

В.Г. К а ш к а р о в а, Л.Л. К а ш к а р о в, Г.В. Б а р ы ш н и к о в а,
А.К. Л а в р у х и н а

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского АН СССР

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ХОНДР УГЛИСТОГО ХОНДРИТА КАИНСАЗ СО

Исследования термолюминесценции (ТЛ) метеоритного вещества, выполненные в последние годы [Sears, Durrani, 1980; Guimon et al., 1985; Sears, Sparks, 1984], показали, что с помощью этого метода могут быть получены важные сведения о степени термического метаморфизма метеоритов [Guimon et al., 1985; Sears et al., 1984]. Детальные измерения ТЛ отдельных хондр хондрита Dhajala H3 [Sears et al., 1984], проведенные с помощью высокочувствительной установки, обнаружили зависимость чувствительности к накоплению ТЛ от состава каждой хондры и от наличия в них полевого шпата.

В результате изучения ТЛ валовых проб углистых хондритов Allende CV3 и Каинсаз СОЗ [Lavrukhina et al., 1984] было получено, что ТЛ наименее метаморфизованного среди хондритов группы СОЗ метеорита Каинсаз характеризуется значительно большей интенсивностью и наличием низкотемпературного (НТ) пика на кривой естественной ТЛ. В данной работе приводятся результаты дальнейшего, более детального изучения ТЛ-характеристик вещества углистого хондрита Каинсаз СО. Особое внимание при этом было уделено измерению ТЛ отдельных хондр и минеральных фаз.

Методика измерения ТЛ в отличие от применявшейся ранее [Кашкарова и др., 1973] состоит в использовании модернизированной нагревательной системы и применения более высокочувствительного фотумножителя, что позволило измерять крайне низкие уровни термосвечения образцов метеоритов с навеской до 0,05 мг.

Исследуемый образец, измельченный до размеров зерен, равных 20–30 мкм, помещался в тонкостенную (0,1 мм) никелевую чашечку ($d = 1$ мм), в которой проводились все последующие операции: высвечивание естественной ТЛ_{ест}, облучение γ -квантами ^{137}Cs , высвечивание искусственно наведенной ТЛ_{иск}. Нагревателем в установке служила платиновая лента, температура которой линейно изменялась от 20 до 500°C. Контроль и измерение температуры осуществлялись хромель-копелевой термопарой, вмонтированной в Pt-ленту. Регистрация термосвечения проводилась фотумножителем ФЭУ-82 с кварцевым и зелено-голубым световыми фильтрами. Запись интегрального фототока ФЭУ в процессе нагрева образца проводилась электронным потенциометром.

Интенсивность и характер ТЛ_{ест} дает информацию о составе носителей ТЛ в исследуемой пробе, а также о ее радиационной и термической истории. Измерение ТЛ_{иск} характеризует чувствительность образца к накоплению ТЛ в различных интервалах температур. Регистрировались следующие параметры ТЛ: абсолютная величина интенсивности ТЛ_{ест} и ТЛ_{иск}, температура максимумов, наблюдаемых на кривых ТЛ и ширина пиков кривых на полувысоте.

В настоящей работе приводятся результаты исследования ТЛ_{ест} и ТЛ_{иск} хондр и валовой пробы углистого хондрита Каинсаз СОЗ. В качестве объекта для сравнения получаемых результатов были взяты образцы валовой пробы и хондр обыкновенного хондрита Dhajala H3, для которых по используемой нами методике проведены аналогичные исследования.

Результаты исследований

Типичны кривые свечения $Tl_{\text{ест}}$, наблюдаемые для изученных хондр Каинсаз, приведены на рис. 1. На этих кривых наблюдается от одного до четырех пиков, приходящихся на температурный интервал 240–430°C. Величины отношений интенсивности низкотемпературного к трем высокотемпературным (BT_1 , BT_2 и BT_3) пикам кривых $Tl_{\text{ест}}$ (рис. 2, а, б, в) для изученных хондр изменяются в пределах 0,05–50. Несколько меньший разброс ($I=100$) наблюдается для величин отношения низкотемпературного пика кривых $Tl_{\text{иск}}/Tl_{\text{ест}}$ (рис. 2, г). Полученные характеристики указывают на большое различие чувствительности к накоплению ТЛ для разных хондр.

