

УДК 523.681

Ю.А. ШУКОЛЮКОВ, ДАНГ ВУ МИНЬ, А.В. ФИСЕНКО,  
Л.Ф. СЕМЕНОВА, А.К. ЛАВРУХИНА

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

**ИЗОТОПНЫЕ АНОМАЛИИ КСЕНОНА  
В УГЛИСТОМ ХОНДРИТЕ КАИНСАЗ СО.  
I. МИНЕРАЛЬНЫЕ ФАЗЫ — "КОНЦЕНТРАТОРЫ"  
РАЗЛИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ КСЕНОНА**

В течение последних десяти лет детально исследуется изотопный состав ксенона в углистых хондритах. Особый интерес представляют работы, посвященные исследованию природы избытка тяжелых изотопов ксенона. Предложено несколько механизмов образования этих изотопов: при спонтанном делении гипотетического сверхтяжелого элемента [Lewis et al., 1975, 1977], в процессе нуклеосинтеза [Лаврухина, 1982; Clayton, 1975; Sabu, Manuel, 1976], при спонтанном делении  $^{244}\text{Pu}$ , сопровождающемся реакциями глубокого расщепления ядер под действием частиц высокой энергии [Шуколюков, Данг Ву Минь, 1981]. Первая из этих гипотез недавно опровергнута ее авторами [Lewis et al., 1983]. Две другие требуют дополнительных исследований. В настоящей работе поставлена задача: попытаться методами физической сепарации и селективного растворения минеральных фаз углистого хондрита Каинсаз СО выделить отдельные фазы-носители различных изотопных компонентов ксенона и объяснить происхождение избыточных тяжелых изотопов  $^{136}\text{Xe}$ ,  $^{134}\text{Xe}$ ,  $^{132}\text{Xe}$ ,  $^{131}\text{Xe}$  в углистых хондритах.

Метеорит Каинсаз был взят для исследования ввиду того, что среди других углистых хондритов типа СО он практически не изменен за счет воздействия термального метаморфизма. Об этом, в частности, свидетельствуют данные [Кашкаров и др., 1984] по отсутствию отжига длин треков  $\text{vH}$ -ядер низкоэнергичных солнечных космических лучей. В сравнении с другими СО-хондритами (Felix, Ornans, Lance, Isna, Warrenton) в хондрите Каинсаз много металлического железа (до 10%) [Вдовыкин, 1967, 1974], что свидетельствует об его образовании в более восстановительных условиях по сравнению с другими углистыми хондритами. Метеорит имеет темно-серый цвет. Его структура хондритовая, неперекристаллизованная. В основной массе довольно равномерно распределены плотные хондры и зерна силикатов (в основном оливина), находящиеся в смеси с углеродистыми, металлическими и сульфидными частицами. Преобладающий размер хондр  $\sim 0,3$  мм (встречаются хондры размером до 1 мм и больше). Они состоят из оливина или пироксена (моноклинного). Олиновые хондры имеют полнокристаллическую, микропорфировую и колосниковую структуры. Преобладает оливин с низким содержанием Fe-компоненты ( $< 5$  мол.%) и высоким — СаО (до 1 мас.%), что свидетельствует о быстрой кристаллизации при высоких температурах [Лаврухина, 1983].

Матрица в основном состоит из мелкозернистого оливина и пироксена. В виде отдельных зерен встречен хромит.

Углеродистое вещество в хондрите Каинсаз имеет довольно равномерное тонкодисперсное распределение в межхондровом веществе [Вдовыкин, 1967]. Среднее содержание углерода 0,66%. Он представлен в виде битумообразных соединений (0,007%), высокомолекулярных органических соединений, нерастворимых в органических растворителях, но выделяющихся после разложения основных составляющих последовательной обработкой концентрированной HCl, 48%-ной HF и 6M HCl в виде тонкодисперсного вещества и графита. Об этом свидетельствуют рентгенограмма углеродистого вещества и термограмма общей пробы [Вдовыкин, 1967]. Последняя имеет три резко выраженных пика с максимумами при  $\sim 290^\circ\text{C}$  (присутствие битумообразных соединений),  $\sim 530^\circ\text{C}$  (высокомолекулярного органического вещества) и  $\sim 825^\circ\text{C}$  (выгорание графитовых частиц) и один менее выраженный пик при  $\sim 1030^\circ\text{C}$ , обнаруженный также на термограмме природного угля. В отличие от многих углистых хондритов углеродистое вещество хондрита Каинсаз более упорядочено. Характерной особенностью СО-хондритов является высокое содержание планетарных (захваченных) инертных газов [Виноградов, Задорожный, 1964, 1965; Левский, 1972; Шуколюков и др., 1983; Alaerts et al., 1979; Mazor et al., 1970]. Особенно велико оно в хондрите Каинсаз. Радиогенный К-Аг-возраст, по данным разных исследователей, лежит в пределах от  $2,1 \cdot 10^9$  лет [Виноградов, Задорожный, 1965] до  $4,2 \cdot 10^9$  лет [Герлинг, 1961], радиационный возраст —  $18,4 \cdot 10^6$  лет [Виноградов, Задорожный, 1965] и  $23,9 \cdot 10^9$  лет [Mazor et al., 1970].

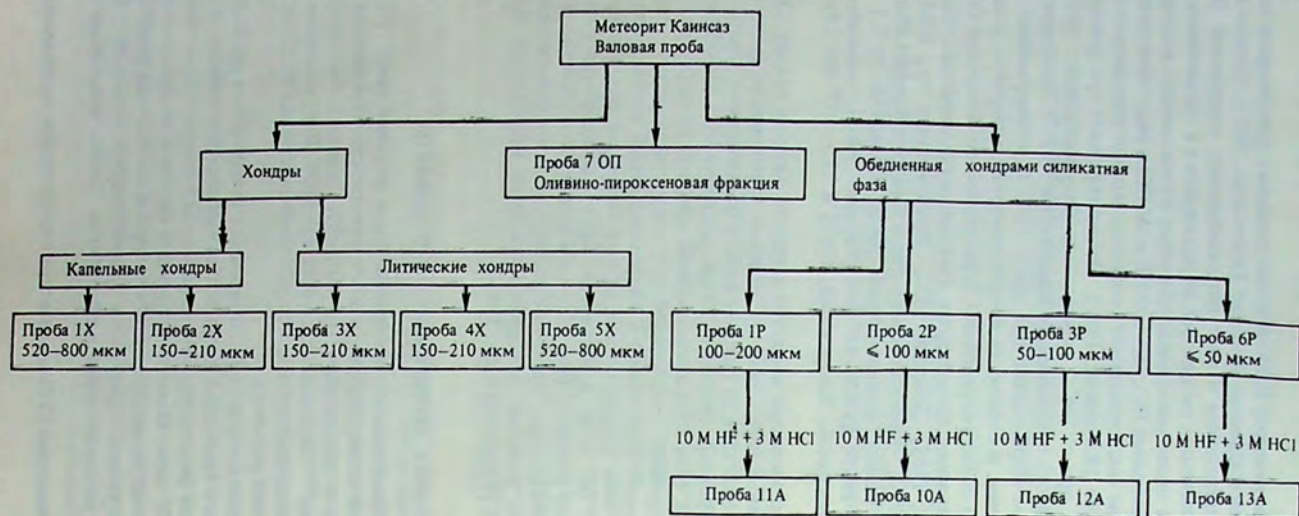
Вероятно, история ранней эволюции вещества хондрита Каинсаз такова [Лаврухина, 1983]: первичное интенсивное переплавление пылевой компоненты протосолнечного облака и частичная переоконденсация из газовой фазы с образованием хондр, минеральных агрегатов, металсульфидных сростков. Затем аккреция их в планетезимали совместно с нагретой до  $900^\circ\text{K}$  (или сконденсированной при этой температуре) тонкодисперсной компонентой (матрицей), содержащей летучие и среднелетучие компоненты. Затем имел место длительный термальный и гидротермальный метаморфизм при аккреции или в реголитном слое планетезимали за счет многократных ударных воздействий низкой амплитуды. Об этом, в частности, могут свидетельствовать гранулометрические характеристики хондрита [Baryshnikova et al., 1983; Fisenko et al., 1983; King, 1978]. Как показывают трековые данные, в аккумуляционный и постаккумуляционный периоды вещество хондрита Каинсаз не нагревалось выше  $200^\circ\text{C}$  в течение нескольких часов [Кашкаров и др., 1984].

#### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА И РЕЗУЛЬТАТЫ

Методика масс-спектрометрических измерений была описана ранее [Шуколюков и др., 1983]. Погрешность измерения изотопных отношений варьировала от долей до нескольких процентов в зависимости от распространенности изотопов. Погрешность измерения количества  $^{136}\text{Xe}$  составляла в среднем  $\pm 10\%$ . Для исследования были взяты три образца от индивидуального экземпляра хондрита Каинсаз № 15256. Методы сепарации на фракции для них различны.

1. Для одного из образцов массой 14,31 г в процессе ступенчатого дробления пробы до размера зерен 200 мкм в токе азота проводились магнитная сепарация и отбор под бинокуляром из силикатной фазы хондр разных размеров и оливин-пироксеновой фракции размером  $\leq (200-300)$  мкм. Последняя фракция состояла из прозрачных и не содержащих темных включений зерен. Обедненная хондрами силикатная фаза была разделена при помощи ультразвуковой обработки и седиментации в этиловом спирте на четыре фракции с разным размером зерен и плотностью. Схема разделения приведена на рис. 1.

В четырех фракциях с помощью CHN-анализатора определялись содержания С, Н и N.



Р и с. 1. Схема разделения хондрита Каинсаз на фракции (общая проба массой 14,31 г включает физическую сепарацию и растворение фракций кислотами НСl, НН + НСl)

Данные приведены ниже (мас. %):

| Проба | 1P   | 2P     | 3P   | 6P   |
|-------|------|--------|------|------|
| H     | 0,15 | 0,22   | 0,19 | 0,26 |
| C     | 0,58 | 0,58   | 1,04 | 1,2  |
| N     |      | <0,001 |      |      |

Анализ всех этих проб показал сложный изотопный состав Хе (табл. 1; рис. 2). В литических и капельных хондрах Хе состоит как минимум из двух компонентов. Капельные хондры больших размеров (проба 1X) имеют существенно меньший избыток  $^{129}\text{Xe}$  по сравнению с другими типами хондр. В литических хондрах относительная распространенность  $^{124}\text{Xe}$  выше, чем в капельных хондрах. Аналогичные тенденции наблюдаются и в силикатных фракциях разных размеров (пробы 1P, 2P, 3P и 6P), выделенных из обедненной хондрами силикатной фазы. В тонкодисперсной пробе (6P) отсутствует избыток  $^{129}\text{Xe}$  по сравнению с солнечным Хе. Согласно методике ее выделения (см. рис. 1) она должна содержать меньше по сравнению с более крупнозернистыми пробами минералов с высокой плотностью, в частности FeS, который является фазой-носителем избытка радиогенного  $^{129}\text{Xe}$  [Lewis et al., 1979].

Обращает на себя особое внимание изотопный состав Хе в оливин-пироксеновой фракции (проба 70П). Он показывает линейное масс-фракционирование с добавкой радиогенного  $^{129}\text{Xe}$ . Расчет показывает, что изотопный состав Хе этой фракции может быть объяснен смешением двух компонентов: планетарного Хе и атмосфероподобного ксенона.

Следует отметить, что содержание  $^{136}\text{Xe}$  в этой фракции минимально ( $2,0 \cdot 10^{-10} \text{ см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$ ), оно в 10 раз меньше, чем общее его содержание в силикатной фазе 1P (размер зерен 100–200 мкм). Концентрация  $^{136}\text{Xe}$  в силикатных фракциях увеличивается с уменьшением размеров зерен вплоть до 100 мкм (см. табл. 1), однако для проб с размерами  $\leq 100$  мкм она практически постоянна. Не зависит она и от плотности зерен (пробы 3P и 6P). Аналогичная картина наблюдается и для проб кислотно-нерастворимого остатка хондрита Allende CV разной плотности [Ott et al., 1981]. Содержание  $^{130}\text{Xe}$  для проб с  $d \leq 2,70 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$  вплоть до коллоидной фракции постоянно, оно резко уменьшается для проб с  $d > 2,70 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ . Содержание  $^{136}\text{Xe}$  в хондрах практически постоянно: не зависит от их типа и размеров. Среднее значение равно  $(11,8 \pm 2,0) \cdot 10^{-10} \text{ см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$ , оно в  $\sim 2$  раза ниже, чем содержание  $^{136}\text{Xe}$  в пробе 1P.

2. Второй образец массой 0,5 г подвергался длительному ( $\sim 2,5$  мес) воздействию насыщенного раствора LiCl (рис. 3). Остаток разделялся на две части. Одна часть обрабатывалась концентрированной  $\text{HNO}_3$  при  $t = -45 \div 100^\circ\text{C}$  в течение 22 ч; другая — раствором  $\text{CuCl}_2 + \text{NH}_4\text{Cl}$  с  $\text{pH} = 2$  при комнатной температуре в течение 9 ч. В остатке после обработки LiCl осталось  $\sim 30\%$  ксенона общей пробы (табл. 2). Имеется сходство изотопного состава Хе этой пробы (рис. 4) с таковым для оливин-пироксеновой фракции, за исключением более высокой распространенности  $^{124}\text{Xe}$ . Аналогичное обогащение  $^{124}\text{Xe}$  без соответствующего обогащения  $^{126}\text{Xe}$  наблюдалось ранее для некоторых температурных фракций хондр с сульфидной оболочкой из хондрита Allende [Lewis et al., 1979]. Интересно отметить, что остатки после обработки растворами  $\text{CuCl}_2 + \text{NH}_4\text{Cl}$  и концентрированной  $\text{HNO}_3$  в одинаковой степени немного ( $\sim 30\%$ ) обеднены Хе, хотя эти растворы должны растворять разные минералы (см. табл. 2). Первый остаток не содержит избытка  $^{129}\text{Xe}$  по сравнению с солнечным ветром, хотя оба остатка имеют избыток  $^{124}\text{Xe}$ .

