

А. А. ШТЕРНБЕРГ, Т. Н. ИВАНОВА, В. А. КУЗНЕЦОВ

СПОДУМЕН — МИНЕРАЛ-ПРОФУНДОМЕТР

(Представлено академиком А. В. Беловым 14 XII 1970)

Накопленные экспериментальные данные позволяют достаточно близко охарактеризовать температуры всех процессов минералообразования. Известен их относительный (стратиграфический) и абсолютный возраст. Вместе с тем, вопрос о глубинах образования месторождений обсуждается только с общегеологических позиций и остается открытым для большинства эндогенных формирований.

В отличие от температур, которые на одной и той же глубине существенно различаются, региональное давление пропорционально толще выходящих пород, а абсолютное значение его на глубине даже в зонах тектонических сжатий или растяжений может лишь незначительно отличаться от расчетной величины. Поэтому следует ожидать, что целенаправленный поиск минералов, образование которых возможно только при наличии достаточно высокого давления, позволит получить «реперные точки», определяющие минимальные глубины эндогенных процессов.

Согласно полученным экспериментальным данным, одним из таких минералов — измерителей глубин — профундометром можно считать сподумен. Образование его строго приурочено к пегматитам, реже к гнейсам, иногда аплитам, последней фазе кристаллизации гранитов, т. е. к формированиям, для которых следует ожидать пониженных по сравнению с магматическим очагом температур и высоких давлений. Неоднократные попытки синтезировать сподумен при давлениях до 4 кбар, имитирующих глубины до 15 км, не увенчались успехом ⁽¹⁾. Более того, проведенные нами ранее исследования ^(2, 3) показали, что природный сподумен различных месторождений в водных средах любого состава при давлениях до 3 кбар и температурах выше 500° неустойчив и, разлагаясь, переходит в минералы меньшей плотности с алюминием в четверной координации (алюмосиликаты) — эвкрипитит, петалит и не встреченный в природе β-сподумен. Было установлено, что процесс разложения сподумена медленнее протекает в кислых средах, неблагоприятных для перехода алюминия из катионной в анионную часть молекул. В то же время в присутствии ионов железа при разложении природного сподумена помимо названных минералов возникает сподумен с Al^{3+} , замещенным ионами Fe^{3+} , Cr^{3+} , меньший радиус которых «упрочняет» структуру сподумена при низких давлениях.

Успешный синтез чистого сподумена из расплава был осуществлен лишь при минимальном давлении 9 кбар и температуре 900° ⁽⁴⁾. По наклону кривой равновесия с эвкрипититовым твердым раствором, экстраполируя полученные данные в область низких давлений, автор приходит к выводу о том, что сподумен при температурах 400—500° можно синтезировать без давления. Вывод этой экстраполяции противоречит ранее полученным экспериментальным данным, изложенным выше.

В настоящем сообщении приводятся результаты экспериментов, уточняющих область устойчивости сподумена по давлению в интервале вероятных температур его образования 600—800°. Для этой цели была применена автоклавная установка ТМ ⁽⁵⁾, позволяющая вести опыты при давлениях до 12 кбар и температурах до 1000° (рис. 1). Трехслойный корпус уста-

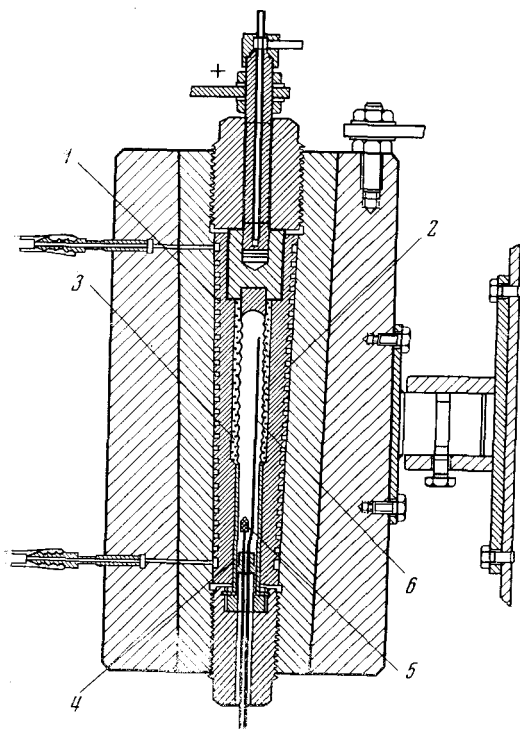


Рис. 1. Схема автоклава ТМ, работающего при давлениях 12 кбар и температурах до 1000°. ¹/₆ нат. вел. Описание в тексте

новки имеет заглубленное охлаждение проточной водой (1). Внутренний трубчатый гофрированный нагреватель из нержавеющей стали (2) в верхней части теплоэлектроизолирован от стенок корпуса плотной кальцитовый набивкой (3). Нижняя холодная часть камеры высокого давления закрывается обтюратором (4) с резиновым уплотнением. Сквозь обтюратор введен манганиновый манометр (5) и в горячую воду — термopара (6). Диаметр камеры высокого давления 16 мм, высота ее горячей зоны 60—80 мм.

Опыты проводили в медных и платиновых герметичных ампулах. С целью повышения достоверности результатов в ампулы одновременно помещали обломки кристаллов природного сподумена и шихту «оптимального» состава, которая состояла из окислов кремния, алюминия и растворов хлористого лития.