При более длительном сопоставлении $Tl_{\text{ест}}$ с $Tl_{\text{иск}}$ выяснилось, что большая часть (около 2/3 от общего числа) изученных хондр имеет $Tl_{\text{иск}}$, выходящую далеко за пределы прямой пропорциональной зависимости между этими двумя величинами. На рис. 3 ей отвечает участок, ограниченный пунктирными линиями.

Как видно из результатов измерения $Tl_{\text{ест}}$ и $Tl_{\text{иск}}$ каждой хондры, величина отношения $Tl_{\text{иск}}/Tl_{\text{ест}}$ тем больше отличается от нормального значения, близкого к единице, чем меньше абсолютная величина $Tl_{\text{ест}}$, достигая для некоторых хондр двух порядков величины.

Результаты измерения чувствительности к накоплению $Tl_{\text{иск}}$, полученные для изученных 30 хондр и валовой пробы хондрита Каинсаз CO3, а также 44 хондр и валовой пробы Dhajala H3 приведены в табл. 1 и 2 соответственно.

Отметим, что абсолютная величина интенсивности $Tl_{\text{иск}}$ для вещества (валовая проба и хондры) углистого хондрита Каинсаз в среднем на два порядка величины ниже (рис. 4), чем для обыкновенного хондрита Dhajala, что, очевидно, отражает различие в содержании и составе основных носителей ТЛ, а именно полевого шпата и девитрифицированного стекла [Sears, et al., 1984; Keck, Sears, 1986].

На рис. 5 приведены зависимости интенсивности $Tl_{\text{иск}}$ от температуры ($T^\circ\text{C}$) пика кривой термосвечения (а) и от ширины ($\Delta T_{I/2}^\circ$) пика кривой ТЛ на его полувысоте (б) для изученных хондр Каинсаз и Dhajala. Видно существенное различие полученных распределений, заключающееся в том, что для хондр Каинсаз не наблюдается какой-либо корреляции между интенсивностью $Tl_{\text{иск}}$ и величинами T° и $\Delta T_{I/2}^\circ$, характерными для хондр Dhajala. Отметим, что полученные в наших измерениях характеристики ТЛ аналогичны результатам, приведенным ранее в работе [Sears et al., 1984], полученным для хондрита Dhajala.

Обнаруженные различия характеристик $Tl_{\text{иск}}$ хондр углистого хондрита Каинсаз CO3 и обыкновенного хондрита Dhajala H3, по-видимому, связаны с тем, что первый относится к наименее измененным в результате термального метаморфизма хондритам типа CO [Keck, Sears, 1986]. Как отмечалось, структура хондрита Каинсаз неперекристаллизованная. В матрице, состоящей из мелкозернистого оливина, пироксена, металлических и сульфидных частиц и тонкодисперсного углеродистого вещества, распределены хондры размером от долей мм до ~1 мм. Хондры состоят из оливина или моноклинного пироксена.

Для качественного выяснения характера основного носителя ТЛ в хондрах Каинсаз измерения $Tl_{\text{ест}}$ и $Tl_{\text{иск}}$ были выполнены отдельно для трех отличающихся между собой по размерам частиц фракций: 1) мелкой (не превышает ~20 мкм), осыпавшейся при раздавливании хондр без какого-либо дополнительного дробления; 2) средней, содержащей более крупные зерна минералов (50–100 мкм) и

