

низких давлений становятся точными. Следовательно, можно предположить, что и в области высоких давлений указанное расхождение в значительной мере вызвано неточностью данных работы [3]. В пользу этого вывода говорит также тот факт, что если расчетные данные этой работы по остаточной температуре T^* принять за экспериментальные и с их помощью по формуле (7) рассчитать температуру ударного сжатия, то полученная таким путем кривая значительно приблизится к соответствующей сплошной кривой на рис. 2.

С учетом сказанного можно утверждать, что предлагаемый в настоящей работе метод оценки температур T^* и T является вполне удовлетворительным.

В заключение заметим, что выведенные в настоящей работе формулы можно использовать также для расчета температуры ударного сжатия по экспериментально измеренной зависимости остаточной температуры от амплитуды ударного фронта. Наконец, если экспериментально определить точную формулу кривых разгрузки и, следовательно, эффективные давления \bar{p} , температуры T^* и T по тем же формулам можно рассчитать точно.

Автор выражает благодарность А. Н. Дремину и В. Е. Фортову за обсуждение и полезные советы.

Поступила в редакцию
26/III, 1973

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Б. Зельдович, Ю. П., Райзер. Физика ударных волн. М., «Наука», 1966.
2. А. Н. Афанасенков, В. М. Богомолов, И. М. Воскобойников. В сб. «Взрывное дело», № 68/25. М., «Недра», 1970.
3. R. McQuin, S. Marsh. J. Appl. Phys., 1960, 31, 7, 1253.
4. Физико-химические свойства элементов. Под ред. Г. В. Самсонова. «Наукова Думка», 1965.
5. Taylor. J. Appl. Phys., 1963, 34, 9, 2727.

To Dr. John Francis Cannon
with best regards.

Sincerely yours,

УДК 539.411

G. P. Vdovukin

ПРЕВРАЩЕНИЕ МЕТЕОРИТНОГО ВЕЩЕСТВА В ЭКСПЕРИМЕНТАХ

ПО УДАРНОМУ СЖАТИЮ

ПРИ ДАВЛЕНИЯХ 500 И 1000 КБАР, СОЗДАВАЕМЫХ ВЗРЫВОМ

G. P. Vdovukin

Г. П. Вдовыкин, А. Н. Дремин, С. В. Першин,

И. Д. Шевалеевский

(Москва)

Экспериментальное исследование превращения вещества при сверхвысоких динамических давлениях имеет важное значение в ряде научных аспектов, в частности при изучении явлений перекристаллизации вещества в процессе прохождения сильных ударных волн, например, при соударении крупных космических тел, движущихся со сверхвысокими космическими скоростями. Соударение таких тел, как хорошо известно, аналогично взрыву [1], при котором происходят кинетические физико-химические реакции, приводящие к изменению химического и

Thank you for your kindly letter
from June 30, 1971.

минерального состава. Один из таких аспектов, имеющих важное значение в космохимии углерода,— кристаллизация алмазов в метеоритах при сверхвысоких динамических давлениях.

Алмазы известны в каменных метеоритах — уреилитах и в железном метеорите Canyon Diablo. В уреилитах алмазы находятся в виде сростков микрокристаллов (< 1 мк) алмаза с графитом (размеры таких сростков до 1 мм), распределенных среди зерен силикатов. Подробное исследование алмазов и содержащих их уреилитов сравнительно с другими метеоритами показало, что уреилиты имеют ряд общих особенностей строения с редкой группой каменных метеоритов — углистыми хондритами. Результаты сравнительных исследований углистых хондритов и уреилитов, вместе с теоретическим рассмотрением возможных физико-химических переходов фаз, показывают, что уреилиты образовались в результате ударной перекристаллизации в космическом пространстве, вероятнее всего, из вещества углистых хондритов при воздействии сверхвысоких динамических давлений ($300 \div 600$ кбар). При этом из углеродистого вещества углистых хондритов могли кристаллизоваться алмазы уреилитов [2, 3].

Особенности ударной перекристаллизации железного метеорита Canyon Diablo показывают, что этот гигантский кратерообразующий алмазодержащий метеорит при взрыве во время удара о Землю претерпел давление ≈ 1000 кбар. Алмазодержащие сростки, размеры которых достигают $2 \div 5$ мм, образовались при взрыве, вероятнее всего, из графита [4].