При температурах 800—900° фазообразование в ампулах заканчивалось в течение 30 мин. При температуре 500—600° продолжительность опытов доходила до 3 суток.

Многочисленные и хорошо воспроизводимые результаты опытов показали, что при 900° минимальное давление, обеспечивающее устойчивость

Таблица 1

Химический состав искусственного и природного сподумена

Оксид	Искусственный			Природный (Восточная Сибирь)			Теоретический состав, вес. %
	вес. %	ат. колич.	пересчет на сумму катионов	вес. %	ат. колич.	пересчет на сумму катионов	
SiO ₂	63,80	1062	1,969	63,36	1055	1,977	64,5
Al ₂ O ₃	27,84	546	1,012	27,98	549	1,027	27,4
CaO	—	—	—	0,20	4	0,007	—
MgO	—	—	—	0,13	4	0,007	—
Na ₂ O	0,03	1,4	0,002	0,14	5	0,009	—
K ₂ O	0,02	0,4	0,001	0,18	3	0,006	—
Li ₂ O	8,15	546	1,012	7,68	497	0,931	8,1
H ₂ O ⁺	He обл.	—	—	0,39	42	0,024	—
H ₂ O ⁻	» »	—	—	0,17	—	—	—
Сумма	99,94	2157,8	—	100,87	2141	—	100
Аналитик В. А. Молева, Г. Е. Каминчук*				Г. Н. Иванова			

* Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР.

природных кристаллов, их регенерацию, а также синтез сподумена из пихты, соответствует 8 кбар. При более низких давлениях происходил синтез алюмосиликатов лития и разложение природного сподумена. При 600° необходимое давление снижается до 5,7 кбар. В области более низких температур осуществить синтез сподумена не удалось.

В описанных условиях сподумен образуется в виде хорошо ограниченных бесцветных кристаллов размером до 2 мм (рис. 2).

Химический состав сподумена близок к теоретическому и мало отличается от наиболее чистых образцов природного сподумена, которые часто несут следы калиево-натриевого метасоматоза (табл. 1).

Близки, практически совпадают и физические свойства синтезированного и природного сподумена (табл. 2). Несколько меньшая твердость последнего, видимо, обусловлена наличием воды и микровключений.

Проведенные исследования позволяют на *РТ*-диаграмме (рис. 3) провести границу, правее которой идет синтез сподумена и устойчив природный сподумен, а левее, природные кристаллы разлагаются и синтез осуществить нельзя.

Экстраполяция полученной кривой в область низких температур говорит о том, что и на дневной поверхности сподумен стабилен при значительных давлениях — порядка 1—2 кбар.

Сказанное справедливо лишь для мало загрязненного, чистого сподумена. Вместе с тем известно, что наиболее светлые безжелезистые кристаллы его образуются в последней фазе формирования литиевых пегматитов, — это и позволяет распространить экспериментально полученные данные на природный процесс минералообразования.

Температура образования сподумена не ниже 550—600°, минимальное давление 5,7 кбар. Такое давление можно ожидать на глубине около 20 км. Ее и следует признать минимальной для формирования содержащих сподумен



Рис. 2. Кристаллы сподумена. Парастание прозрачных вершин на затравку природного сподумена. 10×

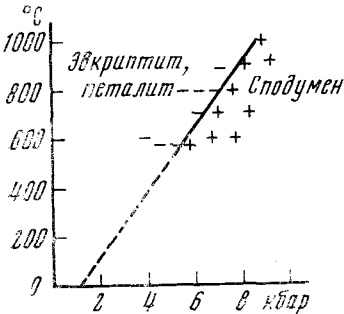


Рис. 3. Область устойчивости сподумена (по экспериментальным данным)

Таблица 2

Физические свойства искусственного и природного сподумена*

Константы	Светопреломление				Оптическая ориентировка		Уд. вес (d), г/см³		Твердость	
	n_g	n_p	n_m	$n_g - n_p$	+2V, град.	CN, град.	измер.	вычисл.	микротв., кг/см²	по шкале Мооса
Искусственный	1,674	1,661	1,666	0,013	63	26,5	3,15	3,165	1178	7,4
Природный	1,678	1,660	1,668	0,018	60—63	25,0	3,16	3,164	1026	7,1

* Оптические свойства, измеренные на приборе ПИМ-1 и на федоровском столике, даны для желтого света. Микротвердость определялась на приборе ПМТ-3 на полированной поверхности параллельно (100) искусственного аншлафа, удельный вес — методом гидростатического взвешивания.

пород, и в частности альбит-сподуменовых пегматитов, вместо глубины 4—6 км, как это принято считать в настоящее время (⁶).

Институт кристаллографии
Академии наук СССР
Москва

Поступило
17 XI 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ У. А. Дир, Р. А. Хаун, Д. Зусман, Породообразующие минералы, 1962.
² А. А. Штернберг, Экзоклав на 700°С и 3000 атм. Гидротермальный синтез кристаллов, «Наука», 1968. ³ В. А. Кузнецов, А. А. Штернберг, Т. К. Иванова, Сборн. Исследование процессов кристаллизации в гидротермальных условиях, «Наука», 1970. ⁴ J. L. Munoz, Annual Report of the Director Geophysical Laboratory, Carnegie Inst., 1966—1967. ⁵ А. А. Штернберг, Е. М. Сабуренков, Авт. свид. № 280449, 1968, Бюлл. изобр. № 28 (1970). ⁶ А. Н. Гинзбург, Тр. Минералогич. музея АН СССР, 9, 19 (1959).