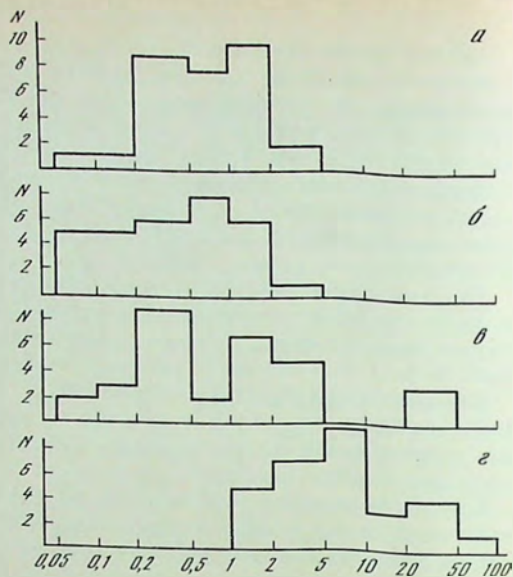
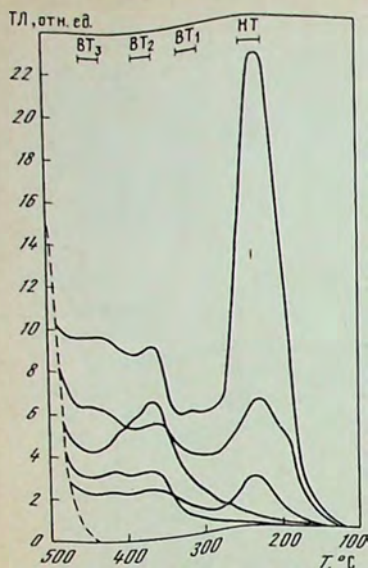


Рис.1. Типы кривых ТЛ_{ест} хондр метеорита Каинсаз CO3

Низкотемпературный пик НТ при $240 \pm 10^\circ\text{C}$; BT_1 при $310 \pm 10^\circ\text{C}$; BT_2 при $370 \pm 10^\circ\text{C}$ и BT_3 при $430 \pm 10^\circ\text{C}$ -высокотемпературные пики;

Рис.2. Распределение хондр Каинсаз по величине отношений пиков ТЛ_{ест} (а,б,в) и $\text{ТЛ}_{\text{иск}}/\text{ТЛ}_{\text{ест}}$ (г)

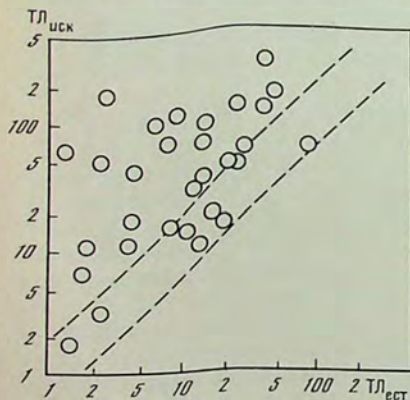


Рис.3. Соотношение интенсивности ТЛ_{иск} и ТЛ_{ест} при температуре 240°C для хондр Каинсаз

3) крупной, состоящей из нескольких наиболее крупных (≥ 10 мкм) кристаллов оливина. Результаты измерений представлены на рис. 6. Видно, что интенсивность ТЛ_{ест} для всех фракций отличается незначительно. Отношение ТЛ_{ест} для 1, 2 и 3-й фракций равно примерно 1:0,9:0,8. Несколько большее различие наблюдается для ТЛ_{иск}, относительная величина которой для тех же фракций составляет 1:0,7:0,3. Таким образом, ясно, что основной носитель ТЛ находится в мелкой цементирующей массе хондры и, возможно, им являются мельчайшие крупинцы плагиоклаза и перекристаллизованного стекла.