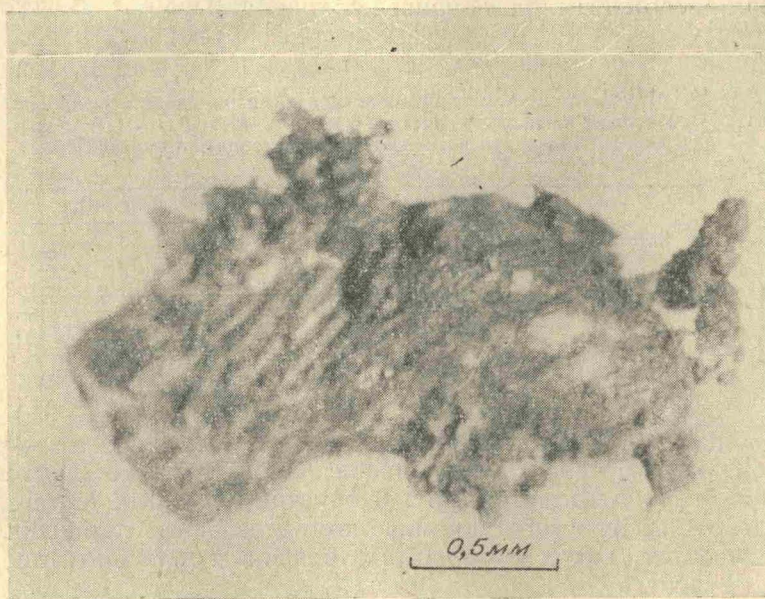
Хотя известен ряд работ по превращению вещества природных образцов, включая метеориты, при воздействии динамических давлений, а также работы по экспериментальному синтезу алмазов при $p = 300$ кбар [5], $p = 700 - 1400$ кбар [6], эксперименты по ударному сжатию вещества углистых хондритов не проводились. С целью выяснения условий образования метеоритных алмазов при воздействии сверхвысоких динамических давлений проведена серия (десять) экспериментов по ударному сжатию метеоритного вещества (с сохранением вещества) с последующим изучением продуктов превращения — вещества углистого хондрита Мигеи при $p = 500$ кбар и графита Ярдымлинского железного метеорита при $p \approx 1000$ кбар. Эксперименты по ударному сжатию с сохранением вещества проводились по методу, ранее разработанному и примененному при исследовании ряда веществ [7]. Экспериментальные условия были в достаточно хорошем приближении к предполагаемым природным условиям не только по величинам давлений, но и по степени открытости системы.

Методика подготовки экспериментальных препаратов и проведения взрывных экспериментов следующая. Образцы метеорита Мигеи монтировались в сплав Вуда в кольцо из кобальта (внешний диаметр 15 мм, высота 2 мм) с последующей шлифовкой и полировкой поверхностей. Экспериментальный препарат помещался в стальную ампулу, где плотно прилегал к ее внутренним поверхностям. Ампула, составленная из двух вдвинутых один в другой стаканов, окружалась массивным стальным кольцом и устанавливалась на массивной стальной подставке. Нагружение ампулы с препаратом производилось с торца с помощью контактного заряда гексогена диаметром 100 мм и плотностью $1,72$ г/см³, в котором инициировалась плоская детонационная волна. Малый размер препарата по сравнению с толщиной окружающей его стали и размерами заряда позволяет считать конечное давление в нем (т. е. после реверберации ударных волн по препарату) равным давлению в стали (500 кбар). Легколетучие соединения, образовавшиеся в результате ударного сжатия препарата, выходили из камеры через зазоры между стаканами.

Образцы графита Ярдымлинского метеорита также монтировались в сплав Вуда и помещались в стальные ампулы вытянутой цилиндрической формы, имеющие наружный диаметр 20 и длину 150 мм. Они помещались по оси цилиндрического заряда литой смеси тротил — грекоген с диаметром 120 мм, инициирование детонации в котором производилось по оси с торца заряда. По проведенным оценкам, давление в образце составляло ~ 1000 кбар. В обоих случаях нагружения время воздействия сверхвысокого давления на образец оценено в $6 \div 8$ мкс.

После проведения экспериментов камеры вскрывались, и вещество анализировалось. Образцы углистого хондрита Мигеи в процессе экспериментального взрыва в большинстве случаев были тонко диспергированы. Образец, сохранившийся в наибольшей степени, представлен на рисунке. Он пронизан удлиненными пустотами и по своей структуре напоминает уреилиты. Сильная перекристаллизация образца видна и в петрографическом шлифе.

