

GENS-US 69-0227

Д О К Л А Д Ы

АКАДЕМИИ НАУК СССР

1969

т. 186, № 3

FEB 11 1970

Genshaft, U.S.

ния никеля и кобальта (рис. 2) значительно уменьшается количество меди (рис. 1).

Таким образом, при эволюции расплава *in situ* уже на магматической стадии возможно значительное концентрирование халькофильных элементов в нижних горизонтах пластовых интрузий, особенно существенное при их повышенном содержании в исходном расплаве, достаточно большой активности серы и условиях глубокой дифференциации. Более поздние процессы лишь усложняют картину первично-магматического распределения элементов либо за счет вторичного плавления пород контактовых зон массивов⁽¹³⁾, либо за счет аутометасоматических и гидротермально-метаморфических изменений пород. Однако более поздние и наложившиеся процессы не являются главной причиной формирования медно-никелевых месторождений.

Институт геохимии
Сибирского отделения Академии наук СССР

Поступило
8 VII 1968

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. Н. Годлевский, Траппы и рудоносные интрузии Норильского района, М., 1959. ² А. М. Виленский, Петрология интрузивных траппов севера Сибирской платформы, «Наука», 1967. ³ Г. В. Нестеренко, Н. П. Смирнова, В сборн. Геохимия редких элементов в изверженных горных породах, «Наука», 1964. ⁴ Г. В. Нестеренко, Н. С. Авилова, Н. П. Смирнова, Геохимия, № 4 (1964). ⁵ А. П. Виноградов, Геохимия, № 7 (1962). ⁶ А. И. Альмухамедов, Ю. Н. Корнаков и др., В сборн. Магматические и метаморфические образования Сибири, М., 1966. ⁷ Н. П. Смирнова, А. И. Альмухамедов, Геохимия, № 12 (1967). ⁸ Н. П. Смирнова, Г. В. Нестеренко, А. И. Альмухамедов, Геохимия, № 4 (1968). ⁹ А. И. Архипова, Н. Г. Начинкин, Тр. Н.-и. инст. геол. Арктики, 133, в. 1 (1963). ¹⁰ В. Л. Масайтис, Тр. Всесоюз. н.-и. геол. инст., нов. сер., в. 22 (1958). ¹¹ Г. Д. Феоктистов, Тр. Вост.-сиб. геол. инст., в. 7 (1961). ¹² Г. Б. Роговер, Месторождение Норильск I, М., 1959. ¹³ В. В. Золотухин, Ю. П. Васильев, Особенности формирования некоторых трапповых интрузий северо-запада Сибирской платформы, «Наука», 1967.

Ю. С. ГЕНШАФТ, А. Я. САЛТЫКОВСКИЙ, Ю. М. ШЕЙНМАНН, Ю. Н. РЯБИНИИ

**ПЛАВЛЕНИЕ ПОРОД ИЗВЕСТКОВО-ЩЕЛОЧНОЙ СЕРИИ
ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ И ТЕМПЕРАТУРАХ
ПРИ $P_{H_2O} < P_{нагр}$ (ПИКРИТ, ОЛИВИНОВЫЙ БАЗАЛЬТ,
ТОЛЕИТ И АНДЕЗИТО-БАЗАЛЬТ)**

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 20 I 1969)

В последние годы появилось большое число экспериментальных работ, посвященных проблемам магмообразования. Среди них, пожалуй, наибольший интерес представляют работы А. Рингвуда и др. (1), которые исследовали вопрос о возникновении различных магматических пород (в том числе и пород известково-щелочного ряда). Особый интерес к этой проблеме вызван тем, что разновидности магматических пород этой серии исключительно широко распространены на поверхности Земли. Т. Грин и А. Рингвуд (2) пришли к выводу, что в сухих условиях ($P_{H_2O} = 0$) по мере возрастания давления наиболее легкоплавкие составы смещаются от кислых к андезитовым. Отсюда они заключают, что частичное плавление кварцевого эклогита (аналог кварцевого толеита на больших глубинах) должно в конце концов приводить к возникновению магм по составу не кислее андезитовых. Эти же исследователи показали, что в присутствии некоторого количества воды вполне вероятно выплавление и более кислых дериватов за счет сужения поля кристаллизации кварца (2, 3).