При изучении температурных характеристик кривых ТЛ необходимо знать вклад

Т а б л и ц а 1

Термолюминесценция отдельных хондр Кансас ООЗ

Номер хондры	Масса, мг	Тл _{иск.} , отн.ед.	$\Delta T_{I/2}$, °C	Т _{пик} , °C	Номер хондры	Масса, мг	Тл _{иск.} , отн.ед.	$\Delta T_{I/2}$, °C	Т _{пик} , °C
1	1,0	0,55	37	148	17	0,45	0,40	34	160
2	0,2	2,06	34	150	18	0,30	0,66	25	154
3	0,4	1,50	28	148	19	0,15	3,82	23	150
4	0,2	1,13	40	150	20	0,35	10,17	34	150
5	0,5	2,29	33	142	21	1,1	5,83	32	142
6	0,25	0,42	52	154	22	0,3	1,92	34	150
7	1,7	2,02	72	154	23	0,85	0,42	27	154
8	0,7	0,60	32	145	24	0,2	3,60	22	156
9	0,3	4,23	23	148	25	0,6	0,72	24	154
10	0,55	1,50	27	145	26	0,4	4,05	20	156
11	0,35	0,63	31	151	27	0,25	2,40	34	160
12	0,4	1,58	23	148	28	1,0	1,32	28	153
13	0,55	0,11	32	154	29	0,2	5,14	27	150
14	0,55	0,26	32	148	30	0,7	2,41	23	154
15	0,3	7,11	26	154	Валовая проба	1,0	1,0	46	150
16	0,5	0,06	25	150					

Т а б л и ц а 2

Термолюминесценция отдельных хондр Dhajala H3

Номер хондры	Масса, мг	Тл _{иск.} , отн.ед.	$\Delta T_{I/2}$, °C	Т _{пик} , °C	Номер хондры	Масса, мг	Тл _{иск.} , отн.ед.	$\Delta T_{I/2}$, °C	Т _{пик} , °C
1	0,15	0,85	106	182	24	0,05	2,34	88	176
2	0,05	3,26	110	164	25	0,05	1,65	94	182
3	0,15	2,54	120	164	26	0,1	1,59	106	188
4	0,2	0,92	106	200	27	0,05	0,66	98	194
5	0,15	4,31	82	170	28	0,1	0,9	100	182
6	0,35	4,74	102	182	29	0,05	1,22	104	194
7	0,80	5,80	114	170	30	0,1	1,02	98	188
8	0,2	2,09	98	190	31	0,1	1,29	77	182
9	0,35	3,12	81	160	32	0,05	1,20	106	188
10	0,3	1,52	98	190	33	0,05	2,14	66	170
11	0,35	0,16	112	188	34	0,05	0,43	100	176
12	0,15	0,62	74	164	35	0,05	0,79	106	188
13	0,2	0,85	100	190	36	0,05	1,1	94	170
14	0,2	0,52	136	194	37	0,05	0,13	146	200
15	0,2	0,53	94	182	38	0,05	1,77	96	188
16	0,2	0,57	88	170	39	0,05	0,35	106	200
17	0,1	0,36	148	194	40	0,10	1,06	98	182
18	0,05	4,41	118	170	41	0,10	2,40	94	182
19	0,1	3,59	88	170	42	0,15	0,39	112	188
20	0,1	3,29	77	170	43	0,15	0,89	102	188
21	0,05	3,57	94	188	44	0,05	1,30	71	170
22	0,15	1,21	106	182	Валовая проба	1,20	1	100	186
23	0,15	0,69	100	176					