Для выделения углеродистого вещества экспериментальные метеоритные образцы обрабатывались HF- и HCl-кислотами при нагревании в платиновой чашке. После тщательного разложения минеральных фаз остались поликристаллические зерна углеродистого вещества черного цвета неправильной формы размерами до $0,3 \div 0,5$ мм. Они исследовались рентгенометрическим методом (FeK_α) (табл. 1). Зерна представляют сростки микрокристаллов алмаза и графита. В них присутствует примесь гексагонального алмаза — лонсдейлита, более четко проявляющегося в экспериментальных фракциях Ярдымлинского метеорита, и примесь углерода со слабо выраженной гексагональной решеткой — чаонита, ранее найденного в графите ударно-метаморфизованных гнейсов кратера Рис взрывного типа [9] и в уреилите Новый Урей [2, 10]. Следовательно, синтезированные при взрыве метеоритные алмаз-графитовые сростки в экспериментальных препаратах углистого хондрита Мигеи и Ярдымлинского метеорита и по своей морфологии, и по составу сходны с природными метеоритными и отличаются от природных земных алмазов. Размер элементарной ячейки в синтетических алмазах метеорита Мигеи $a = 3,566 \text{ \AA}$, Ярдымлинского метеорита $a = 3,567 \text{ \AA}$ (табл. 2).



Образец метеорита Мигеи, подвергнутый ударному сжатию, $p = 500$ кбар.

Таблица 1

Сравнение рентгенограмм и расшифровка вещественного состава алмазосодержащих фракций экспериментальных образцов углистого хондрита Мигеи ($p=500$ кбар) и графита Ярдымлинского железного метеорита ($p=1000$ кбар) ($FeK\alpha$)

Экспериментальные фракции				Интерпретация							
метеорита Мигеи		графита Ярдымлинского метеорита		алмаз [8]		лонсдейлит [6]		графит [8]		чаоит [9]	
I	$\frac{d_{\alpha}}{n}$	I	$\frac{d_{\alpha}}{n}$	I	$\frac{d_{\alpha}}{n}$	I	$\frac{d_{\alpha}}{n}$	I	$\frac{d_{\alpha}}{n}$	I	$\frac{d_{\alpha}}{n}$
5	4,07	2	4,07	—	—	—	—	—	—	6	4,12
—	—	1	3,75	—	—	—	—	—	—	4	3,71
10	3,34	10	3,36	—	—	—	—	10	3,35	—	—
—	—	1	3,16	—	—	—	—	—	—	4	3,22
—	—	2	2,923	—	—	—	—	—	—	2	2,94
4	2,128	5	2,128	—	—	10	2,19	5	2,134	4	2,10
10	2,064	10	2,064	10	2,05	10	2,06	—	—	—	—
—	—	10	2,019	—	—	5	1,92	5	2,036	2	1,910
—	—	3	1,779	—	—	—	—	3	1,801	—	—
5	1,684	5	1,680	—	—	—	—	8	1,675	—	—
—	—	1	1,401	—	—	1	1,50	6	1,541	2	1,496
—	—	1	1,348	—	—	—	—	—	—	—	—
5	1,262	5	1,262	8	1,26	8	1,26	—	—	2	1,26
—	—	9	1,230	—	—	—	—	9	1,230	—	—
—	—	1	1,193	—	—	5	1,17	—	—	—	—
—	—	4	1,152	—	—	—	—	9	1,154	—	—
—	—	2	1,117	—	—	—	—	6	1,117	—	—
3	1,072	4	1,074	7	1,072	5	1,075	—	—	2	1,080
—	—	1	1,052	—	—	1	1,055	—	—	—	—
—	—	2	0,994	—	—	—	—	3	1,014	—	—

Фазовые превращения минерального состава экспериментального препарата углистого хондрита Мигеи исследовались рентгенометрическим методом ($FeK\alpha$) (табл. 3). Рентгенограмма экспериментального образца метеорита Мигеи, подвергнутого давлению при взрыве $p=500$ кбар, отличается от рентгенограммы исходного образца углистого хондрита Мигеи и сходна с рентгенограммами уреилитов, в качестве примера которых в табл. 3 приведен уреилит Duarlig. В исходном об-

