88	—	—	PbO—4.22
23	Кварцевое стекло	—	10.5	99.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Породы, изученные К. Кани (5)

24	Базальт оливинный Гембудо	1.54	2.14	49.29	2.22	18.49	2.38	6.77	6.09	8.14	3.93	1.79	0.22	0.88	
25	Базальт оливинный Конура	1.66	2.08	49.24	1.33	16.81	6.16	3.60	8.02	9.49	2.67	1.09	0.17	1.50	P ₂ O ₅ —0.43
26	Андезит-базальт Мотомура	1.73	2.13	51.80	0.60	15.0	3.68	10.14	5.36	9.77	1.76	0.22	0.20	0.62	P ₂ O ₅ —0.31
27	Базальт нефелиновый Нагахана	1.05	1.91	35.86	3.74	11.97	5.19	9.69	8.35	14.39	3.65	1.89	0.30	1.04	P ₂ O ₅ —1.37
28	Андезит авгитовый Миакошима	1.89	2.25	53.27	1.87	14.38	5.41	8.65	1.61	10.97	1.93	0.90	0.35	0.16	P ₂ O ₅ —0.12
29	Двупроксенный андезит Авама-нама	2.22	3.0	59.90	0.05	15.99	2.86	4.77	4.68	6.08	3.39	1.28	0.89	0.58	—
30	Двупроксенный андезит Тарума	2.07	3.0	57.4	0.65	16.84	3.68	5.96	3.28	6.60	2.88	1.21	1.08	0.36	S—0.02
31	Двупроксенный андезит Комагадане	2.44	3.2	61.41	0.46	15.42	2.64	4.93	2.34	6.70	4.72	1.10	—	0.52	0.02
32	Двупроксенный андезит Сакурашима	2.39	3.45	60.80	0.87	16.04	2.89	4.63	3.50	4.74	3.74	1.75	0.33	0.74	

33	Роговообманково-слюдчатый андезит Унаан	2.88	4.2	65.15	0.05	14.25	3.27	2.50	2.36	4.60	3.80	2.52	0.56	0.90	—
34	Пехштейн Арита	4.59	6.65	70.26	—	12.25	0.27	0.86	0.32	0.97	4.24	3.60	0.03	5.44	P ₂ O ₅ —0.17
35	Гранит роговообманковый Сумиоши	4.56	6.3	75.23	0.15	13.69	0.50	1.03	0.49	1.32	3.25	3.19	0.09	0.96	P ₂ O ₅ —0.21 ZrO ₂ —0.03
36	Пемза (лапарит) Нийима	4.32	6.65	75.90	—	15.41	0.36	0.22	0.21	0.84	4.44	2.88	—	0.08	—
37	Обсидиан Оки	3.78	6.0	71.97	0.04	14.72	1.08	1.38	0.35	1.36	3.74	5.69	0.06	0.33	P ₂ O ₅ —0.12
38	Ортоглас синтетический	3	7.009	64.72	—	18.35	—	—	—	—	—	16.93	—	—	—
39	Альбит синтетический	3	5.250	68.68	—	19.48	—	—	—	—	11.84	—	—	—	—
40	Диопсид синтетический	2	1.903 1.415*	55.58	—	—	—	—	18.58	25.84	—	—	—	—	—

Породы, изученные А. С. Гинзбергом (7)

41	Диабаз онежский	1.70	1.22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
42	Трапп тулунский	1.56	1.23	47.04	1.85	15.48	2.84	10.12	6.24	8.61	2.45	0.63	—	—	П. п. п.—0.4

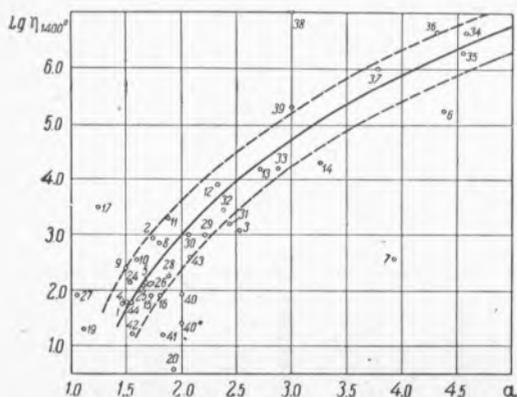
Породы, изученные Г. М. Жуковским (8)

43	Диабаз онежский	2.07	2.6	56.47	0.93	16.02	5.22	5.83	3.30	5.96	2.84	2.35	—	—	SO ₃ —0.64 Mn ₂ O ₄ —0.22 П. п. п.—0.11
44	Базальт закавказский из Еревана	1.55	1.78	49.38	1.33	15.55	4.74	7.54	6.59	10.19	3.83	—	—	—	SO ₃ —0.18 Mn ₂ O ₄ —0.08 П. п. п.—0.18

* Число 1.415 для диопсида взято по данным Мак Кэфри (6).