Таблица 1

Составы исходных пород

Окисел	Базальтовый андезит		Толейт			Оливиновый базальт		Пикрит	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	57,80	56,4	51,15	52,9	52,16	48,88	47,05	43,68	45,51
TiO ₂	1,30	1,4	1,60	1,5	1,86	0,28	2,31	1,39	1,93
Al ₂ O ₃	16,92	16,6	13,92	16,9	14,60	13,65	14,17	9,58	12,44
Fe ₂ O ₃	2,54	3,0	2,57	0,3	2,46	1,84	0,42	2,53	0,92
FeO	4,00	5,7	8,83	7,9	8,39	10,60	10,64	14,14	8,67
MnO	0,08	0,1	0,25	0,2	0,14	0,22	0,16	0,29	0,35
MgO	2,83	4,3	5,48	7,0	7,36	9,90	12,73	17,94	18,79
CaO	5,88	8,5	11,75	10,0	9,44	11,35	9,87	7,30	9,67
Na ₂ O	3,72	3,0	2,72	2,7	2,68	1,80	2,21	1,50	1,64
K ₂ O	2,58	1,0	0,70	0,6	0,73	0,39	0,74	0,42	0,08
H ₂ O ⁻	0,30	—	0,42	—	—	0,10	—	0,29	—
H ₂ O ⁺	1,66	—	0,52	—	—	0,8	—	0,42	—
Сумма	99,01	100,0	99,41	100,0	100,0	100,79	100,00	99,48	100,00

Примечание. 1 — вулкан Годореби, Южная Грузия (коллекция Е. К. Устиева); 2, 4, 5, 7, 9 — из (1); 3, 6, 8 — правобережье р. Енисей, Курейский район (коллекция Л. И. Кравцовой).

В отличие от Т. Грина и А. Рингвуда, работавших с искусственно приготовленными составами, помещавшимися в запаянных ампулах, мы частично повторили эти эксперименты, но с естественными образцами горных пород. В опытах образцы не были закупорены в ампулы, и таким образом содержание летучих в веществе могло изменяться. Определялось количество воды, содержавшееся в закаленных расплавах — стеклах; по

этим данным оценивали P_{H_2O} . Опыты проводились при давлениях 5 и 25 кбар. Аппаратура и методика эксперимента были описаны ранее (4). По полученным результатам были построены графики (рис. 1).

Анализ графиков показывает, что в наших опытах линии ликвидуса и солидуса для всех рассмотренных пород смещены в область более низких температур, чем в опытах Т. Грина и А. Рингвуда. По-видимому, это объясняется главным образом наличием в наших образцах некоторого количества воды. Почти для всех пород оценка среднего содержания воды в области ликвидуса дает около 2%. Только для пикрита эта величина снижается до 1% и ниже. Такое содержание воды соответствует случаю, когда $P_{H_2O} < P_{нагр}$. Тем не менее видно заметное расширение поля частичного плавления пород, особенно при 25 кбар, по-видимому в основном за счет понижения температур солидуса.

Сопоставлять полученные нами данные с результатами австралийских исследователей следует с некоторой осторожностью, в основном по двум причинам. Во-первых, наблюдается различие в составах исследованных пород, особенно по толеиту, с резко отличающимся содержанием Al_2O_3 . Данные по оливиновому базальту и пикриту мы заимствовали из других работ (1). Во-вторых, данные А. Рингвуда и др. (1) по положению линий солидуса и ликвидуса, особенно при малых давлениях, недостаточно точны, что, впрочем, не отрицают и сами авторы. Так, ненадежны данные по пикриту при 5 кбар. Видимо, этим и можно объяснить не совсем четкое совпадение положения линий солидуса для пикрита при давлении 5 кбар.