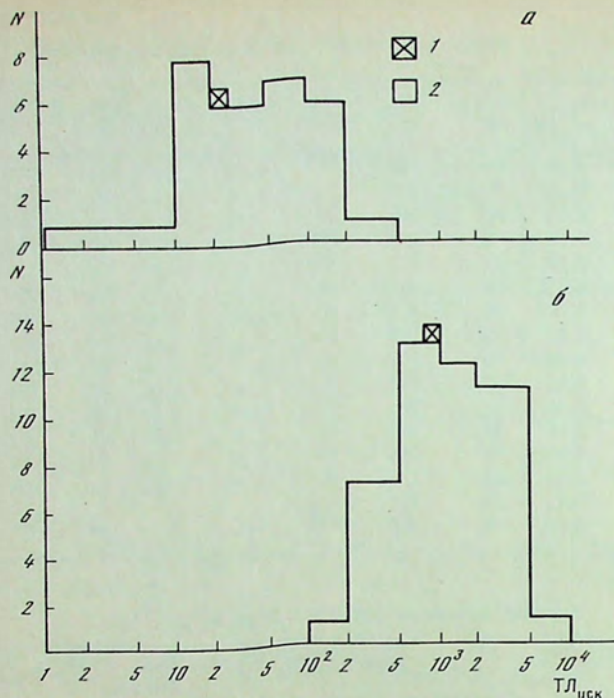


Рис.4. Гистограммы распределения $TL_{иск}$ валовых проб (1) и хондр (2) метеоритов Каинсаз (а) и Dhajala (б)

в наблюдаемую, суммарную для каждой хондры интенсивность ТЛ от различных минеральных фаз, входящих в состав хондры. С целью получения этих количественных характеристик нами были измерены $TL_{ест}$ и $TL_{иск}$ для некоторых мономинеральных хондр и отдельных минералов, выделенных из хондр. На рис. 7, а приведены кривые $TL_{ест}$ и $TL_{иск}$ для изолированного кристалла оливина и оливиновой хондры Каинсаз. Можно отметить, что, несмотря на большое различие в интенсивности $TL_{ест}$ температурная зависимость для этих двух микрообъектов примерно одинакова: $T_{пик} \approx 350^\circ C$, а кроме того, наблюдается по несколько "наложенных" пиков ТЛ в сторону меньшей и большей температуры, вплоть до $T_{max} = 400^\circ C$. Для изолированного кристалла плагиоклаза Каинсаз (рис. 7, б) $TL_{ест}$, имеющая два четко выраженных температурных пика при $T=240$ и $340^\circ C$, незначительно отличается от $TL_{ест}$ образца земного плагиоклаза, взятого для сравнения. Последний характеризуется наличием низкотемпературного $T=270^\circ C$ пика и слабо выраженным высокотемпературным пиком. Таким образом, полученные характеристики $TL_{ест}$ и $TL_{иск}$ для оливина и плагиоклаза из хондр Каинсаз указывают на их различие, основная особенность которого проявляется в величинах отношения $TL_{ест}$ низкотемпературного к высокотемпературному пику: для оливина это отношение $\ll 1$, а для плагиоклаза, наоборот, $\gg 1$.

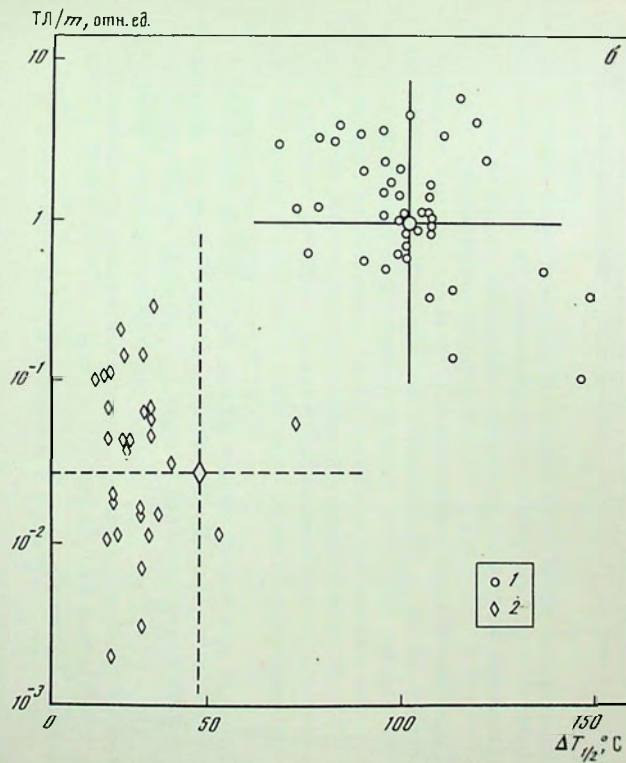
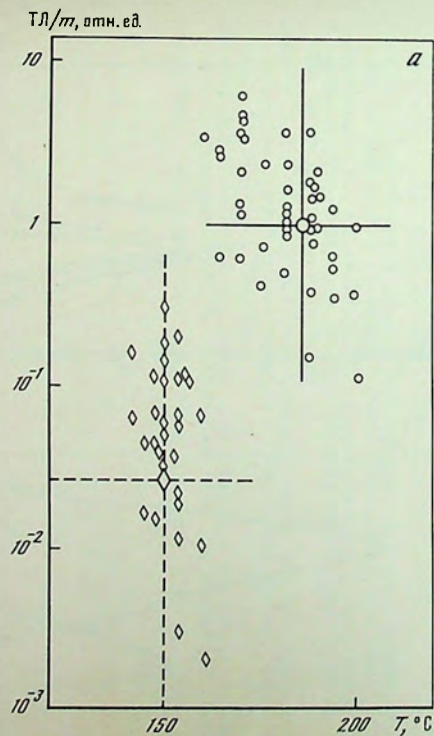