3. Третий образец — силикатная фаза хондрита Каинсаз массой 9,88 г, измельченная до 300 мкм, которая обрабатывалась в соответствии со схемой рис. 5 по методике [Лаврухина и др., 1974]. Из данных табл. 2 следует, что содержание  $^{136}\text{Xe}$  в исследуемых остатках существенно меньше, чем в пробах силикатной фазы с размером зерен  $\leq 100$  мкм (пробы 2P, 3P и 6P; см. табл. 1), и сопоставимо с пробой 1P (100–200 мкм) и с пробами после обработки LiCl,  $\text{HNO}_3$  и  $\text{CuCl}_2 + \text{NH}_4\text{Cl}$  (см. табл. 2). Существенное снижение концентрации  $^{136}\text{Xe}$  наблюдается только после растворения остатка в раство-

Таблица 1

Концентрация  $^{136}\text{Xe}$  и изотопный состав Xe в хондрах  
и в объединенных хондрами силикатных фракциях

| Номер пробы | Проба                                         | $[^{136}\text{Xe}]$ ,<br>$10^{-10}\text{ см}^3/\text{г}$ | Изотопный         |  |
|-------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------|--|
|             |                                               |                                                          | $^{136}\text{Xe}$ |  |
| 70П         | Оливино-пироксеновая фракция<br>(200–300) мкм | 2,0±0,2                                                  | 2,032±6           |  |
| 1Х          | Хондры                                        |                                                          |                   |  |
|             | капельные, 520–800 мкм                        | 11,4±1,1                                                 | 2,057±10          |  |
| 2Х          | " 150–210 "                                   | 12,0±1,2                                                 | 2,004±8           |  |
| 3Х          | " 150–210 "                                   | 13,3±1,3                                                 | 1,972±6           |  |
| 4Х          | " 150–210 "                                   | 13,4±1,3                                                 | 1,984±6           |  |
| 5Х          | " 520–800 "                                   | 8,9±0,9                                                  | 2,049±6           |  |
|             | Объединенные хондрами силикатные фракции      |                                                          |                   |  |
| 1Р          | 100–200 мкм                                   | 21,7±2,2                                                 | 2,016±4           |  |
| 2Р          | $d < 100$ "                                   | 81,0±8                                                   | 1,980±4           |  |
| 3Р          | $100 > d > 50$ "                              | 73,0±7                                                   | 2,008±2           |  |
| 6Р          | $d < 50$ "                                    | 66,0±7                                                   | 1,942±4           |  |
|             | Атмосферный Xe                                | —                                                        | 2,182             |  |
|             | Солнечный Xe                                  |                                                          | 1,818±6           |  |

ре  $\text{CuCl}_2 + \text{NH}_4\text{Cl}$ , удаляющем мелкодисперсный металл из сростков его с силикатными и сульфидными минералами. Этот факт может указывать на то, что металлическая фаза хондрита Каинсаз содержит большие количества ксенона, обогащенного тяжелыми изотопами, хотя во всех первых четырех остатках в процессе селективного растворения (вплоть до обработки бромной водой) велика также доля компонента Xe, обогащенного легкими изотопами (рис. 6). В остатке после растворения основной доли оливина изотопный состав Xe аналогичен оливин-пироксеновой фракции (проба 70П; см. рис. 2, в), за исключением повышенной относительной распространенности  $^{124}\text{Xe}$ . Изотопный состав Xe в 1 М HCl (оливин) полностью соответствует планетарному Xe. По разности определяем, что растворенный оливин содержит  $^{136}\text{Xe}$   $28,5 \cdot 10^{-10}\text{ см}^3/\text{г}$ , а общая доля планетарного Xe в оливиновой фракции хондрита Каинсаз составляет 57% от общего ксенона во фракции, обработанной  $\text{H}_2\text{O}$ .

Таблица 2

Содержание  $^{136}\text{Xe}$  и вариации изотопного состава  
при селективном растворении минеральных фаз хондрита Каинсаз

| Химический реагент    | Растворенная фаза | $[^{136}\text{Xe}]$ в нерастворенном остатке,<br>$10^{-10}\text{ см}^3/\text{г}$ | Изотопный         |                   |
|-----------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
|                       |                   |                                                                                  | $^{136}\text{Xe}$ | $^{134}\text{Xe}$ |
| LiCl                  | —                 | 31,5±3,0                                                                         | 1,984±4           | 2,363±12          |
| LiCl, $\text{HNO}_3$  | (силикаты?)       | 21,8±2,2                                                                         | 2,074±8           | 2,471±18          |
| LiCl, $\text{CuCl}_2$ | металл            | 24,2±2,4                                                                         | 2,008±4           | 2,379±8           |
| $\text{H}_2\text{O}$  | хлориды, сульфаты | 21,0±2,1                                                                         | 2,000±6           | 2,372±10          |
| ЭДТА                  | фосфаты           | 27,9±2,8                                                                         | 2,024±4           | 2,390±8           |
| $\text{CuCl}_2$       | металл            | 16,2±1,6                                                                         | 2,008±6           | 2,367±10          |
| $\text{Br}_2$         | троилит           | 24,3±2,4                                                                         | 2,041±6           | 2,367±10          |
| 1 М HCl               | оливин            | 19,9±2,0                                                                         | 2,049±10          | 2,436±12          |
|                       | Планетарный Xe    | —                                                                                | 1,9963            | 2,3756            |

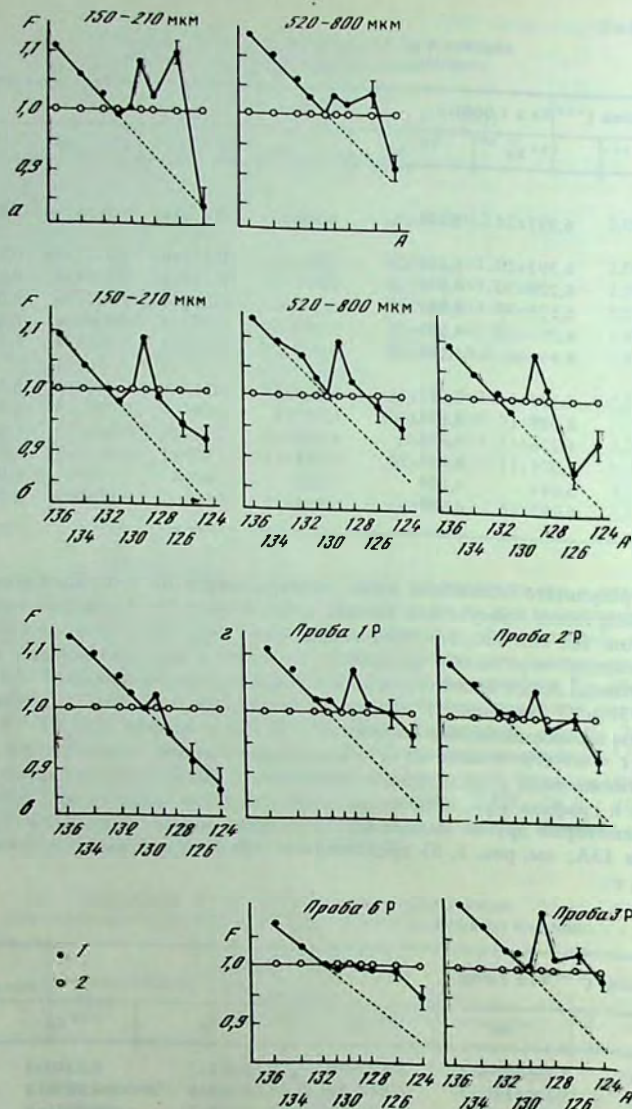
состав ксенона ( $^{130}\text{Xe} \equiv 1,000$ )

| $^{134}\text{Xe}$ | $^{133}\text{Xe}$ | $^{131}\text{Xe}$ | $^{129}\text{Xe}$ | $^{128}\text{Xe}$ | $^{126}\text{Xe}$ | $^{124}\text{Xe}$ |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 2,451±14          | 6,397±24          | 5,109±20          | 6,498±36          | 0,482±6           | 0,0236±10         | 0,0250±12         |
| 2,453±12          | 6,393±20          | 5,100±24          | 6,555±14          | 0,510±6           | 0,0267±14         | 0,0261±10         |
| 2,364±12          | 6,220±30          | 4,940±20          | 6,870±20          | 0,513±6           | 0,0284±6          | 0,0242±10         |
| 2,325±18          | 6,128±30          | 4,868±24          | 6,840±22          | 0,511±4           | 0,0227±6          | 0,0268±8          |
| 2,319±14          | 6,083±40          | 4,869±20          | 6,942±34          | 0,502±8           | 0,0244±6          | 0,0266±6          |
| 2,440±14          | 6,463±42          | 5,108±24          | 6,933±26          | 0,514±4           | 0,0254±4          | 0,0274±8          |
| 2,411±6           | 6,183±24          | 5,091±16          | 6,834±14          | 0,510±4           | 0,0260±6          | 0,0280±6          |
| 2,368±6           | 6,089±12          | 5,034±10          | 6,657±8           | 0,495±4           | 0,0259±4          | 0,0269±4          |
| 2,405±8           | 6,226±12          | 5,128±6           | 6,666±20          | 0,512±4           | 0,0267±4          | 0,0285±4          |
| 2,297±4           | 6,074±12          | 4,927±10          | 6,285±14          | 0,503±2           | 0,0256±2          | 0,0274±4          |
| 2,567             | 6,614             | 5,224             | 6,505             | 0,4708            | 0,02176           | 0,02335           |
| 2,239±8           | 6,062±16          | 4,988±11          | 6,354±17          | 0,504±3           | 0,0259±9          | 0,0290±7          |

Хотя в результате описанных выше экспериментов по сепарации минеральных фаз удалось обнаружить присутствие разных компонентов Хе в отдельных пробах, изотопные вариации все еще недостаточно велики для суждения о природе избытка тяжелых изотопов ксенона в углистых хондритах. Поэтому в ходе дальнейших экспериментов были применены более жесткие условия обработки выделенных проб. С этой целью пробы 1Р, 2Р, 3Р и 6Р (см. рис. 1) и остаток после обработки 1 М НСl по схеме рис. 5 были подвергнуты последовательной обработке 3 М НСl и смесью 10 М HF + 3 М НСl попеременно при  $t \approx 80^\circ\text{C}$  в течение 40 сут. Эта операция обычно применяется для отделения основных силикатных и сульфидных минералов от высокомолекулярных органических соединений и графита. При этом не растворяются также акцессорные хромит, шпинель, ибонит и некоторые другие минералы. Полученные таким путем КНО (пробы 6А, 10А, 11А, 12А и 13А; см. рис. 1, 5) представляют собой легкие, рыхлые, легко взмучиваю-

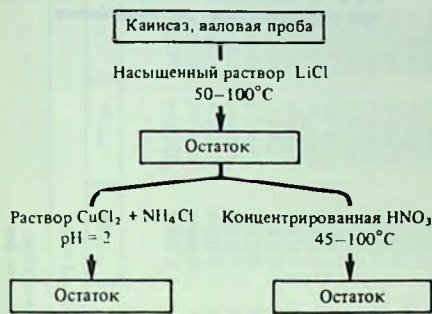
состав ксенона ( $^{130}\text{Xe} \equiv 1,000$ )

| $^{132}\text{Xe}$ | $^{131}\text{Xe}$ | $^{129}\text{Xe}$ | $^{128}\text{Xe}$ | $^{126}\text{Xe}$ | $^{124}\text{Xe}$ |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 6,301±20          | 5,105±20          | 6,484±20          | 0,498±2           | 0,0240±4          | 0,290±6           |
| 6,521±44          | 5,209±30          | 6,591±32          | 0,500±6           | 0,0236±8          | 0,313±6           |
| 6,128±14          | 4,994±10          | 6,291±12          | 0,506±2           | 0,0235±4          | 0,0293±6          |
| 6,174±18          | 5,074±16          | 6,782±20          | 0,512±6           | 0,0256±4          | 0,0300±4          |
| 6,370±26          | 5,160±16          | 6,771±28          | 0,502±4           | 0,0239±4          | 0,0285±4          |
| 6,215±12          | 5,114±12          | 6,578±20          | 0,510±4           | 0,0249±6          | 0,0311±6          |
| 6,224±26          | 5,061±24          | 6,412±30          | 0,496±4           | 0,0261±8          | 0,0284±4          |
| 6,438±20          | 5,227±10          | 6,625±20          | 0,496±4           | 0,0246±6          | 0,0297±6          |
| 6,2189            | 5,0809            | —                 | 0,50995           | 0,02550           | 0,02854           |



Р и с. 2. Изменение изотопного состава Xe по сравнению с ксеноном солнечного ветра для капельных (а) и литических (б) хондр разных размеров, оливин-пироксеновой фракции (70П) (в) и фракций разных размеров, выделенных из объединенной хондрами силикатной фазы (г)

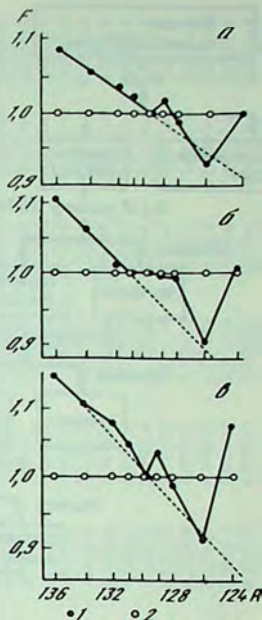
1 — пробы хондрита Каинсаз; 2 — солнечный ветер (BEOS-12 [Eberhardt et al., 1972]);  $F = (^{A}\text{Xe})/^{130}\text{Xe}$  пр  $(^{A}\text{Xe}/^{130}\text{Xe})$  солн. Xe