Таблица 2

Рентгенометрическая характеристика алмазов, синтезированных при взрыве вещества углистого хондрита Мигеи ($p=500$ кбар) и графита Ярдымлинского железного метеорита ($p=1000$ кбар) ($FeK\alpha$)

hkl	Метеорит Мигеи			Ярдымлинский метеорит		
	I	$\frac{d_{\alpha}}{n}$	$a, \text{Å}$	I	$\frac{d_{\alpha}}{n}$	$a, \text{Å}$
111	10	2,064	3,574	10	2,064	3,574
220	5	1,262	3,568	5	1,262	3,568
311	3	1,072	3,556	4	1,074	3,561

разце хондрита Мигеи главные минеральные составляющие — минералы группы хлорита-серпентина и оливин; кроме того, по рентгенограмме отчетливо проявляется магнетит. В образце метеорита Мигеи, экспериментально подвергнутого динамическому давлению, главными минералами являются, как и в уреилитах, оливин и пижонит, проявляется также камасит.

Следовательно, в процессе ударного сжатия при $p=500$ кбар углстый хондрит Мигеи не только приобрел структуру, типичную для уреи-

Сравнение рентгенограмм образцов метеорита Миген и уреилита Duarig и расшифровка вещественного состава

Углистый хондрит Миген				Интерпретация [11,2]											
исходный [2]		подвергнут взрыву, p=500 кбар		Уреилит Duarig [2]		пеннин		оливин		пижонит (уреилит Goalpara)		магнетит		камасит (уреилит Новый Урей)	
I	$\frac{d}{n}$	I	$\frac{d}{n}$	I	$\frac{d}{n}$	I	$\frac{d}{n}$	I	$\frac{d}{n}$	I	$\frac{d}{n}$	I	$\frac{d}{n}$	I	$\frac{d}{n}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2	7,93	—	—	—	—	2	7,92	—	—	—	—	—	—	—	—
9	7,12	—	—	—	—	9	7,18	—	—	—	—	—	—	—	—
2	6,95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	5,86	—	—	—	—	1	5,84	—	—	—	—	—	—	—	—
1	5,36	—	—	—	—	5	5,29	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	10	5,14	2	5,10	—	—	4	5,07	—	—	—	—	—	—
1	4,54	—	—	—	—	4	4,60	1	4,60	—	—	—	—	—	—
1	4,40	6	4,40	1	4,35	—	—	—	—	1	4,35	—	—	—	—
—	—	1	4,29	—	—	—	—	2	4,29	—	—	1	4,21	—	—
1	3,84	2	3,88	—	—	—	—	7	3,87	—	—	—	—	—	—
9	3,53	—	—	—	—	10	3,585	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	2	3,48	—	—	6	3,49	—	—	—	—	—	—
—	—	1	3,40	2	3,36	—	—	3	(3,33)	2	3,34	—	—	—	—
1	3,29	—	—	—	—	1	3,311	—	—	—	—	3	(3,31)	—	—
1	3,11	8	3,11	2	3,16	3	3,152	—	—	9	3,16	—	—	—	—
3	2,985	5	2,985	5	2,995	—	—	5	2,995	—	—	6	2,99	—	—
—	—	—	—	4	2,906	—	—	—	—	10	2,880	—	—	—	—
1	2,841	—	—	—	—	9	2,864	—	—	—	—	—	—	—	—
2	2,787	4	2,770	3	2,796	—	—	9	2,770	—	—	—	—	—	—
—	—	1	2,719	—	—	—	—	3	(2,715)	—	—	—	—	—	—
1	2,686	—	—	—	—	4	2,705	—	—	—	—	—	—	—	—
10	2,530	4	2,525	6	2,525	10	2,538	10	2,515	4	2,567	10	2,541	—	—
4	2,445	3	2,463	7	2,441	10	2,445	10	2,455	5	2,463	—	—	—	—
—	—	3	2,347	1	2,359	—	—	2	2,350	—	—	—	—	—	—
2	2,263	4	2,277	4	2,252	7	2,286	9	2,253	1	2,219	—	—	—	—
7	2,145	5	2,145	3	2,128	—	—	5	2,165	3	2,135	7	2,098	—	—
—	—	3	2,020	10	2,024	—	—	2	2,032	4	2,031	—	—	10	2,037
1	2,014	—	—	—	—	10	2,008	—	—	—	—	—	—	—	—
1	1,988	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	1	1,950	2	1,944	—	—	—	—	2	1,944	—	—	—	—
