

В. С. САМОЙЛОВ, И. П. МИЛЮТИНА

**ТЕМПЕРАТУРНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРОД
СТАДИИ КИСЛОТНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ В КАРБОНАТИВНЫХ
КОМПЛЕКСАХ КАК ВОЗМОЖНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ГЛУБИНЫ
ИХ ОБРАЗОВАНИЯ**

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 3 VI 1974)

В карбонатитовых комплексах самого разного возраста и структурно-генетической позиции устанавливается единая направленность эволюции во времени состава карбонатитов и генетически связанных с ними пород. По мере понижения температуры (T) кальцитовые карбонатиты сменяются доломито-кальцитовыми, доломитовыми и анкеритовыми карбонатитами, в том числе содержащими флюорит, барит, кварц. Гидротермально-метасоматический этап становления комплексных массивов заканчивается развитием наиболее низкотемпературных пород цеолитовой фации — кальцитовых, цеолито-кальцитовых, цеолитовых и др. Все это свидетельствует о проявлении волнообразного изменения кислотности — щелочности карбонатитообразующих растворов во времени, по мере падения T : сначала эти растворы раскисляются, а затем, в низкотемпературной области, подщелачиваются (³).

С поздним карбонатитообразованием сопряжено формирование флюоритовых, баритовых, карбонатно-кварцевых и существенно кварцевых пород. Все эти относительно низкотемпературные породы серицит-хлорито-анкеритовой температурной фации образуются в стадии кислотного выщелачивания (по Д. С. Коржинскому). Широко развитые в рассматриваемых комплексах анкеритовые карбонатиты с серицитом, хлоритом, пиритом, кварцем качественно тождественны березитам, которые, по данным Б. И. Омеляненко (²), образуются в кислотной или слабокислотной обстановке. Видимо, в еще более кислотных условиях происходит образование карбонатно-кварцевых и существенно кварцевых пород, характерных для многих малоглубинных комплексов. Эти породы развиваются в условиях максимальной кислотности воздействующих растворов, т. е. в условиях, отвечающих максимуму кислотного выщелачивания.

Ранее было показано (¹), что возрастание давления (p) должно вызывать смещение экстремума кислотности воздействующих растворов в область меньших значений T , по сравнению со стандартными условиями давления ($p=1$ атм). Одновременно в зависимости от задаваемых значений p этот максимум будет смещаться в область больших или меньших значений кислотности (μ_{H^+}). Связало это с тем, что при изменении p и, вероятно, глубины (h_p) может проявиться «бароволна щелочности» гидротермальных растворов: при постоянной T с увеличением p щелочность растворов сначала возрастает, а затем падает, главным образом в абиссальной зоне. Выше последней в гипабиссальной, приповерхностной и частично в мезоабиссальной зонах между μ_{H^+} и p (h_p) существуют обратные связи.

Карбонатиты формируются на разных глубинах, относятся к следующим фациям глубинности: вулканической ($h_p=0-0,5$ км), субвулканической (0,5—1,5 км), малоглубинной (1,5—4 км) и глубинной (>4 км). Максимальные глубины соответствуют средней части мезоабиссальной зоны.

Поэтому при понижении глубины в карбонатитовых массивах возможно проявление следующих тенденций: 1) в целом все большее развитие будут получать породы, образовавшиеся в стадию кислотного выщелачивания, — доломитовые, анкеритовые карбонатиты, кварцсодержащие карбонатиты, карбонатно-кварцевые и существенно кварцевые породы; 2) расширится температурный диапазон формирования пород стадии кислотного выщелачивания, причем наиболее кислотные образования (кварцсодержащие породы) будут характеризоваться все большими значениями температуры.

Первый эффект несомненно имеет место при карбонатитообразовании. В комплексах глубинной фации поздние карбонатиты подчищены ранним, высокотемпературным кальцитовым карбонатитом, кварцсодержащие породы здесь достаточно редки, а кварц играет в них, скорее, роль аксессуарного минерала. В малоглубинной фации породы стадии кислотного выщелачивания получают более широкое развитие, нередко преобладают над кальцитовыми карбонатитами (например, Санланлатва, Шава, Фен, Лесная Варака). В ряде комплексов отмечается силификация карбонатитов, кварц-карбонатные и существенно кварцевые породы (массивы Гулинский, Вуориярви, Шава и др.). В приповерхностной (субвулканической) фации процессы стадии кислотного выщелачивания проявлены интенсивно. Выражается это как в больших масштабах относительно низкотемпературного карбонатитообразования, так и в силификации карбонатитов, формировании карбонатно-кварцевых, кварцевых, флюоритовых пород. Преобладание доломитовых и анкеритовых карбонатитов над кальцитовыми установлено в 80% комплексов фации, а силификация карбонатитов — в 50% случаев. Масштабы площадной силификации бывают значительными (например, комплексы Канганкунде, Начомба, Мвамбута).