Р и с. 3. Разделение общей пробы массой 0,5 г

Р и с. 4. Изменение изотопного состава Хе по сравнению с ксеноном солнечного ветра в остатках, обработанных растворами LiCl (а),  $\text{CuCl}_2 + \text{NH}_4\text{Cl}$  (б) и концентрированной  $\text{HNO}_3$  (в)

Обозначения те же, что на рис. 2



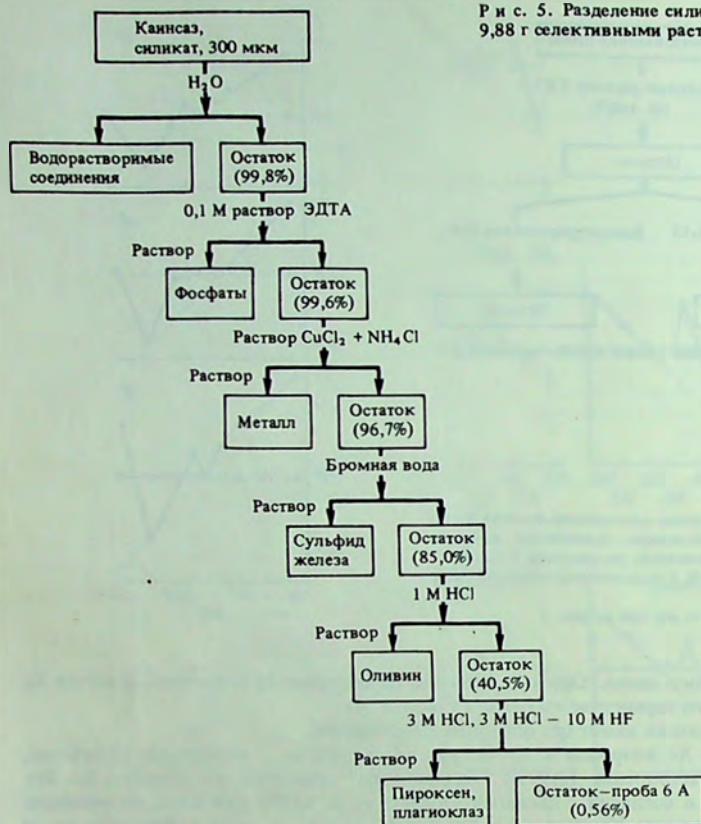
щиеся остатки черного цвета. Они исследованы на содержание и изотопный состав Хе методом ступенчатого термического отжига (табл. 3, 4).

Ксенон в этих остатках имеет три основные особенности.

1. Концентрация Хе возросла в 16–80 раз по сравнению с исходными остатками, что указывает на растворение ( $\geq 99\%$ ) "балластного" вещества, обедненного Хе. Эти значения находятся в согласии с данными [Alaerts et al, 1979] для  $\text{KNO}$ , полученного из общей пробы хондрита Каинсаз ( $^{132}\text{Xe}$ ) $_{\text{KNO}}/(^{132}\text{Xe})_{\text{общ}} = 58,3$ . Этот остаток содержит 56%  $^{132}\text{Xe}$  от начального его содержания. В наших остатках, выделенных из силикатных фаз, доля оставшегося Хе ( $^{136}\text{Xe}$ ) существенно меньше: для пробы 11А – 25,8%, 10А – 19,5, 12А – 34,1, 13А – 15,2 и 6А – 41,4%. Это обусловлено предварительной обработкой исследуемых образцов (см. рис. 1, 5). Очевидно некоторая доля Хе содержится в его фазах-носителях, находящихся в сростках с Fe, Ni-фазой, а в случае пробы 6А и в фазах, растворимых в воде. Но самое главное – это различие в размерах частиц и плотностях проб, а следовательно, и в минеральном составе. Так же как в исходных пробах (1Р, 2Р, 3Р и 6Р), в  $\text{KNO}$  не обнаружено резкого увеличения концентрации  $^{136}\text{Xe}$  с уменьшением размера зерен, а в самой мелкодисперсной пробе (13А) его количество даже в 1,64 раза меньше, чем в более крупнозернистой пробе (12А). Не наблюдается также зависимости между содержаниями общего С и  $^{136}\text{Xe}$ .

2. При термическом отжиге этих остатков наблюдаются несколько пиков скорости выделения Хе (рис. 7). Это указывает на нахождение Хе по крайней мере в четырех субфазах, отличающихся по диффузионным характеристикам или температурами химических превращений (разложение, взаимодействие с кислородом и углеродом и др.), а также фазовых переходов (графитизация). Максимумы скорости выделения соответствуют 1400, 1050–1100, 900–950 и 600°C. Последние три пика соответствуют максимумам на термограмме общей пробы хондрита Каинсаз [Вдовыкин, 1967]. Это свиде-

Р и с. 5. Разделение силикатной фазы массой 9,88 г селективными растворителями



тельствует о том, что носителями Хе в КНО являются углеродсодержащие фазы. Пробы с разной дисперсностью показывают различные соотношения амплитуд пиков на кривых выделения. Это указывает на различия в содержаниях субфаз в исследованных пробах. Примечательно, что характер кривых выделения Хе практически одинаков для проб 13А и 6А, полученных совершенно разными способами (см. рис. 1, 5), но содержащих большую долю тонкодисперсного углеродсодержащего вещества метеорита.

3. Избыток радиогенного  $^{129}\text{Xe}$  отсутствует в общих фракциях Хе, выделенных из исследованных КНО, а также в его фракциях при  $> 700\text{--}900^\circ\text{C}$  из проб 10А, 11А, 12А и при  $> 300\text{--}400^\circ\text{C}$  из мелкодисперсной пробы (13А) и КНО, полученного методом селективного растворения. Более того, для фракции Хе, выделенной из этого остатка при  $400^\circ\text{C}$ , наблюдается аномально низкое отношение  $^{129}\text{Xe}/^{130}\text{Xe} = 6,070$  (см. табл. 4). Соответствующая точка отклоняется вниз на 4% от точки солнечного ксенона. При этом имеется избыток других легких изотопов. Очевидно, воздействие на эту пробу бромной воды способствовало полному растворению троилита — основного носителя радиогенного  $^{129}\text{Xe}$ . В КНО-остатках хондрита Allende CV также не наблюдался избыток  $^{129}\text{Xe}$  по сравнению с солнечным ксенонem [Lewis et al., 1975, 1977].

Типичные кривые для изотопного состава Хе из КНО приведены на рис. 8, а для проб

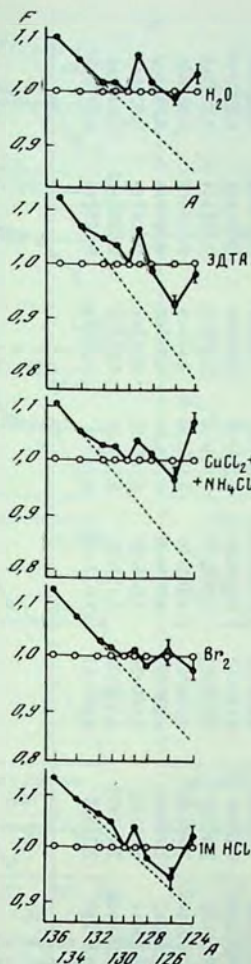
Таблица 3

Содержание  $^{136}\text{Xe}$  и вариации изотопного состава Xe при отжиге минеральных фаз, нерастворимых в 3 М HCl и 3 М HCl + 10 М HF и отличающихся размером зерен

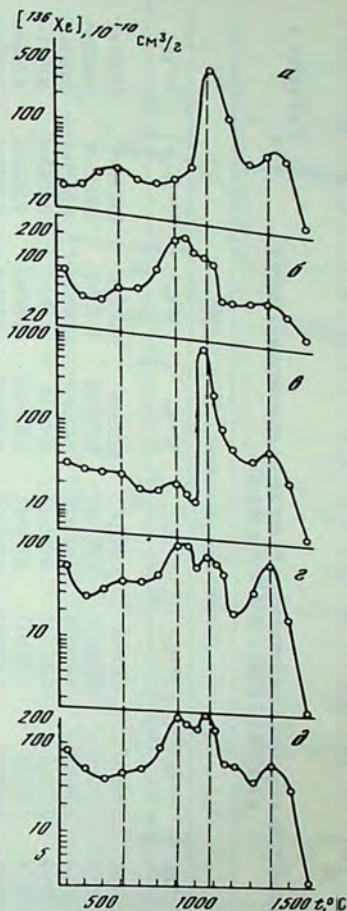
| Температура отжига, °C  | $[^{134}\text{Xe}],$<br>$10^{-16}\text{см}^3/\text{г}$ | Изотопный состав ксенона ( $^{130}\text{Xe} \equiv 1,000$ ) |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|-------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                         |                                                        | $^{134}\text{Xe}$                                           | $^{134}\text{Xe}$ | $^{132}\text{Xe}$ | $^{131}\text{Xe}$ | $^{129}\text{Xe}$ | $^{128}\text{Xe}$ | $^{126}\text{Xe}$ | $^{124}\text{Xe}$ |
| Проба 11 А, 100–200 мкм |                                                        |                                                             |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| 300                     | 16,9±1,7                                               | 1,992±8                                                     | 2,406±8           | 6,213±20          | 5,097±10          | 6,705±14          | 0,504±4           | 0,0233±4          | 0,0281±6          |
| 400                     | 18,6±1,9                                               | 1,941±4                                                     | 2,361±12          | 6,223±26          | 5,002±14          | 6,701±20          | 0,489±4           | 0,0252±6          | 0,0303±6          |
| 500                     | 25,3±2,5                                               | 1,957±6                                                     | 2,334±14          | 6,062±24          | 5,028±10          | 6,673±20          | 0,517±4           | 0,0258±6          | 0,0295±4          |
| 600                     | 31,2±3,1                                               | 1,938±4                                                     | 2,325±10          | 6,075±20          | 5,077±16          | 6,789±22          | 0,515±4           | 0,0259±4          | 0,0269±4          |
| 700                     | 26,1±2,6                                               | 1,930±2                                                     | 2,349±10          | 6,087±12          | 5,071±10          | 6,834±14          | 0,523±4           | 0,0258±6          | 0,0299±6          |
| 800                     | 26,1±2,6                                               | 2,008±4                                                     | 2,377±6           | 6,124±12          | 5,018±10          | 6,660±20          | 0,518±2           | 0,0261±4          | 0,0291±4          |
| 900                     | 27,8±2,8                                               | 1,942±6                                                     | 2,332±6           | 5,955±20          | 4,918±16          | 6,565±14          | 0,513±4           | 0,0262±4          | 0,0281±4          |
| 1000                    | 42,2±4,2                                               | 1,934±4                                                     | 2,317±6           | 5,837±12          | 4,868±6           | 6,373±14          | 0,512±2           | 0,0247±4          | 0,0274±4          |
| 1100                    | 614,0±61                                               | 1,953±2                                                     | 2,320±6           | 6,006±6           | 4,928±6           | 6,258±14          | 0,515±2           | 0,0267±4          | 0,0287±4          |
| 1200                    | 186,0±19                                               | 2,028±2                                                     | 2,397±4           | 6,239±18          | 5,069±10          | 6,369±6           | 0,511±2           | 0,0259±4          | 0,0286±4          |
| 1300                    | 53,7±5,4                                               | 1,996±4                                                     | 2,375±8           | 5,970±24          | 4,942±14          | 6,241±14          | 0,513±2           | 0,0263±4          | 0,0277±4          |
| 1400                    | 74,4±7,4                                               | 2,032±2                                                     | 2,394±8           | 6,083±6           | 5,034±10          | 6,349±20          | 0,518±4           | 0,0264±4          | 0,0305±4          |
| 1500                    | 68,3±6,8                                               | 2,020±4                                                     | 2,404±6           | 6,133±18          | 5,040±10          | 6,367±14          | 0,525±2           | 0,0281±4          | 0,0311±4          |
| 1600                    | 13,5±1,4                                               | 2,008±8                                                     | 2,415±10          | 6,218±36          | 5,076±24          | 6,436±24          | 0,534±6           | 0,0267±2          | 0,0299±4          |
| Сумма фракций           | 1224,0±122                                             | 1,976±4                                                     | 2,348±6           | 6,059±10          | 4,974±10          | 6,352±20          | 0,516±4           | 0,0265±4          | 0,0288±4          |
| Проба 10 А, < 100 мкм   |                                                        |                                                             |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| 300                     | 78,8±7,9                                               | 2,004±4                                                     | 2,385±4           | 6,230±12          | 5,080±6           | 6,623±20          | 0,495±4           | 0,0242±4          | 0,0250±4          |
| 400                     | 37,5±3,8                                               | 1,976±4                                                     | 2,369±6           | 6,156±14          | 5,097±10          | 6,725±10          | 0,510±4           | 0,0247±6          | 0,0269±6          |
| 500                     | 37,5±3,8                                               | 1,930±4                                                     | 2,338±6           | 6,125±6           | 4,998±8           | 6,513±14          | 0,496±2           | 0,0243±4          | 0,0258±4          |
| 600                     | 52,5±5,2                                               | 1,957±4                                                     | 2,360±10          | 6,162±20          | 5,094±10          | 6,569±20          | 0,514±4           | 0,0248±4          | 0,0278±4          |
| 700                     | 53,8±5,4                                               | 1,957±2                                                     | 2,346±4           | 6,106±12          | 5,084±12          | 6,469±20          | 0,505±4           | 0,0241±6          | 0,0262±6          |
| 800                     | 98,8±9,9                                               | 1,957±8                                                     | 2,336±4           | 6,094±12          | 5,053±10          | 6,385±14          | 0,507±4           | 0,0252±4          | 0,0258±4          |
| 900                     | 206,0±21                                               | 1,957±2                                                     | 2,342±8           | 6,115±14          | 5,012±10          | 6,286±20          | 0,487±4           | 0,0241±4          | 0,0245±4          |
| 950                     | 218,0±22                                               | 1,961±2                                                     | 2,321±4           | 6,082±12          | 5,029±10          | 6,327±20          | 0,504±4           | 0,0255±4          | 0,0269±4          |
| 1000                    | 180,0±18                                               | 1,972±4                                                     | 2,355±8           | 6,140±18          | 5,076±14          | 6,359±10          | 0,501±4           | 0,0254±4          | 0,0278±4          |
| 1050                    | 158,0±16                                               | 2,012±6                                                     | 2,374±8           | 6,231±12          | 5,153±10          | 6,475±14          | 0,511±4           | 0,0237±4          | 0,0278±4          |
| 1100                    | 139,0±14                                               | 2,012±4                                                     | 2,388±8           | 6,136±18          | 5,090±10          | 6,376±12          | 0,503±4           | 0,0235±4          | 0,0284±4          |
| 1150                    | 45,7±4,6                                               | 2,150±6                                                     | 2,492±10          | 6,267±20          | 5,198±16          | 6,417±30          | 0,520±6           | 0,0264±4          | 0,0292±4          |
| 1200                    | 47,1±4,7                                               | 2,070±4                                                     | 2,453±6           | 6,099±18          | 5,107±10          | 6,211±18          | 0,509±6           | 0,0238±4          | 0,0275±4          |
| 1300                    | 45,7±4,6                                               | 2,132±4                                                     | 2,514±8           | 6,288±12          | 5,219±10          | 6,384±12          | 0,514±4           | 0,0277±4          | 0,0286±4          |
| 1400                    | 48,6±4,9                                               | 2,032±4                                                     | 2,425±8           | 6,097±12          | 5,012±8           | 6,156±12          | 0,496±2           | 0,0252±4          | 0,0266±4          |
| 1500                    | 38,6±3,9                                               | 2,079±8                                                     | 2,480±8           | 6,274±12          | 5,135±14          | 6,424±24          | 0,511±4           | 0,0266±4          | 0,0276±4          |
| 1600                    | 21,4±2,1                                               | 2,123±4                                                     | 2,545±12          | 6,416±12          | 5,244±10          | 6,384±12          | 0,539±4           | 0,0242±4          | 0,0248±6          |
| Сумма фракций           | 1507,0±150                                             | 2,000±6                                                     | 2,376±10          | 6,158±18          | 5,084±14          | 6,398±20          | 0,504±6           | 0,0248±4          | 0,0268±4          |