Рис.5. Зависимость $TL_{\text{пик}}/m$ хондр Кайнасз и Джайла от температуры (T°, C) пика кривой ТЛ (а) и от ширины $\Delta T_{1/2}$ пика на его полувьсоте (б)
1 - Джайла ; 2 - Кайнасз

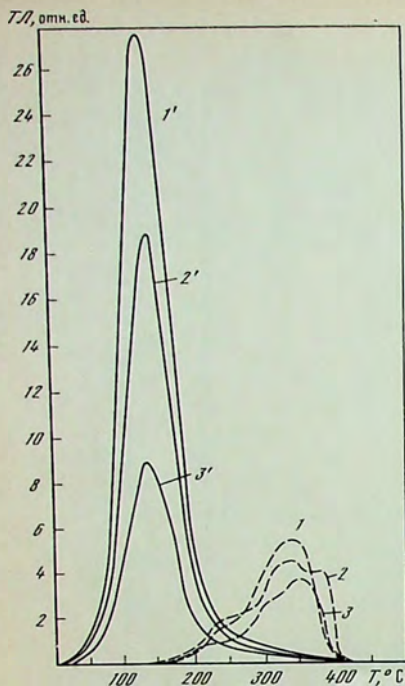
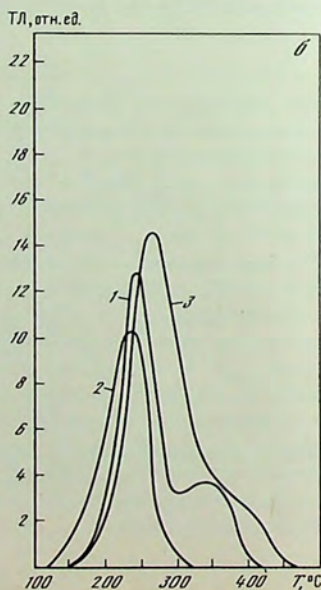
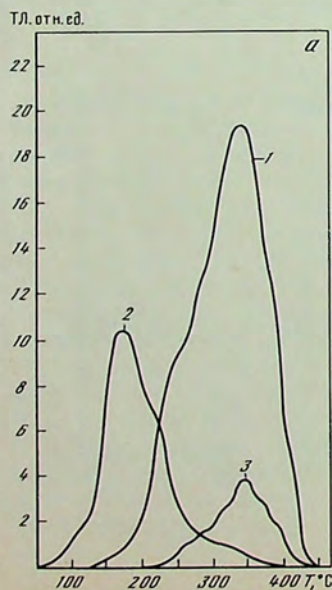