1	1,917	—	—	—	—	6	1,893	—	—	—	—	—	—	—	—
1	1,861	2	1,887	2	1,887	—	—	3	1,877	—	—	2	1,884	—	—
—	—	1	1,823	—	—	—	—	2	1,812	—	—	—	—	—	—
6	1,785	9	1,780	—	—	—	—	2	1,788	1	1,783	4	1,785	—	—
6	1,734	1	1,734	7	1,741	6	1,741	10	1,747	1	1,747	5	1,710	—	—
1	1,673	—	—	3	1,664	4	1,670	5	1,671	—	—	—	—	—	—
—	—	1	1,648	—	—	—	—	6	1,639	—	—	—	—	—	—
—	—	1	1,628	8	1,617	—	—	6	1,619	10	1,621	—	—	—	—
1	1,612	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9	1,612	—	—
6	1,571	3	1,577	2	1,563	9	1,575	4	1,572	—	—	—	—	—	—
4	1,537	2	1,537	3	1,532	10	1,535	3	1,539	3	1,536	—	—	—	—
—	—	2	1,507	4	1,503	7	1,503	2	1,515	—	—	—	—	—	—
3	1,489	3	1,489	5	1,479	—	—	9	1,481	4	1,485	9	1,479	—	—
2	1,477	—	—	—	—	4	1,462	—	—	—	—	9	1,479	—	—
—	—	—	—	1	1,453	—	—	1	1,462	—	—	—	—	—	—
1	1,429	2	1,429	6	1,425	4	1,432	2	1,437	—	—	2	1,411	6	1,436
—	—	—	—	3	1,401	—	—	—	—	1	1,401	—	—	—	—
2	1,390	2	1,390	3	1,391	—	—	9	1,397	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	1	1,371	—	—	1	1,370	10	1,379	—	—	—	—
1	1,337	5	1,357	1	1,348	—	—	1	1,350	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	2	1,332	—	—	—	—	1	1,330	—	—	—	—
1	1,326	2	1,319	4	1,323	7	1,320	9	1,316	—	—	3	1,325	—	—
2	1,309	2	1,302	2	1,294	7	1,295	3	1,295	—	—	—	—	—	—
2	1,262	3	1,262	4	1,265	—	—	2	1,267	4	1,267	2	1,264	—	—
1	1,239	1	1,239	2	1,243	—	—	3	1,238	—	—	—	—	—	—
—	—	1	1,225	3	1,220	—	—	3	1,226	4	1,222	—	—	—	—
—	—	—	—	4	1,189	—	—	7	1,188	—	—	—	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
—	—	3	1,170	10	1,169	—	—	—	—	3	1,176	—	—	10	1,170
1	1,164	—	—	—	—	—	—	7	1,167	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	1	1,156	—	—	3	1,157	1	1,148	—	—	—	—
1	1,137	—	—	2	1,136	—	—	7	1,140	—	—	—	—	—	—
1	1,122	—	—	3	1,121	—	—	5	1,125	—	—	4	1,119	—	—
—	—	—	—	1	1,107	—	—	5	1,117	1	1,113	—	—	—	—
1	1,096	—	—	2	1,097	—	—	8	1,098	—	—	8	1,091	—	—
—	—	—	—	1	1,088	—	—	7	1,080	—	—	—	—	—	—
—	—	4	1,071	3	1,073	—	—	7	1,074	4	1,072	—	—	—	—
—	—	—	—	2	1,066	—	—	7	1,063	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	3	1,051	—	—	4	1,052	3	1,053	—	—	—	—
—	—	—	—	1	1,044	—	—	—	—	2	1,041	—	—	—	—
—	—	3	1,032	4	1,037	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

литов, но в нем имели место превращения минеральных фаз, в частности дегидратация водных силикатов, образование клинопироксена, восстановление (в присутствии углерода) магнетита. Часть легколетучих химических элементов в составе образующихся при этом простых соединений (H_2O , CO_2 и др.) была вынесена в процессе эксперимента при воздействии ударных и отраженных волн из сферы реакции через зазоры экспериментальных камер. При этом должна выноситься и часть других химических элементов, в частности Al, Ni и др. Другими словами, в процессе эксперимента изменение минерального состава должно сопровождаться и изменением химического.