Изучение характера минералообразования в исследованных породах в наших опытах и опытах Рингвуда и др. показывает, что в присутствии воды в количестве до 2% процесс кристаллизации соответствует в общем кристаллизации смеси в «сухих» условиях. Наблюдаемые же различия можно, очевидно, объяснить неодинаковым химическим составом исходных образцов (табл. 1). К примеру, полученные нами данные для андезита оказываются промежуточными между данными для андезито-базальта и андезита у Т. Грина и А. Рингвуда (2), что в общем соответствует химическим составам всех трех рассматриваемых образцов.

Результаты опытов позволяют наметить некоторые особенности кристаллизации для всей серии известково-щелочных пород (табл. 2). При давлении 5 кбар эти особенности состоят в следующем: 1) во всех опытах кристаллизуется моноклинный пироксен и плагиоклаз; 2) поле кристаллизации ромбического пироксена узко и несколько расширяется в сторону пикрита; 3) по мере возрастания основности пород расширяется поле кристаллизующегося оливина и увеличивается его количество; одновременно сужается поле кристаллизации плагиоклаза, а количество его уменьшается.

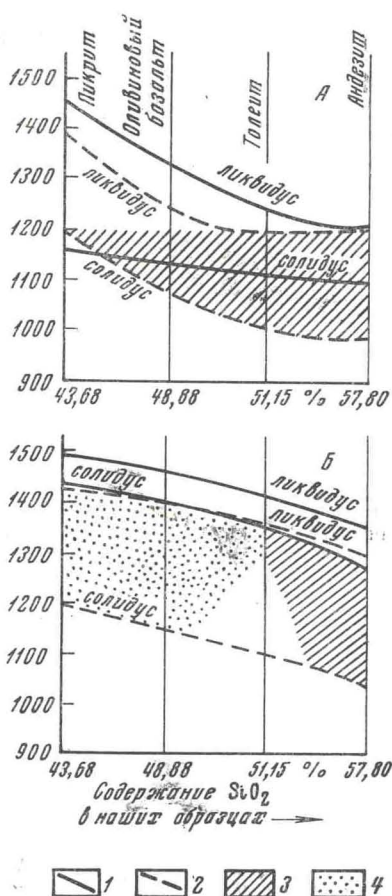


Рис. 1. Кристаллизация пород известково-щелочной серии при высоких температурах и давлениях 5 (А) и 25 (Б) кбар. 1 — кривые ликвидуса и солидуса по данным (1, 2), 2 — то же по нашим данным, 3 — поле кристаллизации плагиоклаза, 4 — поле кристаллизации оливина

При давлении 25 кбар основными моментами кристаллизации являются: 1) кристаллизация моноклинного пироксена и граната; 2) ромбический пироксен кристаллизуется главным образом в очень узкой зоне в породах, по составу близких к пикриту; 3) резко сокращается поле плагиоклаза в более основных по составу разновидностях серии; 4) поле кристаллизации оливина сужается в сторону пород, обогащенных кремнеземом, — толеитов.

При давлениях 5 и 25 кбар ни в одном из изученных нами составов кристаллизация кварца не наблюдалась. В ранее проведенных опытах с щелочным базальтом (4) в аналогичных условиях отмечалось более интенсивное поглощение воды силикатным расплавом (содержание ее в стекле

Таблица 2

Состав минеральных фаз, кристаллизовавшихся во время опытов при давлениях 5 и 25 кбар и высоких температурах