Рис.6. ТЛ_{ест} и ТЛ_{иск} для трех фракций из одной хондры Каинсаз
1 - 1^I - мелкая; 2 - 2^I - средняя; 3 - 3^I - крупная

Рис.7. ТЛ мономинеральных фракций хондрита Каинсаз
а - оливин: 1 - ТЛ_{ест} изолированного кристалла, 2 - ТЛ_{иск} - изолированного кристалла, 3 - ТЛ_{ест} - оливиновой хондры; б - плагиоклаз: 1 - ТЛ_{ест} - изолированного кристалла, 2 - ТЛ_{иск} - то же, 3 - ТЛ_{ест} - земного образца плагиоклаза



ТЛ_{иск} измеренная для этих же образцов оливина и плагиоклаза, после облучения одинаковой дозой γ -квантов ^{137}Cs также обнаружила существенное различие: для оливина низкотемпературный пик наблюдается при $T_{\text{пик}} \sim 170^\circ\text{C}$, для плагиоклаза $T_{\text{пик}} \sim 230^\circ\text{C}$. Кроме того, если для оливина в области температур, превышающих 300°C , интенсивность ТЛ_{иск} еще достаточно велика, то для плагиоклаза она значительно меньше.

Дальнейшие, более детальные исследования ТЛ хондр и межхондрового вещества метеоритов с учетом их минерального и химического составов позволяет ответить на ряд вопросов, связанных с термической историей как метеорита в целом, так и, возможно, отдельных хондр.

Исходя из примерно одинаковой локализации в метеоритном теле изученных хондр вклад в запасенную в них интенсивность ТЛ_{ест} от галактических космических лучей должен быть примерно равным. Одинаковой должна быть и их термическая история на протяжении всего времени существования метеоритного тела. В связи с этим обнаруженное для хондр Каинсаз огромное различие ТЛ_{иск} и ТЛ_{ест}, возможно, связано с различной степенью ударного и теплового метаморфизма этих хондр и приводит к необходимости проведения дальнейших исследований ТЛ хондр метеоритов разных типов.

Полученное в данной работе четкое отличие параметров ТЛ_{иск} хондр углесто-го хондрита Каинсаз СОЗ от ТЛ_{иск} хондр обыкновенного хондрита Dhajala H3, по-видимому, может быть отнесено за счет более слабого термального метаморфизма вещества хондрита Каинсаз.

Статья поступила в Комитет по метеоритам АН СССР в марте 1987 г.

Л и т е р а т у р а

- Кашкарова В.Г., Кашкаров Л.Л., Стахеев Ю.И. и др. Термолуминесценция тектитов // Метеоритика. 1973. Вып. 32. С. 153-159.
- Guimon R.K., Keck B.D., Weeks K.S. Chemical and physical studies of type 3 chondrites - IV: Annealing studies of a type 3.4 ordinary chondrite and the metamorphic history of meteorites // Geochim. et cosmochim. acta. 1985. Vol. 49, N 7. P. 1515-1524.
- Keck B.D., Sears D.W.G. Thermoluminescence and the metamorphic history of the CO chondrites // Lunar Planet. Sci. XVII. Houston, 1986. P. 412-413.
- Lavrukhina A.K., Kashkarov L.L., Korotkova N.N. et al. Early history of the Allende CV and Kainsaz CO carbonaceous chondrites // Lunar Planet. Sci. XV. Houston, 1984. P. 471-472.
- Sears D.W.G., Durrani S.A. Thermoluminescence and the terrestrial age of meteorites: some recent results // Earth and Planet. Sci. Lett. 1980. Vol. 46, N 2. P. 159-166.
- Sears D.W.G., Sparks M.H., Rubin A.E. Chemical and physical studies of type 3 chondrites - III. Chondrules from the Dhajala H3.8 chondrite // Geochim. et cosmochim. acta. 1984. Vol. 48, N 6. P. 1189-1200.