Содержание Mn, Ti, Al, Ni, S, имеющих в условиях сверхвысоких динамических давлений и высоких температур различный характер летучести, в экспериментальном препарате метеорита Мигей, подвергнутом динамическому давлению 500 кбар, исследовалось (после гомогенизации вещества) методом рентгеноспектрального микроанализа с помощью микрозонда JXA-5 ($I=1,5 \cdot 10^{-8} \text{ \AA}$, $v=15 \text{ кВ}$, диаметр зонда 40 мк). Вещество исходного метеорита Мигей и вещество урейлита Новый Урей, исследованных ранее химическим методом [12], использовались (также после тщательной гомогенизации) в качестве эталонов.

Из табл. 4 видно, что экспериментальный образец метеорита Мигей, претерпевший динамическое давление, отличается от исходного углисто-го хондрита Мигей и близок к урейлитам. В процессе ударного сжатия тугоплавкие Mn и Ti практически не выносятся из сферы реакции.

Алюминий потерял 74% от первоначального содержания, что близко к предполагаемой потере Al в урейлите Новый Урей, составляющей 80%. Никеля в экспериментальном образце потеряно 42%. Летучей серы, находящейся в исходном углестом хондрите Мигей в различных фазах, при ударном сжатии потеряно 67%.

Подведены итоги работы.

1. Проведены эксперименты по ударному сжатию (с сохранением вещества) углисто-го хондрита Мигей при $p=500$ кбар и графита Ярдымлинского железного метеорита при $p=1000$ кбар с целью выяснения превращений метеоритного вещества при воздействии сильных ударных волн.

Таблица 4

Содержание химических элементов в образце углестого хондрита Мигей, подвергнутого взрыву, в исходном метеорите Мигей и урейлите Новый Урей (вес. %)

Химические элементы	Углистый хондрит Мигей		Урейлит Новый Урей [12]
	исходный [12]	подвергнутый взрыву, $p=500$ кбар	
Mn	0,16	0,2	0,31
Ti	0,05	0,07	0,08
Al	1,14	0,3	0,26
Ni	1,20	0,7	0,12
S	3,66	1,2	0,58

2. Из углеродистого вещества углистого хондрита Мигеи ($p=500$ кбар) и графита Ярдымлинского железного метеорита ($p=1000$ кбар) синтезированы алмазы, микрокристаллы (<1 мк) которых находятся в сростаниях с графитом, в сростках идентифицированы лонсдейлит и чаоит. Синтетические алмаз-графитовые сростки по морфологии и фазовому составу сходны с алмаз-графитовыми сростками метеоритов.

3. Вещество метеорита Мигеи, экспериментально подвергнутое взрыву при $p=500$ кбар, приобрело структуру, сходную со структурой уреилитов. По минеральному составу оно отличается от вещества исходного углистого хондрита и сходно с веществом уреилитов. Экспериментально показаны переходы главных минеральных фаз — водных силикатов, оливина, магнетита, характерных для углистых хондритов, в оливин, пижонит, камасит, характерные для уреилитов.

4. По содержанию Mn, Ti, Al, Ni, S, имеющих различный характер летучести, экспериментальный образец метеорита Мигеи, подвергнутый взрыву при $p=500$ кбар, отличается от исходного углистого хондрита Мигеи и близок к уреилитам.

5. Проведенные экспериментальные исследования подтверждают, что уреилиты являются вторичными по своему происхождению метеоритами, образовавшимися из вещества углистых хондритов при воздействии сильных ударных волн в космическом пространстве.