Таблица 3 (окончание)

| Температура отжига, °C | { <sup>134</sup> Xe/ <sup>136</sup> Xe},<br>10 <sup>-10</sup> см <sup>3</sup> /г | Изотопный состав ксенона ( <sup>136</sup> Xe ≈ 1,000) |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                        |                                                                                  | <sup>136</sup> Xe                                     | <sup>134</sup> Xe | <sup>134</sup> Xe | <sup>132</sup> Xe | <sup>131</sup> Xe | <sup>131</sup> Xe | <sup>130</sup> Xe | <sup>130</sup> Xe | <sup>129</sup> Xe | <sup>129</sup> Xe |
| Проба 12 А, 50–100 мкм |                                                                                  |                                                       |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| 300                    | 31,0±3,0                                                                         | 2,008±4                                               | 2,405±4           | 6,235±20          | 5,008±16          | 6,486±26          | 0,504±6           | 0,0237±6          | 0,0269±4          |                   |                   |
| 400                    | 28,9±2,5                                                                         | 1,930±6                                               | 2,318±6           | 6,040±18          | 5,027±16          | 6,366±14          | 0,494±6           | 0,0239±4          | 0,0245±4          |                   |                   |
| 500                    | 27,9±2,8                                                                         | 1,887±4                                               | 2,288±10          | 5,930±20          | 4,903±16          | 6,350±14          | 0,504±2           | 0,0226±4          | 0,0289±4          |                   |                   |
| 600                    | 27,9±2,8                                                                         | 1,901±8                                               | 2,323±8           | 6,060±26          | 5,023±16          | 6,541±26          | 0,517±4           | 0,0266±4          | 0,0291±4          |                   |                   |
| 700                    | 19,6±2,0                                                                         | 1,923±6                                               | 2,307±6           | 6,100±14          | 5,067±16          | 6,577±22          | 0,513±6           | 0,0236±4          | 0,0279±4          |                   |                   |
| 800                    | 19,6±2,0                                                                         | 1,912±6                                               | 2,311±6           | 6,061±14          | 4,975±12          | 6,531±26          | 0,510±4           | 0,0243±4          | 0,0304±4          |                   |                   |
| 900                    | 23,2±2,3                                                                         | 1,953±4                                               | 2,363±10          | 6,174±14          | 5,023±16          | 6,574±20          | 0,510±4           | 0,0242±4          | 0,0267±6          |                   |                   |
| 950                    | 18,9±1,9                                                                         | 1,919±8                                               | 2,315±8           | 6,063±20          | 4,975±10          | 6,505±26          | 0,516±4           | 0,0267±6          | 0,0282±6          |                   |                   |
| 1000                   | 16,5±1,6                                                                         | 1,908±4                                               | 2,315±8           | 6,033±36          | 5,006±32          | 6,315±8           | 0,517±4           | 0,0231±4          | 0,0271±4          |                   |                   |
| 1050                   | 952,0±95                                                                         | 1,964±2                                               | 2,344±4           | 6,177±6           | 5,071±6           | 6,269±12          | 0,491±2           | 0,0247±2          | 0,0257±6          |                   |                   |
| 1100                   | 248,0±25                                                                         | 2,012±2                                               | 2,402±4           | 6,257±12          | 5,112±10          | 6,448±14          | 0,511±2           | 0,0257±4          | 0,0298±4          |                   |                   |
| 1150                   | 116,0±12                                                                         | 2,000±4                                               | 2,356±8           | 6,092±12          | 4,990±10          | 6,224±14          | 0,496±2           | 0,0260±4          | 0,0276±4          |                   |                   |
| 1200                   | 64,5±6,4                                                                         | 2,066±4                                               | 2,423±8           | 6,120±12          | 5,029±10          | 6,281±18          | 0,506±4           | 0,0248±6          | 0,0275±4          |                   |                   |
| 1300                   | 49,0±5,0                                                                         | 2,032±4                                               | 2,406±6           | 6,150±12          | 5,057±6           | 6,256±12          | 0,494±4           | 0,0262±4          | 0,0276±4          |                   |                   |
| 1400                   | 60,0±6,0                                                                         | 2,045±2                                               | 2,405±4           | 6,110±12          | 5,029±10          | 6,307±6           | 0,511±2           | 0,0253±2          | 0,0248±2          |                   |                   |
| 1500                   | 29,2±3,0                                                                         | 2,045±4                                               | 2,399±8           | 6,110±12          | 5,045±10          | 6,241±12          | 0,511±2           | 0,0264±4          | 0,0290±4          |                   |                   |
| 1600                   | 6,0±0,6                                                                          | 2,066±4                                               | 2,434±14          | 6,372±18          | 5,183±14          | 6,642±6           | 0,535±4           | 0,0258±6          | 0,0266±4          |                   |                   |
| Сумма фракций          | 1738,2±174                                                                       | 1,980±4                                               | 2,358±6           | 6,162±14          | 5,057±12          | 6,315±17          | 0,497±4           | 0,0249±4          | 0,0269±6          |                   |                   |
| Проба 13 А, < 50 мкм   |                                                                                  |                                                       |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| 300                    | 61,6±6,2                                                                         | 1,930±4                                               | 2,317±10          | 5,998±20          | 4,946±16          | 6,490±16          | 0,515±4           | 0,0249±4          | 0,0274±4          |                   |                   |
| 400                    | 28,7±2,9                                                                         | 1,930±8                                               | 2,332±12          | 5,980±36          | 4,986±34          | 6,878±42          | 0,527±6           | 0,0266±8          | 0,0311±8          |                   |                   |
| 500                    | 35,9±3,6                                                                         | 1,876±6                                               | 2,247±8           | 5,866±12          | 4,876±20          | 6,452±20          | 0,504±4           | 0,0259±4          | 0,0300±4          |                   |                   |
| 600                    | 46,2±4,6                                                                         | 1,890±6                                               | 2,296±14          | 5,990±18          | 4,945±30          | 6,427±34          | 0,512±4           | 0,0240±8          | 0,0295±6          |                   |                   |
| 700                    | 48,0±4,8                                                                         | 1,977±7                                               | 2,331±10          | 5,946±24          | 4,929±16          | 6,275±20          | 0,516±2           | 0,0268±6          | 0,0274±4          |                   |                   |
| 800                    | 55,4±5,5                                                                         | 1,945±8                                               | 2,340±10          | 5,947±24          | 4,959±16          | 6,212±12          | 0,531±4           | 0,0272±6          | 0,0301±6          |                   |                   |
| 900                    | 135,0±14                                                                         | 1,848±12                                              | 2,236±20          | 5,639±60          | 4,800±50          | 6,153±66          | 0,523±4           | 0,0257±4          | 0,0288±4          |                   |                   |
| 950                    | 134,0±13                                                                         | 1,930±6                                               | 2,303±10          | 5,828±12          | 4,855±20          | 5,907±18          | 0,511±4           | 0,0282±4          | 0,0282±6          |                   |                   |
| 1000                   | 79,4±7,9                                                                         | 1,965±5                                               | 2,342±10          | 6,043±18          | 5,067±20          | 6,383±20          | 0,521±2           | 0,0261±6          | 0,0308±4          |                   |                   |
| 1050                   | 102,0±10                                                                         | 1,949±10                                              | 2,318±18          | 5,883±24          | 4,871±16          | 6,144±12          | 0,522±4           | 0,0261±8          | 0,0318±8          |                   |                   |
| 1100                   | 85,0±8,0                                                                         | 1,996±3                                               | 2,351±4           | 6,032±12          | 5,042±12          | 6,365±30          | 0,529±4           | 0,0272±4          | 0,0313±4          |                   |                   |
| 1150                   | 62,8±6,3                                                                         | 2,012±14                                              | 2,366±18          | 5,752±60          | 4,819±40          | 6,078±60          | 0,507±10          | 0,0247±8          | 0,0322±6          |                   |                   |
| 1200                   | 24,0±2,4                                                                         | 2,079±8                                               | 2,438±16          | 6,299±30          | 5,108±24          | 6,557±24          | 0,532±4           | 0,0274±10         | 0,0316±10         |                   |                   |
| 1300                   | 40,6±4,1                                                                         | 2,037±8                                               | 2,373±12          | 5,994±30          | 5,000±24          | 6,248±24          | 0,509±4           | 0,0248±6          | 0,0295±4          |                   |                   |
| 1400                   | 96,7±9,7                                                                         | 2,057±4                                               | 2,422±40          | 6,177±18          | 5,082±16          | 6,362±18          | 0,514±2           | 0,0273±4          | 0,0286±4          |                   |                   |
| 1500                   | 21,7±2,2                                                                         | 2,049±8                                               | 2,406±14          | 6,243±18          | 5,074±28          | 6,360±30          | 0,531±4           | 0,0264±8          | 0,0285±8          |                   |                   |
| 1600                   | 1,7±0,2                                                                          | 2,062±14                                              | 2,416±18          | 6,288±48          | 5,325±52          | 6,412±48          | 0,524±4           | 0,0270±10         | 0,0291±10         |                   |                   |
| Сумма фракций          | 1058,7±106                                                                       | 1,957±8                                               | 2,327±14          | 5,929±30          | 4,935±20          | 6,252±30          | 0,518±4           | 0,0262±6          | 0,0293±6          |                   |                   |



Р и с. 6. Изменение изотопного состава Xe по сравнению с ксеноном солнечного ветра в остатках, полученных методом селективного растворения по схеме рис. 5.  
Обозначения те же, что на рис. 2



Р и с. 7. Кривые выделения Xe при термическом отжиге КНО хондрита Кайнасз  
а — проба 11А, размер частиц 100–200 мкм; б — проба 10 А, d < 100 мкм; в — проба 12А, 100 > d > 50 мкм; г — проба 13А, d < 50 мкм; д — проба 6А

10–13А и на рис. 8, б для пробы 6А. В некоторых температурных фракциях  $F_{124} > F_{126}$  (см. рис. 8). Для большинства температурных фракций типична изотопная структура, представленная на рис. 8, а; тяжелые изотопы лежат на линии масс-фракционирования, подобной таковой для оливин-пироксеновой фазы (70П), легкие изотопы также избыточны. Для многих температурных фракций, выделенных из пробы 6А, линейное расположение точек для  $^{136}\text{Xe}/^{130}\text{Xe}$ ,  $^{134}\text{Xe}/^{130}\text{Xe}$ ,  $^{132}\text{Xe}/^{130}\text{Xe}$  нарушено, осо-