на граф. $\log \eta - \text{SiO}_2$ точки разбросаны значительно больше, чем на граф. $\log \eta - \alpha$. Это и понятно: хотя большая вязкость расплавов обусловлена в первую очередь содержанием кремнекислоты, но коэффициент кислотности α больше отражает химизм породы, чем одно количество в ней SiO_2 .

Интересно, что Л. В. Зверев и Кауфман (10) при нанесении на график зависимости вязкости от содержания SiO_2 для ряда сварочных шлаков получили в общем плавную кривую. Следует отметить, что по замечанию авторов содержание главных окислов, входящих в состав их шлаков (кроме SiO_2), колеблется в определенных пределах, а шлаки, содержащие Cr_2O_3 , не укладываются на полученную кривую.



Значительные отклонения от изотермы вязкости получались у нас для нефелинового базальта К. Кани № 27, а также для диабазы № 41, измеренного А. С. Гинзбергом и Ф. Г. Семеновым. Данные для вязкости образца № 41 представляются несколько преуменьшенными. Так же цифру вязкости для измеренного нами обсидиана № 6 нельзя считать точной в виду больших затруднений при измерении такой огромной вязкости в нашем приборе.

С другой стороны, при попытке нанести на эту диаграмму данные для мономинеральных пород и синтетических силикатных расплавов (шлаков, стекол, горных пород с добавками)—все они оказались явно за пределами области, ограниченной пунктиром. Если шлаки № 19 и № 20 отклоняются не слишком далеко, так же как альбит № 39 и диопсид № 40 по данным К. Кани, то ортоклаз № 38, трахит № 7, плавленный с добавками, мономинеральная порода уртит (от О. А. Воробьевой) расположились на значительном расстоянии, а стекла № 21 и № 22 даже не уложились в пределах нашей диаграммы.

Как видно из фигуры, вариации вязкости для пород с одинаковым значением α довольно велики (надо иметь в виду, что по оси ординат отложен логарифм вязкости), что обязано изменениям соотношений других окислов кроме SiO_2 , входящих в породы с одинаковым коэффициентом кислотности α ; таким образом приведенная нами изотерма вязкости для расплавов полиминеральных изверженных горных пород, изображенная графически в виде более или менее широкой ограниченной полосы, иллюстрирует собой также известный факт, согласно которому вариации окислов в таких породах ограничены определенными пределами.

Петрографический институт
им. акад. Ф. Ю. Левинсон-Лессинга.
Академия Наук СССР.

Поступило
22 X 1937.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. П. Воларович, Д. М. Толстой и Л. И. Корчемкин, ДАН, I, № 8 321 (1936). ² М. П. Воларович, Труды 2-го Сопещения по экспер. минер. и петрогр., стр. 109 (1937). ³ К. Кани, Proc. Imp. Akad. Tokyo, 10, 79 (1934). ⁴ М. П. Воларович и Д. М. Толстой, ЖФХ, 7, 496 (1936). ⁵ К. Кани и К. Носокэва, Res. of Electrotechn. Laboratory, № 391, Tokyo (1936) (на японском языке). ⁶ Mc. Caffery a. collaborators, Techn. Publ. Am. Inst. Min. a. Metall. Eng., № 383 (1931). ⁷ А. С. Гинзберг и Ф. Г. Семенов, Минер. сырье, № 3, 19 (1936). ⁸ Г. М. Жуковский, М. Г. Черняк и Э. З. Житомирская, Керамика и стекло, № 1, 22 (1936). ⁹ М. П. Воларович, Доклад на XVII Межд. геолог. конгр. в июле 1937 г. ¹⁰ Л. В. Зверев и Д. Л. Кауфман, Металлург, № 5, 76 (1937).