Поступила в редакцию
12/II 1973

ЛИТЕРАТУРА

1. К. П. Станюкович. Неустановившиеся движения сплошной среды. М., «Наука», 1971.
2. Г. П. Вдовыкин. Углеродистое вещество метеоритов (органические соединения, алмазы, графит). М., «Наука», 1967.
3. Г. П. Вдовыкин. *Проблемы Космохимии, К., 1973.*
4. Г. П. Вдовыкин. Метеорит Каньон — Дьябло. М., «Наука», 1971.
5. P. S. DeCarli, F. C. Farneson. Science, 1961, 133, 3467.
6. F. P. Bundy, J. S. Kasper. J. Chem. Phys., 1967, 46, 9.
7. С. В. Першин, Г. И. Канель. Методы сохранения ударно-сжатых образцов и анализ картины сжатия. ВИНТИ, № 1446—70 деп., 1972.
8. Л. И. Миркин. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. М., Физматгиз, 1961.
9. A. E. Goresy, G. Donnay. Science, 1968, 161, 3839.
10. Г. П. Вдовыкин. Геохимия, 1969, 9.
11. В. И. Михеев, А. И. Калинин. Сб. «Метеоритика», 1958, вып. 15.
12. H. V. Wiik. Soc. Sci. Fennica, Comment. Phys.—Mathem., 1969, 34, 13.

УДК 622.235

ОБОБЩЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ИМПУЛЬС И ДИНАМИКА РАЗЛЕТА ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА ЗАРЯДА ВВ

А. П. Боронин, Ю. А. Медведев, Б. М. Степанов
(Москва)

Электрический импульс взрыва заряда ВВ изучался в ряде работ [1—8]. В этих же работах предпринимались попытки выявления физической природы этих импульсов. В [1, 3] высказано предположение,

что физический механизм возбуждения зарегистрированных импульсов поля связан с продуктами взрыва (ПВ). Сформулированы возможные конкретные механизмы образования неравномерно распределенных зарядов в зоне взрыва, служащих источниками регистрируемого поля: вследствие различной подвижности электронов и ионов в объеме расширяющихся ПВ [1], в результате электризации разлетающихся твердых частиц ПВ в электрокинетических процессах [2, 3] и за счет поляризации проводящей области взрыва во внешнем электрическом поле и последующего перераспределения зарядов при касании облака взрыва подстилающей поверхности [2]. Эти предположения чисто качественные и основаны по существу на интуитивном отборе из большого числа возможных наиболее важных механизмов, которые могут приводить к наблюдаемым электрическим эффектам. В работе [5] приведены количественные оценки возможного механизма возбуждения, изложенного в [1], однако в [5], как и в работах [1, 3], использован подход, характерный для «прямых» задач¹.

Очевидно, однако, что основным источником информации о физике возбуждения электрического импульса являются сами осциллографические записи импульсов поля. Возникает обратная задача определения тех или иных свойств источников поля по зарегистрированным импульсам поля.

Количественная обработка и интерпретация осциллографических записей, как известно, проводилась лишь в работах [6—8]. В результате удалось не только установить факт влияния внешнего электрического поля (этот факт не обнаружен в [4]), но и оценить параметры ударной волны, при которых она сильно взаимодействует с электрическим полем. Количественная обработка результатов измерения моментов времени появления коротковолнового поля [8] на разных частотах позволила сделать вывод о том, что источниками коротковолнового поля являются ПВ, причем этот вывод содержит значительно меньшую долю предположений, чем в работах [1—3 и 5].

К настоящему времени вся количественная обработка импульсов выполнена для относительно небольшого интервала времени, когда радиус ударной волны (УВ) не превосходит $\sim 20 r_0$, где $r_0 = 5,3 \cdot 10^{-2} \cdot m^{1/3}$ — радиус заряда в м, m — масса заряда в кг (для заряда массой 50 г соответствующее время ~ 150 мкс). Длительность же регистрируемого низкочастотного импульса в отсутствие внешнего поля для зарядов массой десятки—сотни грамм составляет несколько миллисекунд. Для выяснения природы низкочастотного импульса поля представляет интерес получение объективных данных о связи характеристик импульса с параметрами взрыва в течение времени регистрации.

В различных работах низкочастотные импульсы поля регистрировались на разных расстояниях от взрывов разных масштабов с применением разных методик. Интерпретация явления существенно упростилась бы в случае, если бы удалось описать совокупность осциллограмм, наблюдавшихся в разных опытах, в виде обобщенных безразмерных зависимостей поля от основных определяющих параметров.

В данной работе путем статистической обработки вся совокупность импульсов, полученных на основе единой методики, обеспечивающей малые искажения в исследуемом интервале времени, представлена в виде обобщенной зависимости, описывающей импульсы поля на различных расстояниях (в пределах квазистатической зоны) от взрывов зарядов массой десятки—сотни грамм.

Оказывается, что временная зависимость импульсов имеет автомодельный характер, а форма обобщенного импульса содержит осо-

¹ Использована терминология работы [9].