Порода	5 кбар		25 кбар	
	наши данные	данные (1)	наши данные	данные (1)
Андезит	МП + Пл (возможно РП)	МП + Пл [Пл + МП + РП]	МП + Гр + + Пл + РП	Гр + МП [Гр + МП + Пл + Кв]
Толейт	МП + Пл + + О ± РП	МП + Пл + Кв (?) при 1400°	МП + Пл + + Гр + О	МП + Гр, Пл исчезает в интервале от 20 до 25 кбар
Оливиновый базальт	О + МП + Пл	О + МП + РП РП выпадает (в узкой температурной зоне) при 9 кбар	О + Гр + МП + РП(?)	Гр + МП + РП (мало)
Пикрит	О + МП + + РП + + Пл (?)	О + МП + Пл	Гр + МП + + О + РП(?)	Гр + О (низк. темп) + + МП + РП (выс. темп.), РП исчезает от 20 до 23 кбар

Примечание. МП — моноклинный пироксен, РП — ромбический пироксен, Пл — плагиоклаз, О — минерал группы оливина, Гр — гранат, Кв — кварц. Порядок, в котором перечислены минералы в таблице, соответствует последовательности выпадения их из расплава. В квадратные скобки заключены ассоциации минералов, полученные в (1) для составов и *PT*-условий, несколько отличающихся от наших.

до 4 вес. %) и кристаллизация в низкотемпературной области — амфибола. В описываемых исследованиях кристаллизации последнего не происходило. Этот результат подтверждает вывод А. Рингвуда и др. о поведении воды относительно расплавов различного состава (1), а именно, что водусодержащие фазы возникают при $P_{H_2O} < P_{нагр}$ преимущественно в недосыщенных кремнеземом составах. Может быть, увеличение содержания воды связано с повышением щелочности пород. С этой точки зрения интерес представляют эксперименты по растворимости воды в основных и ультраосновных расплавах различной щелочности.

Поскольку в статье Т. Грина и А. Рингвуда (2) речь идет не о фракционировании в сторону андезита, а о прямом выплавлении андезитовых магм, этот процесс должен определяться только соотношением между расплавом и кристаллическими фазами и составом самих этих фаз.

Т. Грином и А. Рингвудом, к сожалению, не было сделано определений составов гранатов и пироксенов в пределах всего поля их выпадения. Между тем, имеются данные по эволюции составов этих фаз с изменением температуры и давления. Кроме того, кристаллизация кварца в кварцевом толейте при высоком давлении наблюдалась авторами только в области субсолидуса, а не в зоне частичного расплавления толейта. Поэтому нам кажется необоснованным вывод о том, что при плавлении менее 50% вещества кварцевого толейта в отсадку должен уходить кварц. Следует отметить, что данные по ликвидусам (а тем более по солидусам) в области высоких давлений для кислых разновидностей серии недостаточно убедительны, так как часто построены только по 1 точке.

Кроме того, решение андезитовой проблемы, предложенное Т. Грином и А. Рингвудом, наталкивается на большие трудности при объясне-

нии нахождения на значительных глубинах, в пределах верхов мантии, больших масс вещества базальтового состава, а в геосинклинальных областях — скопления плотных кристаллических образований (результат отсадки граната и пироксенов). Нам представляется более убедительной гипотеза непрерывного фракционирования: выплавка больших масс базальта из глиноземистого ультраосновного вещества мантии при интенсивном его разогреве в присутствии небольшого количества летучей фазы (~2 вес. %), а затем частичная кристаллизация на глубине, ведущая к образованию андезитовых магм с большим содержанием летучей фазы.

Дальнейшая кристаллизация расплава в условиях нарушения равновесия с ранее закристаллизовавшимися минералами может, вероятно, привести к образованию более кислых дериватов.

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта
Академии наук СССР

Поступило
11 I 1969

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ D. H. Green, A. E. Ringwood et al., Petrology of the Upper Mantle. Department of Geophysics and Geochemistry, Australian National University, Publ. № 444, 1966. ² T. H. Green, A. E. Ringwood, Earth Planet. Sci. Letters, **1**, 307 (1966). ³ T. H. Green, A. E. Ringwood, Earth Planet. Sci. Letters, **3**, 481 (1967). ⁴ Ю. С. Геншафт, В. В. Наседкин и др., Изв. АН СССР, сер. геол., № 6, 48 (1967).