Что касается второго эффекта, то здесь была необходима постановка специальных исследований по термометрии пород. В качестве объекта исследований были выбраны породы ряда массивов, становление которых проходило на неодинаковой глубине, в условиях разных фаций глубинности (h_p). Комплексы глубинной фации представлены Алданским, Большесаянским и Малосаянским массивами, комплексы малоглубинной фации — массивами Ковдорским, Вуориярви, Лесная Варака, Гулинским, Турьего полуострова. В силу объективных причин не удалось провести изучение пород субвулканической фации.

В качестве реперных были выбраны комплексы Алданский, Малосаянский, Ковдорский, Гулинский. Алданский массив, видимо, является одним из наиболее глубинных ($h_p \approx 7-8$ км). Малосаянский массив приурочен к самым верхам глубинной фации ($\approx 4,5$ км), Ковдорский массив — к средней части малоглубинной фации, а Гулинский — к верхней части этой же фации. Подобный выбор комплексов позволяет провести термометрическое изучение пород, формировавшихся в широком интервале значений h_p — порядка 6 км.

В массивах глубинной фации в стадию кислотного выщелачивания образуются доломитовые, анкеритовые, кварцсодержащие анкеритовые карбонатиты. В массивах малоглубинной фации наряду с этими породами получают развитие флюоритсодержащие, карбонатно-кварцевые и существенно кварцевые породы. Последние наиболее широко проявлены в Гулинском массиве, где слагают тела площадью до 90×125 м².

Термометрия минералов из пород стадии кислотного выщелачивания проводилась по включениям минералобразующих растворов, главным образом методом гомогенизации. Изучавшиеся фазы — карбонаты, апатит, кварц, а также флюорит (комплекс Турьего полуострова). Фазовый состав первичных включений, относительно однообразен. В основном это газожидкие включения, содержащие не более 10—15% газовой фазы. Отмечается присутствие битуминозной фазы, изредка наблюдаются трехфазные твердо-газово-жидкие включения, содержащие не более 5% твердой фазы (апатита). Форма включений обычно округлая, овальная, реже — пепра-

Температуры гомогенизации включений в минералах из пород стадии кислотного выщелачивания

Комплекс	Порода ¹	Минерал ²	n	T, °C	Т-диапазон формирования пород, °C		T _э , °C ³
					породы стадии кислотн. выщелач.	кварцосодержащие породы	
Алданский	I	Ап	7	230—260	210—265	220—230	225
		К	11	220—265			
	II	Ап	9	210—260			
		К	6	215—255			
	III	Ап	5	225—230			
Кв		6	220—230				
Малосаянский	I	Ап	8	285—330	230—330	240—280	260
		К	6	305—330			
	II	Ап	11	230—290			
		К	7	245—280			
	III	Ап	8	240—265			
Кв		13	240—280				
Ковдорский	I	Ап	9	255—375	240—375	255—330	290
		К	12	240—370			
	III	Ап	4	270—325			
		Кв	5	260—330			
	IV	К	4	275—315			
Кв		3	265—300				
Гулинский	I	Ап	12	255—310	275—430	275—370	320
		К	10	360—420			
	III	Ап	6	380—430			
		К	6	335—360			
	V	К	5	320—350			
Кв		7	310—370				
		Кв	8	275—360			

¹ I — доломитовый карбонатит, II — анкеритовый карбонатит, III — анкеритовый карбонатит с кварцем, IV — кварц-карбонатная порода, V — кварцевая порода, ² Ап — апатит, К — карбонат, Кв — кварц. ³ Средняя температура формирования кварцосодержащих пород.

вильная. Во всех случаях гомогенизация происходила в жидкую фазу, что, видимо, может свидетельствовать о гидротермальном генезисе изучавшихся пород. Результаты термометрических исследований минералов из пород реперных массивов приведены в табл. 1. Данные этой таблицы свидетельствуют о следующем.

1. При уменьшении глубины формирования массива расширяется температурный диапазон образования пород стадии кислотного выщелачивания. В случае Алданского массива $\Delta T = 55^\circ$, Малосаянского 100° , Ковдорского 135° , Гулинского 155° , т. е. ΔT возрастает почти в 3 раза. Расширение это распространяется в основном в высокотемпературную область. Для той же последовательности массивов устанавливаются максимальные T карбонатитообразования соответственно 265, 330, 375 и 430: $\Delta T = 165^\circ$ при $\Delta h_T \approx 6$ км или $\Delta T \approx 25$ град/км.