Таблица 4

Содержание  $^{136}\text{Xe}$  и вариации изотопного состава Xe при отжиге нерастворимого остатка  
в 3 М HCl и 3 М HCl + 10 М HF (проба 6 А)

| Температура отжига, °C | $[^{136}\text{Xe}],$<br>$10^{-10}\text{ см}^3\text{г}^{-1}$ | Изотопный состав ксеона ( $^{130}\text{Xe} = 1,000$ ) |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                        |                                                             | $^{136}\text{Xe}$                                     | $^{134}\text{Xe}$ | $^{132}\text{Xe}$ | $^{131}\text{Xe}$ | $^{129}\text{Xe}$ | $^{128}\text{Xe}$ | $^{126}\text{Xe}$ | $^{124}\text{Xe}$ |
| 300                    | 86,1±8,6                                                    | 1,916±4                                               | 2,306±4           | 6,023±8           | 5,002±6           | 6,580±8           | 0,507±2           | 0,0258±4          | 0,0297±2          |
| 400                    | 50,4±5,0                                                    | 1,992±4                                               | 2,390±8           | 6,203±11          | 5,094±10          | 6,070±14          | 0,510±2           | 0,0265±4          | 0,0289±4          |
| 500                    | 39,4±3,9                                                    | 1,927±4                                               | 2,352±10          | 6,019±26          | 4,967±20          | 6,420±14          | 0,497±2           | 0,0239±6          | 0,0256±6          |
| 600                    | 45,5±4,6                                                    | 1,919±4                                               | 2,315±8           | 6,065±12          | 4,986±12          | 6,453±8           | 0,505±2           | 0,0263±4          | 0,0271±4          |
| 700                    | 51,7±5,2                                                    | 1,927±4                                               | 2,320±8           | 6,021±12          | 5,040±12          | 6,420±14          | 0,493±2           | 0,0262±6          | 0,0268±4          |
| 800                    | 99,6±10,0                                                   | 1,938±6                                               | 2,314±10          | 5,986±12          | 4,977±16          | 6,306±20          | 0,504±4           | 0,0275±4          | 0,0275±4          |
| 900                    | 218,0±22                                                    | 1,945±2                                               | 2,321±8           | 6,058±18          | 5,027±16          | 6,325±14          | 0,502±2           | 0,0251±4          | 0,0280±4          |
| 950                    | 192,0±19                                                    | 1,964±4                                               | 2,355±6           | 6,121±14          | 5,069±12          | 6,306±14          | 0,503±2           | 0,0247±4          | 0,0277±4          |
| 1000                   | 170,0±17                                                    | 1,972±2                                               | 2,335±6           | 6,085±12          | 5,063±10          | 6,331±14          | 0,509±4           | 0,0254±2          | 0,0280±4          |
| 1050                   | 199,0±20                                                    | 1,976±4                                               | 2,360±6           | 6,101±12          | 5,037±10          | 6,286±12          | 0,504±2           | 0,0249±4          | 0,0269±2          |
| 1100                   | 166,0±17                                                    | 2,000±6                                               | 2,412±8           | 6,180±12          | 5,100±10          | 6,302±6           | 0,502±4           | 0,0246±4          | 0,0270±4          |
| 1150                   | 65,6±6,6                                                    | 2,032±4                                               | 2,400±8           | 6,183±12          | 5,016±10          | 6,221±12          | 0,494±4           | 0,0258±4          | 0,0272±4          |
| 1200                   | 62,9±6,3                                                    | 2,058±2                                               | 2,436±8           | 6,220±12          | 5,043±10          | 6,313±12          | 0,498±4           | 0,0253±4          | 0,0292±4          |
| 1300                   | 41,2±4,1                                                    | 2,032±4                                               | 2,400±8           | 6,108±12          | 4,965±16          | 6,185±12          | 0,494±4           | 0,0244±4          | 0,0276±4          |
| 1400                   | 77,7±7,8                                                    | 1,992±2                                               | 2,370±4           | 6,087±12          | 4,974±10          | 6,243±8           | 0,492±2           | 0,0241±4          | 0,0271±2          |
| 1500                   | 35,4±3,5                                                    | 2,024±4                                               | 2,401±12          | 6,180±20          | 5,046±20          | 6,265±18          | 0,512±2           | 0,0251±4          | 0,0281±4          |
| 1600                   | 2,8±0,3                                                     | 2,016±10                                              | 2,441±16          | 6,419±32          | 5,177±20          | 6,645±20          | 0,524±6           | 0,0260±12         | 0,0312±6          |
| Сумма фракций          | 1603,3±160                                                  | 1,972±4                                               | 2,355±8           | 6,097±12          | 5,033±16          | 6,337±4           | 0,503±4           | 0,0252±4          | 0,0276±4          |

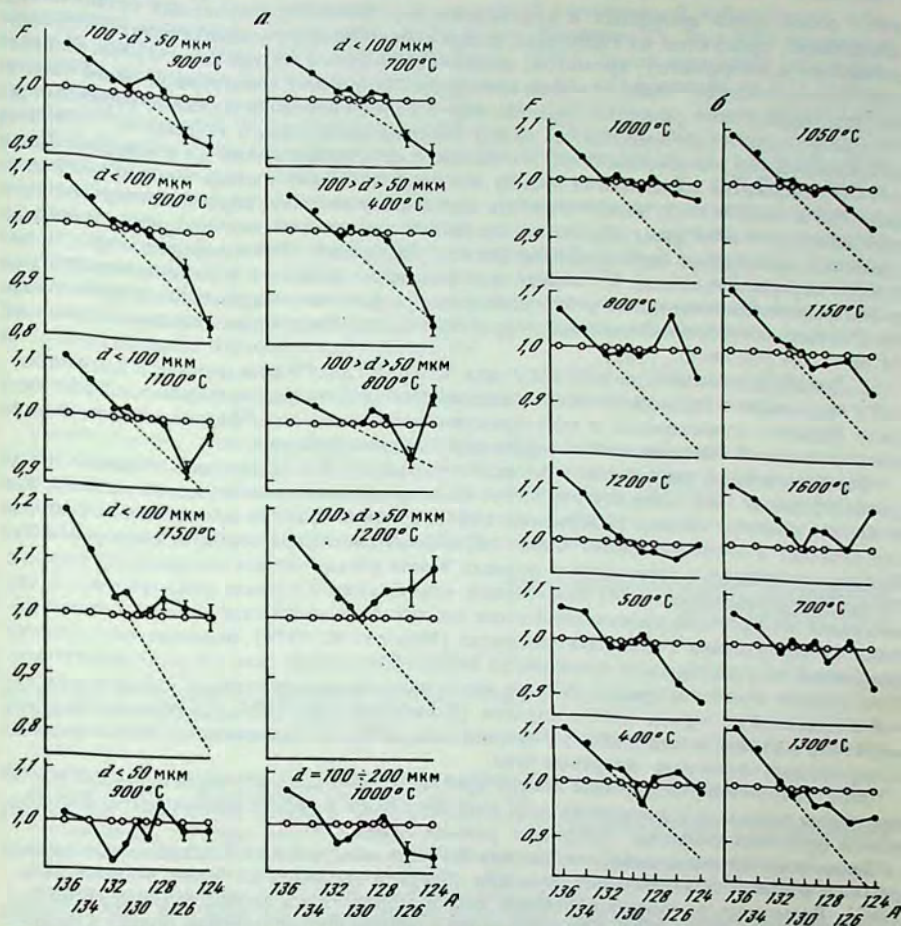


Рис. 8. Типичные изотопные компоненты Xe, выделяющиеся при разных температурах отжига КНО силикатных фракций с разной величиной зерен

а — пробы 10–13А; б — проба 6А, полученная методом селективного растворения (см. рис. 5)

бенно четко это видно на рис. 8, б. В сравнении с масс-фракционированным Хе имеется избыток  $^{134}\text{Xe}$ . Это может указывать на присутствие в этих газовых фракциях плутоненного Хе (или от спонтанного деления изотопов кюрия). Для продуктов спонтанного деления  $^{244}\text{Pu}$  отношение  $^{134}\text{Xe}/^{136}\text{Xe} = 0,94$ .

#### ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

На основании анализа содержаний Хе и его изотопного состава в разделенных различными методами пробах хондритах Каинсаз СО можно сделать следующие выводы.

1. Основная часть захваченного ксенона (98%) содержится в оливине (1 М НСl) и остатках, нерастворимых в 3 М НСl и 10 М НF + 3 М НСl (КНО). Последние представ-

ляют собой смесь аморфных и кристаллических высокомолекулярных органических соединений, продуктов их гидролиза, деструкции и полимеризации, графита (кристаллического и аморфного), хромитов, шпинелей, ибонита и других акцессорных минералов. Они составляют ~0,6% от массы метеорита. Повышение концентрации захваченного Хе при уменьшении размеров (или плотности) зерен исходной пробы не наблюдается. Не обнаружена также зависимость между содержаниями общего углерода и  $^{136}\text{Xe}$ . Это объясняется тем обстоятельством, что большая доля планетарного Хе в хондрите Каинсаз СО содержится в оливине (1 М НСl), который по своему составу (высокое содержание СаО и низкое FeO) может отвечать первичному оливину, образованному при конденсации из газовой фазы солнечного состава. В других углистых хондритах, имеющих признаки термального метаморфизма (низкое содержание СаО в оливине и др.), произошли перераспределение Хе между минеральными фазами и его концентрирование в поверхностных пленках из углеродсодержащих фаз, как, например, в хондрите Allende CV, для которого наблюдается корреляция между содержаниями углерода и планетарного Хе [Ott et al., 1981].

2. Линейная зависимость величин  $F$  для  $^{136}\text{Xe}$ ,  $^{134}\text{Xe}$ ,  $^{132}\text{Xe}$  и иногда  $^{131}\text{Xe}$  от массового числа может быть обусловлена смешением двух основных компонентов Хе в хондрите Каинсаз: планетарного и масс-фракционированного атмосфероподобного. Фазой-носителем такой смеси является оливин-пироксеновая фракция.

Фазой-носителем планетарного Хе является оливин. Эти минералы в углистых хондритах обеднены FeO. Поэтому они могут быть представителями первичного конденсата в протопланетном облаке [Лаврухина, 1983], войти в качестве основных фаз в состав протопланет и после дегазации планет обусловить изотопный состав атмосферного Хе. Низкое содержание в атмосфере и породах Земли и в некоторых изверженных породах Луны [Lightner, Marti, 1974] планетарной компоненты Хе может указывать на то, что аккреция их прототел происходила после полной диссипации газа протопланетного облака. Ее присутствие в углистых хондритах [Mazor et al., 1970], очевидно, обусловлено аккрецией их родительских прототел до полной диссипации газа. Об этом свидетельствует низкая плотность треков  $\nu\text{H}$ -ядер низкоэнергетичных солнечных космических лучей в оливиновых зернах этих хондритов [Кашкаров и др., 1984; Короткова, Лаврухина, 1979; Кузнецова и др., 1983; Goswami, Lal, 1979] по сравнению с СМ-хондритами, содержащими солнечные инертные газы.

Этот, безусловно, интересный вопрос требует дальнейшего изучения и, прежде всего, получения данных о содержаниях всех инертных газов в чистых оливиновых и пироксеновых фракциях углистых хондритов разных групп.

Ранее атмосфероподобная компонента Хе была обнаружена в КНО железных метеоритов и в одной температурной фракции хондрита Еленовка L5 [Dang Vu Minh et al., 1983]. Возможно, атмосфероподобный ксенон образуется в процессе масс-фракционирования из первичного планетарного ксенона в раннем протопланетном облаке в процессе диффузии при нагреве (или переплавлении) пылевых частиц. Если это общепланетарный процесс, то тогда устраняется трудность концепции [Шуколюков, 1983; Шуколюков, Данг Ву Минь, 1981] о большой роли дегазации железного ядра Земли в образовании Хе атмосферы. Она заключается в чрезвычайно низкой концентрации Хе в железных метеоритах (они претерпели процессы дегазации в родительских телах).

3. Для объяснения изотопного состава Хе в остальных исследованных пробах необходима добавка других компонентов Хе.

Радиогенная компонента  $^{129}\text{Xe}$ , образовавшаяся за счет распада  $^{129}\text{I}$  ( $T_{1/2} = 17,2 \cdot 10^6$  лет). Она ассоциирует с троилитом (и, возможно, с другими сульфидными); практически отсутствует в пробах после кислотной обработки.

Космогенная компонента — результат воздействия космических лучей на всех стадиях эволюции метеоритного вещества. Для хондр и силикатных фракций разного зернения (см. табл. 1, рис. 2) был вычислен средний изотопный состав этой компоненты путем вычитания масс-фракционированного Хе, наблюдаемого в оливин-пироксеновой фракции,  $^{124}\text{Xe}$ :  $^{126}\text{Xe}$ :  $^{128}\text{Xe}$ :  $^{129}\text{Xe}$ :  $^{130}\text{Xe}$ :  $^{131}\text{Xe} = (0,90 \pm 0,15) : \approx 1,00$ :

:  $(0,60 \pm 0,05)$  :  $(0,80 \pm 0,20)$  :  $(0,20 \pm 0,05)$  :  $(0,20 \pm 0,05)$ . Он отличается малой распространенностью.  $^{131}\text{Xe}$  по сравнению с космогенной компонентой, наблюдаемой в базальтических ахондритах [Лаврухина, 1972] и при облучении Cs, Ba и РЗЭ протонами высоких энергий [Kaiser, 1977; Hohenberg, Rowe, 1970]. Такой изотопный состав космогенной компоненты Xe можно получить только в  $(p, xn)$ -реакциях на  $^{127}\text{I}$ . Наблюдаемая повышенная распространенность  $^{124}\text{Xe}$  (по сравнению с  $^{126}\text{Xe}$ ) обусловлена реакцией  $^{127}\text{I} (p, 4n) ^{124}\text{Xe}$ . Ассоциация избытков  $^{124}\text{Xe}$  и радиогенного  $^{129}\text{Xe}$  (см. рис. 2, б, 6) и для хондр с сульфидными каемками хондрита Allende [Lewis et al., 1979] свидетельствует об этом. Наблюдаемый спектр легких изотопов Xe ( $^{124}\text{Xe} \gg ^{126}\text{Xe}$ ) можно объяснить тем, что облучение в данном случае протекает в условиях экранировки ядер-мишени (обогащенных иодом фаз), в результате чего величина  $E_{\text{обр}}$  энергетического спектра космических лучей достигает значения  $\geq 50$  MeV (максимум функции возбуждения указанной реакции), когда выход реакции  $^{127}\text{I} (p, 2n) ^{126}\text{Xe}$  сильно снижается. Таким образом, разные спектры изотопного состава космогенной компоненты Xe в исследованных пробах можно объяснить облучением обогащенных иодом фаз при разной толщине экранирующего материала.