2. При переходе от глубинных комплексов к малоглубинным заметно расширяется и температурный диапазон формирования кварцосодержащих пород. В случае Алданского массива $\Delta T = 10^\circ$, Малосаянского 40° , Ковдорского 75° , Гулинского 95° , т. е. при переходе от низов глубинной фации к верхам малоглубинной фации ΔT возрастает почти в 10 раз. Как и в предыдущем случае, отмеченное расширение происходит в высокотемпературную область. Максимальные T образования кварцосодержащих пород соответственно составляет 230, 280, 330 и 370° : $\Delta T \approx 25$ град/км.

Приведенные данные указывают и на смещение максимума кислотности при понижении h_p в область больших значений T . В самом деле, сред-

няя температура образования кварцсодержащих пород Алданского массива равна 225° , Малосаянского 260° , Ковдорского 290° , Гелпского 320° ($\Delta T = 95^{\circ}$, или приблизительно 15 град/км).

Для проверки полученных закономерностей была проведена термометрия поздних карбонатитов и кварцсодержащих пород Большесаянского массива (глубинная фация) и комплексов Вуориярви, Лесная Варака, Озерная Варака, Турьего полуострова (малоглубинная фация)*. Породы стадии кислотного выщелачивания в Большесаянском массиве образуются при $T=220-300^{\circ}$ ($\Delta T=80^{\circ}$), в комплексе Вуориярви — $225-345^{\circ}$ ($\Delta T=120^{\circ}$), Лесная Варака $235-360^{\circ}$ ($\Delta T=125^{\circ}$), Турьего полуострова $260-430^{\circ}$ ($\Delta T=170^{\circ}$). Кварцсодержащие породы в Большесаянском массиве формируются при $T=225-250^{\circ}$ ($\Delta T=25^{\circ}$), в комплексе Вуориярви — при $T=245-345^{\circ}$ ($\Delta T=70^{\circ}$), Лесная Варака $240-345^{\circ}$ ($\Delta T=75^{\circ}$), Озерная Варака $265-350^{\circ}$ ($\Delta T=85^{\circ}$), Турьего полуострова $275-385^{\circ}$ ($\Delta T=110^{\circ}$). Приведенные данные удовлетворительно согласуются с данными по регерным массивам (см. табл. 1) и геологическими данными. Массивы глубинной фации достаточно четко отличаются по термометрии от массивов малоглубинной фации. Кроме того, в пределах фаций, по этим же данным, закономерно отличаются комплексы, формировавшиеся в условиях разных субфаций глубинности.

Таким образом, условия глубинности несомненно оказывают влияние на характер проявления температурной «волны кислотности», в частности на температурные условия формирования пород стадии кислотности выщелачивания в карбонатитовых комплексах. Это позволяет наметить разделение массивов разных фаций глубинности по температурным условиям образования поздних карбонатитов и кварцсодержащих пород (в согласии с геологическими данными). В глубинной фации породы стадии кислотного выщелачивания формируются при $T=210-330^{\circ}$, а кварцсодержащие породы — при $T=220-280^{\circ}$ ($T_s=225-260^{\circ}$). Малоглубинная фация определяется соответственно значениями $T=225-430$ и $240-385^{\circ}$ ($T_s=280-330^{\circ}$). В еще более высокотемпературных условиях (до 500°) могут развиваться доломитовые и анкеритовые карбонатиты субвулканических комплексов (1).

Установленные взаимосвязи, очевидно, можно использовать и для определения относительной глубины становления массивов, относящихся к одной фации глубинности. Так, в малоглубинной фации наименее глубокие комплексы (Гулинский и Турьего полуострова), по данным термометрии, заметно отличаются от расположенного в средней части фации Ковдорского массива, а последний — от более глубоких комплексов Вуориярви и Лесная Варака. Аналогичная картина фиксируется и при сравнении массивов глубинной фации.

Институт геохимии
Сибирского отделения Академии наук СССР
Иркутск

Поступило
30 V 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Д. К. Бейли, В кн.: Карбонатиты, М., 1969. ² Б. И. Омеляненко, В кн.: Метасоматизм и другие вопросы физико-химической петрологии, «Наука», 1968. ³ В. С. Самойлов, В кн.: Метасоматизм и рудообразование, Л., 1972. ⁴ В. С. Самойлов, В кн.: Ежегодник-1971 СибГЕОХИ, «Наука», 1972.

* По геологическим данным, Большесаянский массив приурочен к средней части глубинной фации, комплексы Вуориярви и Лесная Варака — к низам малоглубинной фации, комплекс Озерная Варака — к средней части малоглубинной фации, комплекс Турьего полуострова — к верхней части малоглубинной фации.