Компоненте спонтанного деления  $^{244}\text{Pu}$ ,  $^{248}\text{Cm}$  и др. Найдено, что в капельных хондрих размером 520–800 мкм доля этой компоненты составляет  $\sim 1\%$  от распространенности  $^{136}\text{Xe}$ .

Таким образом, показана многокомпонентность изотопного состава Xe в изученных пробах хондрита Кансаз СО. Вместе с тем использованная в данной работе методика сепарации не позволила получить пробы, обогащенные Xe-X (CCFXe), который имеет одновременно избытки легких и тяжелых изотопов. Для этого необходимо дальнейшее воздействие на выделенные пробы химически более активных веществ.

Статья поступила в Комитет по метеоритам  
АН СССР в марте 1984 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Вдовыкин Г.П. Углеродистое вещество метеоритов. М.: Наука, 1967. 271 с.  
Вдовыкин Г.П. Метеориты. М.: Наука, 1974. 181 с.  
Виноградов А.П., Задорожный И.К. Инертные газы в каменных метеоритах. — Геохимия, 1964, № 7, с. 587–600.  
Виноградов А.П., Задорожный И.К. Космогенные, радиогенные и первичные инертные газы в каменных метеоритах. — Метеоритика, 1965, вып. 26, с. 77–90.  
Герлинг Э.К. Современное состояние аргонного метода определения возраста и его применение в геологии. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1961. 131 с.  
Кашкаров Л.Л., Калинина Г.В., Лаврухина А.К. Радиационная история вещества углистого хондрита Кансаз СО по данным трековых исследований. — В кн.: Тез. докл. на XIX Всесоюз. конф. по метеоритике и космохимии. М.: ГЕОХИ АН СССР, 1984, с. 53–54.  
Короткова Н.Н., Лаврухина А.К. Доаккреционное облучение кристаллов оливина низкоэнергетичными ядрами космических лучей? — Геохимия, 1979, № 9, с. 1267–1280.  
Кузнецова Р.И., Короткова Н.Н., Лаврухина А.К. Этапы облучения протопланетного вещества космическими лучами. — Геохимия, 1983, № 5, с. 643–652.  
Лаврухина А.К. Ядерные реакции в космических телах. М.: Наука, 1972. 252 с.  
Лаврухина А.К. О природе изотопных аномалий в метеоритах. — Метеоритика, 1982, вып. 41, с. 78–92.  
Лаврухина А.К. О генезисе вещества углистых хондритов. Геохимия, 1983, № 11, с. 1535–1558.  
Лаврухина А.К., Чубарова А.В., Сажина Н.К., Кашкарова В.Г. Распределение некоторых элементов в минеральных фракциях хондрита Саратов. — Метеоритика, 1974, вып. 33, с. 130–133.  
Левский Л.К. Изотопный состав первичного аргона. — Геохимия, 1972, № 6, с. 707–712.  
Шуколюков Ю.А. Вопросы геохимии радиогенных изотопов. — Геохимия, 1983, № 3, с. 333–347.  
Шуколюков Ю.А. Данг Ву Минь. Изотопы благородных газов и эволюция атмосферы Земли. — Геохимия, 1981, № 12, с. 1763–1778.  
Шуколюков Ю.А., Данг Ву Минь, Симоновский В.И. Сравнительное изучение изотопного состава ксенона в новом метеорите Кайдуй и в углистых хондриках Mighei (C2M), Kainsaz (C30) и Ефремовка (C3V). — Геохимия, 1983, № 1, с. 54–63.  
Alaerts L., Lewis R.S., Anders E. Isotopic anomalies of noble gases in meteorites and their origins. IV. C3 (Ormans) carbonaceous chondrites. — Geochim. et cosmochim. acta, 1979, vol. 43, N 9, p. 1421–1432.

- Baryshnikova G.V., Stakheev Yu.I., Rukhman G.G., Lavrukina A.K. Petrography, morphology and distribution of sizes of the chondrules from the Kainsaz carbonaceous chondrite (C30). — In: Lunar and planetary science conf., XIV. Houston, 1983, p. 21–22.
- Clayton D.D. Extinct radioactivities: Trapped residuals of presolar grains. — *Astrophys. J.*, 1975, vol. 199, N 2, pt 1, p. 765–769.
- Goswami J.N., Lal D. Formation of the parent bodies of the carbonaceous chondrites. — *Icarus*, 1979, vol. 40, N 3, p. 510–521.
- Dang Vu Minh, Goel P.S., Zaslavskaya N.I., Shukolyukov Yu.A. Isotopic composition of Xe and Kr in macro- and microinclusions of iron meteorites. — In: Lunar and planetary science conf., XIV. Houston, 1983, p. 808–809.
- Fisenko A.V., Semjonova L.F., Volodina E.A., Lavrukina A.K. Investigation of the Fe, Ni-phase of the Kainsaz CO carbonaceous chondrite. — In: Lunar and planetary science conf., XIII. Houston, 1982, p. 726–728.
- Hohenberg C.M., Rowe M.W. Spallation yields of xenon from irradiation of Cs, Ce, Nd, Dy and a rare earth mixture with 730-MeV protons. — *J. Geophys. Res.*, 1970, vol. 75, N 22, p. 4205–4209.
- Kaiser W.A. The excitation functions of Ba(p, x)Xe ( $M = 124-136$ ) in the energy range 38–600 MeV, the use of "cosmogenic" xenon for estimating "burial" depths and "real" exposure ages. — *Philos. Trans. Roy. Soc. London A*, 1977, vol. 285, N 1327, p. 337–362.
- King T.V., King E.A. Grain size and petrography of C2 and C3 carbonaceous chondrites. — *Meteoritics*, 1978, vol. 13, N 1, p. 47–72.
- Lewis R.S., Anders E., Shimamura T., Lugmair G. Search for isotopic anomalies correlated with CCF-Xe. 1. Barium. — In: Lunar and planetary science conf., XIV. Houston, 1983, p. 436–437.
- Lewis R.S., Gros J., Anders E. Isotopic anomalies of noble gases in meteorites and their origins. II. Separated minerals from Allende. — *J. Geophys. Res.*, 1977, vol. 82, N 5, p. 772–792.
- Lewis R.S., Hertogen J., Alaerts L., Anders E. Isotopic anomalies in meteorites and their origins. V. Search for fission fragment recoils in Allende sulfides. — *Geochim. et cosmochim. acta*, 1979, vol. 43, N 11, p. 1743–1752.
- Lewis R.S., Srinivasan B., Anders E. Host phase of a strange xenon component in Allende. — *Science*, 1975, vol. 190, N 4221, p. 1251–1262.
- Lightner B.D., Marti K. Lunar trapped xenon. — In: Proc. 5th Lunar and planet. sci. conf. Oxford etc.: Pergamon press, 1974, vol. 2, p. 2023–2031.
- Mazor E., Heymann D., Anders E. Noble gases in carbonaceous chondrites. — *Geochim. et cosmochim. acta*, 1970, vol. 34, N 7, p. 781–824.
- Ott V., Mack R., Chang S. Noble-gas-rich separates from the Allende meteorites. — *Geochim. et cosmochim. acta*, 1981, vol. 43, N 10, p. 1751–1802.
- Sabu D.D., Manuel O.K. Xenon record of the early solar system. — *Nature*, 1976, vol. 262, N 5563, p. 28–32.

УДК 523.681

Ю.А.ШУКОЛЮКОВ, ДАНГ ВУ МИНЬ, А.В.ФИСЕНКО,  
Л.Ф.СЕМЕНОВА, В.А.ГОРПЕНКО, А.К.ЛАВРУХИНА

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

**ИЗОТОПНЫЕ АНОМАЛИИ КСЕНОНА  
В УГЛИСТОМ ХОНДРИТЕ КАИНСАЗ СО.  
II. О ПРИРОДЕ ИЗОТОПНО-ТЯЖЕЛОГО КСЕНОНА  
В УГЛИСТЫХ ХОНДРИТАХ**

На первой стадии исследования изотопного состава Хе в различных фазах углистого хондрита Каинсаз СО [Шуколюков и др., наст. сб.] были выделены фазы, являющиеся основными носителями разных компонентов Хе. Это оливин и остатки после обработки  $\text{HCl}$ ,  $\text{HCl} + \text{HF}$  (КНО). Последние представляют собой смеси аморфных и (или) кристаллических высокомолекулярных органических соединений, продуктов их гидролиза, деструкции и полимеризации, аморфного углерода, графита, хромитов, шпинелей и других аксессуарных минералов. Их содержания  $\leq 1\%$  от общей пробы метеорита, а содержание Хе — от 15 до 41% от общего количества в силикатных фазах. Эксперименты по термическому отжигу показали, что Хе из КНО выделяется в четырех температурных интервалах. В настоящей работе приведены результаты по дальнейшей обработке КНО химически более активными веществами с целью выделения фаз, обогащенных Хе-Х (CCF-Хе), который характеризуется избытками тяжелых незащищенных ( $^{136}\text{Xe}$ ,  $^{134}\text{Xe}$ ,  $^{132}\text{Xe}$ ) и легких защищенных ( $^{124}\text{Xe}$ ,  $^{126}\text{Xe}$  и  $^{128}\text{Xe}$ ) изотопов.

**МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА И РЕЗУЛЬТАТЫ**

Исследовались два образца КНО. Смесь КНО из проб силикатной фазы размером 100–200 мкм (проба 11А) и 100 мкм (проба 10А) [Шуколюков и др., наст. сб.] обрабатывалась последовательно в соответствии со схемой анализа, приведенной на рис. 1, концентрированной  $\text{HNO}_3$  при  $t = 45 \div 100^\circ\text{C}$  в течение 22 ч (проба 1А) и затем концентрированной  $\text{H}_3\text{PO}_4$  при  $t = 50^\circ\text{C}$  в течение 7 сут (проба 5А). Обработка концентрированной  $\text{HNO}_3$  была использована [Lewis et al., 1975] для растворения так называемой фазы Q, природа которой до сих пор остается неизвестной. Предполагали, что это полисульфиды Fe, Ni и Cr [Lewis et al., 1975], высокомолекулярные органические соединения [Ott et al., 1981; Reynolds et al., 1978] или адсорбированный поверхностный газовый слой [Lewis et al., 1982; Swart et al., 1983]. Из химии высокомолекулярных органических соединений известно, что действие на них любой кислоты (и щелочи) приводит к их гидролизу, деструкции и полимеризации, а действие концентрированной  $\text{HNO}_3$  вызывает, кроме того, и окисление всего комплекса первичных и вторичных продуктов с образованием разнообразных соединений, в том числе хорошо раствори-

Таблица 1

## Изотопный состав и концентрация ксенона в пробах 1А и 5А

| t, °C                                                                | $[^{136}\text{Xe}] \cdot 10^{-10} \text{ см}^3/\text{г}$ | Изотопный состав ксенона ( $^{130}\text{Xe} \equiv 1,000$ ) |                   |                   |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
|                                                                      |                                                          | $^{136}\text{Xe}$                                           | $^{134}\text{Xe}$ | $^{132}\text{Xe}$ |
| Хромит + аморфный углерод<br>остаток после $\text{HNO}_3$ , проба 1А |                                                          |                                                             |                   |                   |
| 400                                                                  | 114,0 ± 11                                               | 1,942 ± 3                                                   | 2,326 ± 6         | 6,000 ± 12        |
| 600                                                                  | 18,7 ± 1,9                                               | 1,908 ± 4                                                   | 2,278 ± 12        | 5,868 ± 12        |
| 700                                                                  | 12,7 ± 1,3                                               | 1,972 ± 8                                                   | 2,392 ± 10        | 6,089 ± 18        |
| 800                                                                  | 9,7 ± 1,0                                                | 2,016 ± 16                                                  | 2,343 ± 12        | 6,068 ± 12        |
| 900                                                                  | 13,4 ± 1,3                                               | 2,188 ± 8                                                   | 2,540 ± 8         | 6,076 ± 16        |
| 1000                                                                 | 35,1 ± 3,5                                               | 2,415 ± 5                                                   | 2,630 ± 6         | 6,147 ± 10        |
| 1100                                                                 | 33,6 ± 3,4                                               | 2,481 ± 5                                                   | 2,710 ± 8         | 6,099 ± 10        |
| 1150                                                                 | 14,2 ± 1,4                                               | 2,439 ± 6                                                   | 2,663 ± 10        | 6,127 ± 16        |
| 1200                                                                 | 14,2 ± 1,4                                               | 2,403 ± 7                                                   | 2,618 ± 10        | 5,961 ± 20        |
| 1300                                                                 | 9,7 ± 1,0                                                | 2,380 ± 5                                                   | 2,590 ± 10        | 6,176 ± 16        |
| 1400                                                                 | 8,8 ± 0,9                                                | 2,202 ± 11                                                  | 2,544 ± 16        | 5,934 ± 26        |
| 1500                                                                 | 6,4 ± 0,6                                                | 2,136 ± 9                                                   | 2,540 ± 14        | 6,233 ± 30        |
| 1600                                                                 | 0,8 ± 0,1                                                | 2,008 ± 10                                                  | 2,435 ± 24        | 6,187 ± 48        |
| Сумма фракций                                                        | 291,3 ± 29                                               | 2,123 ± 7                                                   | 2,450 ± 12        | 6,036 ± 18        |
| Аморфный углерод, остаток после $\text{H}_3\text{PO}_4$ , проба 5А   |                                                          |                                                             |                   |                   |
| 400                                                                  | 55,4 ± 5,5                                               | 1,953 ± 4                                                   | 2,306 ± 8         | 5,839 ± 18        |
| 600                                                                  | 18,5 ± 1,8                                               | 1,980 ± 8                                                   | 2,350 ± 22        | 6,026 ± 30        |
| 800                                                                  | 16,4 ± 1,6                                               | 2,008 ± 16                                                  | 2,409 ± 20        | 6,142 ± 30        |
| 900                                                                  | 15,4 ± 1,5                                               | 2,247 ± 10                                                  | 2,640 ± 24        | 6,240 ± 40        |
| 1000                                                                 | 26,7 ± 2,7                                               | 2,53 ± 10                                                   | 2,701 ± 16        | 6,099 ± 30        |
| 1100                                                                 | 30,8 ± 3,1                                               | 2,392 ± 6                                                   | 2,607 ± 6         | 6,033 ± 20        |
| 1200                                                                 | 33,9 ± 3,4                                               | 2,392 ± 6                                                   | 2,653 ± 10        | 5,904 ± 16        |
| 1300                                                                 | 15,4 ± 1,5                                               | 2,445 ± 6                                                   | 2,733 ± 6         | 6,283 ± 16        |
| 1400                                                                 | 6,2 ± 0,6                                                | 2,314 ± 10                                                  | 2,690 ± 14        | 6,548 ± 32        |
| 1500                                                                 | 8,2 ± 0,8                                                | 2,146 ± 12                                                  | 2,483 ± 16        | 6,182 ± 28        |
| 1600                                                                 | 2,1 ± 0,2                                                | 1,915 ± 12                                                  | 2,318 ± 24        | 6,040 ± 62        |
| Сумма фракций                                                        | 229,0 ± 23                                               | 2,198 ± 8                                                   | 2,507 ± 12        | 6,026 ± 24        |
| Xe земной атмосферы                                                  |                                                          |                                                             |                   |                   |
|                                                                      |                                                          | 2,182 ± 6                                                   | 2,567 ± 7         | 6,614 ± 12        |
| Солнечный Xe ВЕОС-12                                                 |                                                          |                                                             |                   |                   |
|                                                                      |                                                          | 1,818 ± 6                                                   | 2,239 ± 8         | 6,062 ± 16        |

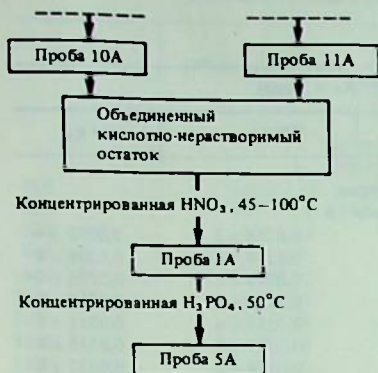
мых низших спиртов и органических кислот (например, уксусной). Очевидно, этим и объясняется резкое уменьшение содержания Xe в пробе 1А (10% от его содержания в исходных пробах 10А и 11А) (табл. 1). Обработка концентрированной  $\text{H}_3\text{PO}_4$  при 230°С в течение 16 ч тонкодисперсного  $\text{KHfO}_4$  хондрита Allende CV привела к полному растворению хромитов и увеличению в остатке содержания  $^{132}\text{Xe}$  на 30% [Lewis et al., 1981]. В условиях нашего эксперимента существенно уменьшилась масса остатка (проба 5А) (см. рис. 1) и на 20% содержание  $^{136}\text{Xe}$  (табл. 1).

Характерная особенность Xe в веществе проб 1А и 5А — наличие двух пиков на кривых выделения Xe при температурном отжиге (табл. 1 и рис. 2). Высокотемпературный пик, наблюдающийся при 900–1200°С, унаследован от исходных проб 10А и 11А. В то же время возросла интенсивность низкотемпературного пика (400°С), который не обусловлен десорбцией атмосферного ксенона, как можно было бы предположить. В изотопном составе "низкотемпературного" ксенона имеются особенности, существенно

| Изотопный состав ксенона ( $^{130}\text{Xe} \equiv 1,000$ )          |                   |                   |                   |                   |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| $^{131}\text{Xe}$                                                    | $^{132}\text{Xe}$ | $^{133}\text{Xe}$ | $^{136}\text{Xe}$ | $^{134}\text{Xe}$ |
| Хромит + аморфный углерод<br>остаток после $\text{HNO}_3$ , проба 1А |                   |                   |                   |                   |
| 4,978 ± 10                                                           | 6,322 ± 14        | 0,514 ± 2         | 0,0254 ± 2        | 0,0289 ± 4        |
| 4,918 ± 10                                                           | 6,261 ± 14        | 0,515 ± 4         | 0,0254 ± 8        | 0,0296 ± 6        |
| 5,049 ± 16                                                           | 6,319 ± 20        | 0,513 ± 4         | 0,0246 ± 6        | 0,0286 ± 6        |
| 5,030 ± 20                                                           | 6,534 ± 14        | 0,526 ± 6         | 0,0254 ± 8        | 0,0300 ± 8        |
| 5,052 ± 14                                                           | 6,398 ± 24        | 0,538 ± 4         | 0,0251 ± 6        | 0,0311 ± 4        |
| 5,123 ± 14                                                           | 6,478 ± 10        | 0,531 ± 2         | 0,0285 ± 6        | 0,0348 ± 4        |
| 5,136 ± 12                                                           | 6,518 ± 10        | 0,531 ± 4         | 0,0278 ± 2        | 0,0332 ± 4        |
| 5,105 ± 12                                                           | 6,527 ± 20        | 0,549 ± 4         | 0,0290 ± 4        | 0,0317 ± 6        |
| 5,019 ± 20                                                           | 6,300 ± 24        | 0,514 ± 4         | 0,0281 ± 6        | 0,0346 ± 6        |
| 5,081 ± 22                                                           | 6,452 ± 20        | 0,524 ± 4         | 0,0288 ± 8        | 0,0362 ± 10       |
| 4,988 ± 22                                                           | 6,310 ± 16        | 0,502 ± 4         | 0,0275 ± 8        | 0,0355 ± 6        |
| 5,162 ± 24                                                           | 6,457 ± 20        | 0,534 ± 8         | 0,0286 ± 10       | 0,0288 ± 8        |
| 5,257 ± 30                                                           | 6,357 ± 48        | 0,550 ± 8         | 0,0261 ± 14       | 0,0293 ± 14       |
| 5,025 ± 20                                                           | 6,375 ± 20        | 0,520 ± 4         | 0,0263 ± 6        | 0,0308 ± 6        |
| Аморфный углерод, остаток после $\text{H}_2\text{PO}_4$ , проба 5А   |                   |                   |                   |                   |
| 4,853 ± 14                                                           | 5,992 ± 12        | 0,531 ± 4         | 0,0262 ± 4        | 0,0304 ± 4        |
| 5,047 ± 26                                                           | 6,588 ± 32        | 0,528 ± 4         | 0,0249 ± 10       | 0,0279 ± 10       |
| 5,046 ± 30                                                           | 6,582 ± 14        | 0,540 ± 4         | 0,0265 ± 8        | 0,0309 ± 10       |
| 5,139 ± 26                                                           | 6,525 ± 12        | 0,525 ± 4         | 0,0265 ± 12       | 0,0301 ± 14       |
| 5,096 ± 32                                                           | 6,301 ± 32        | 0,564 ± 4         | 0,0187 ± 6        | 0,0187 ± 6        |
| 5,107 ± 8                                                            | 6,495 ± 20        | 0,560 ± 2         | 0,0327 ± 8        | 0,0337 ± 10       |
| 4,945 ± 20                                                           | 6,265 ± 16        | 0,509 ± 6         | 0,0275 ± 4        | 0,0325 ± 8        |
| 5,418 ± 18                                                           | 6,775 ± 42        | 0,574 ± 4         | 0,0310 ± 14       | 0,0386 ± 10       |
| 5,319 ± 40                                                           | 6,791 ± 42        | 0,576 ± 6         | 0,0234 ± 14       | 0,0432 ± 18       |
| 5,138 ± 24                                                           | 6,577 ± 30        | 0,536 ± 8         | 0,0324 ± 14       | 0,0277 ± 18       |
| 5,318 ± 40                                                           | 6,132 ± 80        | 0,467 ± 10        | 0,0264 ± 20       | 0,0302 ± 30       |
| 5,035 ± 20                                                           | 6,316 ± 20        | 0,538 ± 8         | 0,0268 ± 6        | 0,0305 ± 6        |
| Хе земной атмосферы                                                  |                   |                   |                   |                   |
| 5,224 ± 12                                                           | 6,05 ± 15         | 0,4708 ± 17       | 0,02176 ± 14      | 0,02335 ± 14      |
| Солнечный Хе ВЕОС-12                                                 |                   |                   |                   |                   |
| 4,988 ± 11                                                           | 6,354 ± 17        | 0,504 ± 3         | 0,0259 ± 9        | 0,0290 ± 7        |

отличающие его от атмосферного Хе, — дефицит тяжелых изотопов (до 8%) и избыток легких (до 13–16%). Как видно из рис. 3, а, изотопный состав такого Хе отличается от солнечного Хе, очевидно, за счет большого вклада космогенной компоненты. Появление низкотемпературного пика, очевидно, обусловлено разложением графитовой кислоты, которая, как известно [Уббеллоде, Льюис, 1965], образуется при действии концентрированной  $\text{HNO}_3$  на графит и (или) другие органические соединения, полученные при кислотном гидролизе высокомолекулярных органических соединений. После обработки пробы 1А концентрированной  $\text{H}_2\text{PO}_4$  доля "низкотемпературного" Хе уменьшается (от 40 до 24%). В пробе 5А проявляется высокотемпературный максимум при  $1500^\circ\text{C}$ , четко выраженный на соответствующих кривых исходных проб (10А и 11А).

Главная особенность изотопного состава Хе в пробах 1А и 5А — большой избыток  $^{136}\text{Xe}$  и  $^{134}\text{Xe}$ . Максимумы обогащения соответствуют максимумам на кривых выделения Хе при отжиге (см. рис. 2). Максимальные значения  $^{136}\text{Xe}/^{130}\text{Xe}$  приходится на



Р и с. 1. Схема последовательной обработки КНО азотной и фосфорной кислотами смеси проб 10А и 11А

Р и с. 2. Кривые кинетики выделения Хе (слева) и вариации отношения  $^{136}\text{Xe}/^{130}\text{Xe}$  (справа) в пробах 10А, 11А, 1А, и 5А

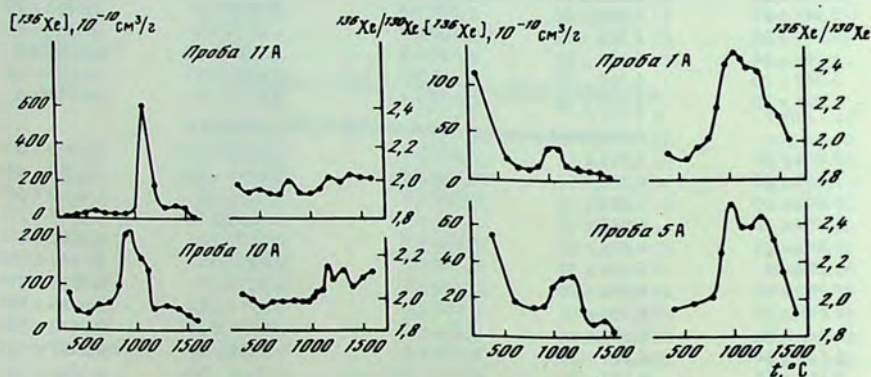


Таблица 2  
Изотопный состав и концентрация Хе в нерастворимом остатке после обработки NaOH и H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (проба 8Р1)

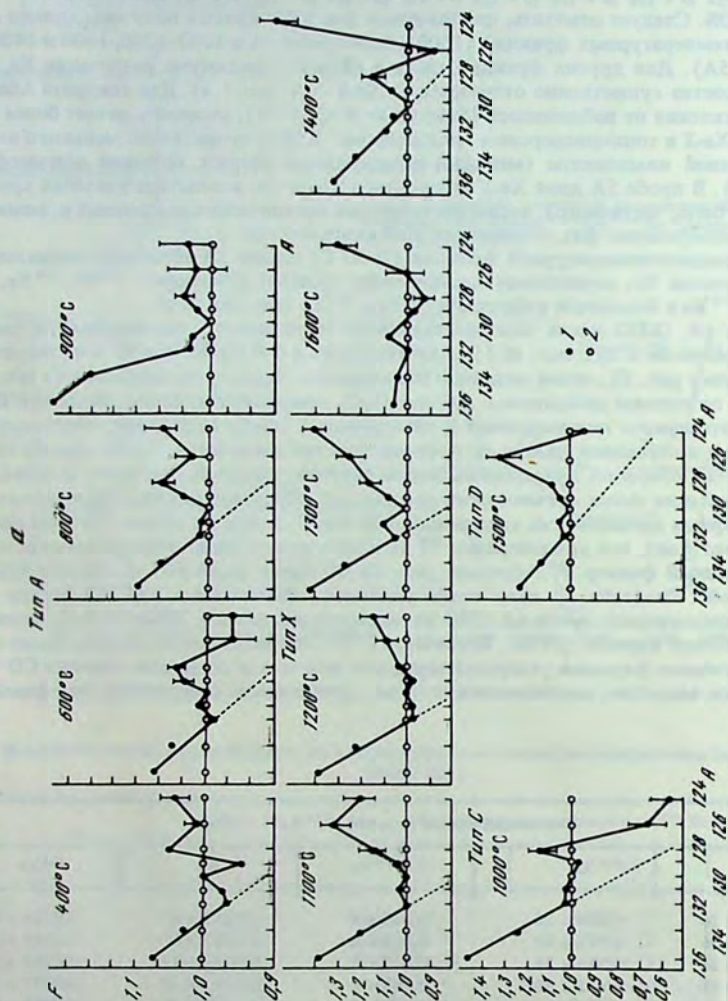
| t, °C         | [ $^{136}\text{Xe}$ ], $10^{-10} \text{ см}^3/\text{г}$ | Изотопный состав ксенона ( $^{130}\text{Xe} \equiv 1,000$ ) |                   |                   |
|---------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
|               |                                                         | $^{136}\text{Xe}$                                           | $^{134}\text{Xe}$ | $^{132}\text{Xe}$ |
| 400           | $111,0 \pm 11$                                          | $2,041 \pm 6$                                               | $2,422 \pm 10$    | $6,275 \pm 18$    |
| 600           | $34,6 \pm 3,5$                                          | $1,972 \pm 6$                                               | $2,384 \pm 12$    | $6,061 \pm 36$    |
| 700           | $23,1 \pm 2,3$                                          | $2,083 \pm 10$                                              | $2,394 \pm 12$    | $6,306 \pm 12$    |
| 800           | $27,7 \pm 2,8$                                          | $2,053 \pm 8$                                               | $2,411 \pm 20$    | $6,100 \pm 48$    |
| 900           | $62,4 \pm 6,2$                                          | $2,087 \pm 6$                                               | $2,457 \pm 10$    | $6,254 \pm 20$    |
| 1000          | $106,0 \pm 11$                                          | $2,062 \pm 8$                                               | $2,435 \pm 10$    | $6,132 \pm 24$    |
| 1100          | $125,0 \pm 12$                                          | $2,062 \pm 4$                                               | $2,416 \pm 8$     | $6,051 \pm 12$    |
| 1200          | $78,0 \pm 8$                                            | $2,100 \pm 8$                                               | $2,493 \pm 16$    | $6,212 \pm 18$    |
| 1400          | $32,3 \pm 3,2$                                          | $2,123 \pm 6$                                               | $2,461 \pm 16$    | $6,308 \pm 24$    |
| 1600          | $11,6 \pm 1,2$                                          | $2,169 \pm 14$                                              | $2,577 \pm 22$    | $6,53 \pm 48$     |
| Сумма фракций | $611,7 \pm 61$                                          | $2,070 \pm 8$                                               | $2,439 \pm 10$    | $6,188 \pm 30$    |

фракции, выделенные при 1000°С. Аналогичные данные получены и для хондрита Allende CV [Srinivasan et al., 1978]. На рис. 3 представлены основные типы Хе в данных пробах; для каждого характерны специфические изотопные соотношения: тип А —  $F_{126} \leq F_{124}, F_{126} \leq F_{128}$ , тип С —  $F_{124} \leq F_{126} \leq F_{128}$ , тип D —  $F_{126} > F_{124}, F_{126} > F_{128}$  и Хе-Х —  $F_{124} \geq F_{126} \geq F_{128} \geq F_{125}$  и  $F_{136} \geq F_{134} \geq F_{132}$ . В последнем избыток  $^{136}\text{Xe}$  достигает 30%. Следует отметить, что типичные для Хе-Х кривые получены только для некоторых температурных фракций (1300°С для пробы 1А и 1000, 1200, 1300 и 1400°С для пробы 5А). Для других фракций, даже в области максимума реализации Хе, его изотопный состав существенно отличается от Хе-Х (см. рис. 3, а). Для хондрита Allende CV такого явления не наблюдалось [Srinivasan et al., 1978], очевидно, за счет более высокой доли Хе-Х в тонкодисперсном "коллоидном" КНО и существенно меньшего вклада космогенной компоненты (меньший радиационный возраст, больший доатмосферный размер). В пробе 5А доля Хе-Х выше, чем в пробе 1А, вследствие удаления хромитов (может быть, частично), водно-растворимых органических соединений и, возможно, других минеральных фаз, обедненных этой компонентой.

В самой высокотемпературной фракции (1600°С) пробы 1А обнаружен аномальный изотопный состав Хе, характеризующийся очень малыми избытками  $^{136}\text{Xe}$ ,  $^{134}\text{Xe}$ , недостатком  $^{128}\text{Xe}$  и большими избытками  $^{131}\text{Xe}$  и  $^{124}\text{Xe}$  (см. рис. 3, а).

Проба 6А (КНО после последовательного селективного растворения по схеме рис. 4 [Шуколюков и др., наст. сб.]) обрабатывалась в 6 М NaOH при 50°С и ультразвуком (см. схему рис. 5), затем медленно охлаждалась. Через сутки медленно (в течение трех часов) по каплям добавлялась 30%-ная  $\text{H}_2\text{O}_2$  при ультразвуковой обработке. Происходило интенсивное газовыделение и разогревание; пробу охлаждали, обрабатывали ультразвуком и оставляли на ночь до прекращения газовыделения. Проба черного цвета в процессе этих операций покрывалась белым налетом, который, очевидно, не позволил реакции окисления смеси органических соединений, образованных при гидролизе высокомолекулярных органических соединений 6 М NaOH, дойти до конца. Об этом свидетельствует тот факт, что концентрация  $^{136}\text{Xe}$  в полученной после фильтрования остатка через стеклянный фильтр № 2 (размер пор 40–30 мкм) пробе 8Р1 составляет 40% от таковой пробы 6А (табл. 2) даже после удаления белого налета 3 М HCl. Между тем обработка аналогичного пробы 6А КНО из хондрита Allende CV 30%-ной  $\text{H}_2\text{O}_2$  привела к 98%-ной потере ксенона [Frick, Reynolds, 1977]. Это различие, возможно, также обусловлено разными формами углеродсодержащих веществ в хондритах Каинсаз СО (битумообразное вещество, высокомолекулярные органические соединения, аморфный уг-

| Изотопный состав ксенона ( $^{130}\text{Xe} = 1,000$ ) |                   |                   |                   |                   |
|--------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| $^{131}\text{Xe}$                                      | $^{129}\text{Xe}$ | $^{128}\text{Xe}$ | $^{126}\text{Xe}$ | $^{124}\text{Xe}$ |
| 5,151 ± 20                                             | 6,594 ± 26        | 0,518 ± 4         | 0,0255 ± 4        | 0,0279 ± 4        |
| 5,061 ± 26                                             | 6,515 ± 32        | 0,503 ± 8         | 0,0252 ± 6        | 0,0298 ± 10       |
| 5,260 ± 26                                             | 6,814 ± 26        | 0,537 ± 8         | 0,0258 ± 12       | 0,0287 ± 10       |
| 5,146 ± 40                                             | 6,412 ± 36        | 0,505 ± 6         | 0,0281 ± 12       | 0,0277 ± 12       |
| 5,117 ± 16                                             | 6,505 ± 20        | 0,509 ± 4         | 0,0248 ± 4        | 0,0269 ± 6        |
| 5,076 ± 20                                             | 6,397 ± 8         | 0,503 ± 4         | 0,0266 ± 6        | 0,0301 ± 4        |
| 5,047 ± 10                                             | 6,317 ± 18        | 0,513 ± 4         | 0,0231 ± 4        | 0,0274 ± 4        |
| 5,071 ± 20                                             | 6,456 ± 24        | 0,519 ± 4         | 0,0252 ± 6        | 0,0305 ± 4        |
| 5,201 ± 24                                             | 6,163 ± 42        | 0,492 ± 4         | 0,0234 ± 12       | 0,0227 ± 8        |
| 5,480 ± 14                                             | 6,626 ± 42        | 0,585 ± 8         | 0,0212 ± 10       | 0,0238 ± 18       |
| 5,116 ± 20                                             | 6,457 ± 30        | 0,513 ± 6         | 0,0250 ± 6        | 0,0281 ± 6        |



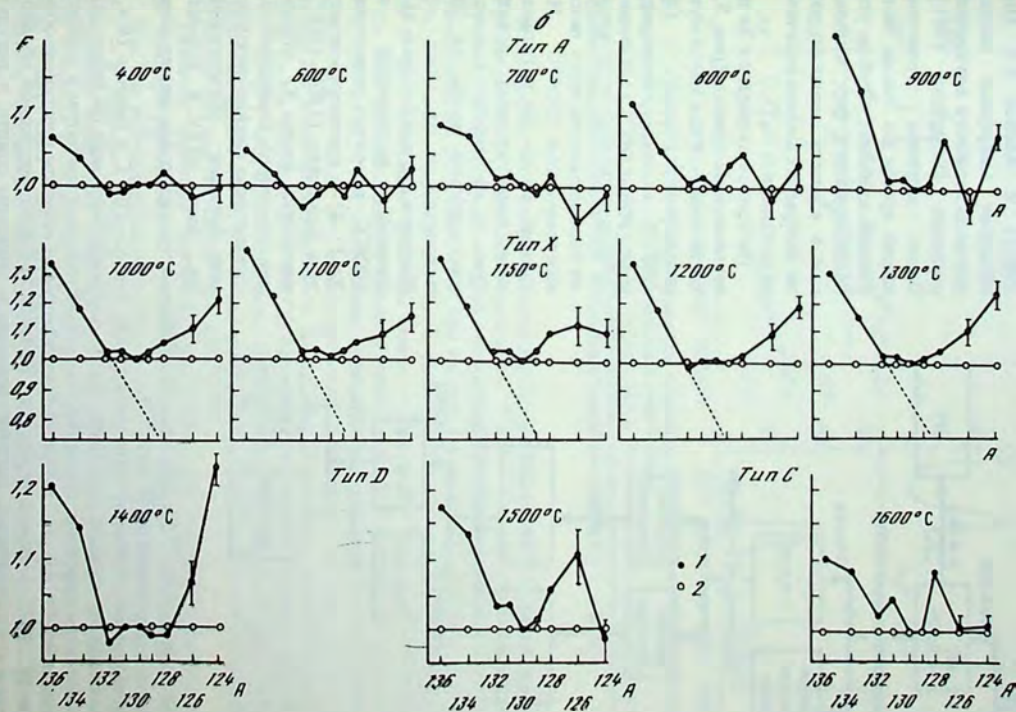


Рис. 3. Изменение изотопного состава Xe по сравнению с ксеноном солнечного ветра в пробе 1А (а) и 5А (б)  
 1 — температурные фракции пробы; 2 — солнечный ветер (ВЕОС-12 [Eberhardt et al., 1972]); А, В, D, X — типы Xe;  $F = (^{40}\text{Xe}/^{130}\text{Xe})_{\text{пр}} / (^{40}\text{Xe}/^{130}\text{Xe})_{\text{солн}}$

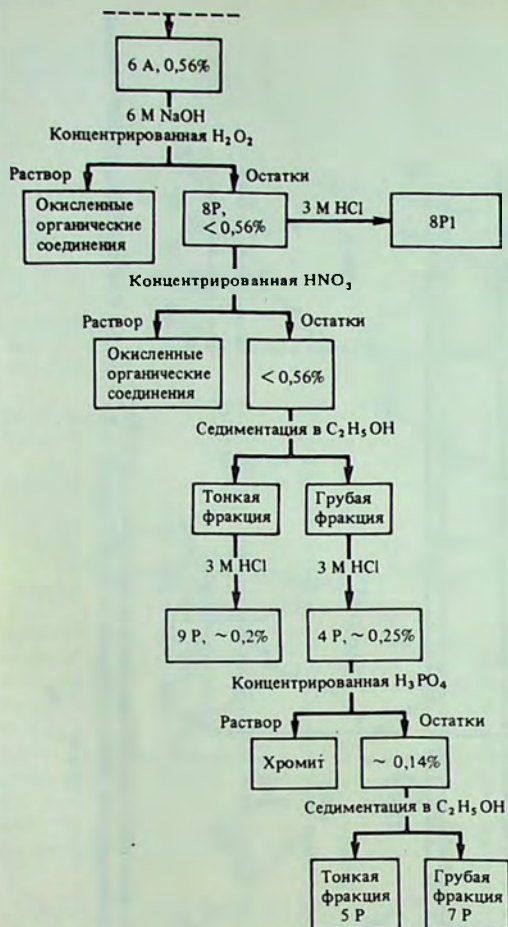


Рис. 4. Схема последовательной обработки КНО азотной и фосфорной кислотами пробы 6А

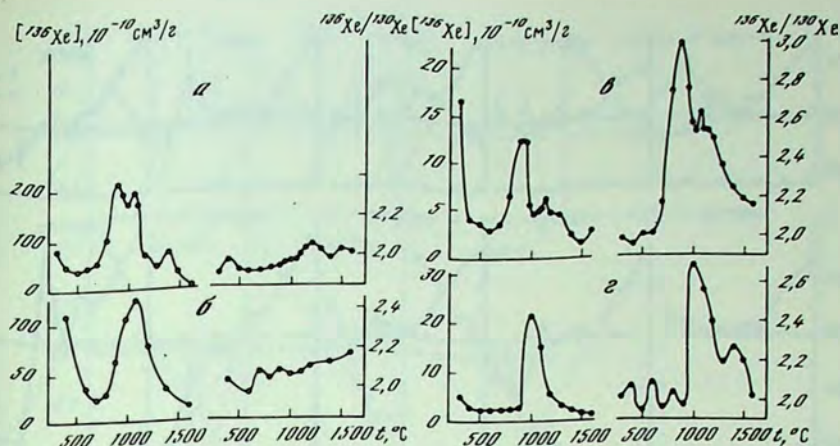
лерод и графит [Вдовыкин, 1967]) и Allende CV (преобладают аморфные частицы углерода сложного внутреннего строения [Lumpkin, 1981]). Более крупная зернистость нашей пробы 6А также могла оказать влияние: частицы углеродсодержащих фаз, включенные в агрегаты зерен (к тому же покрытые белым налетом), не окислились  $H_2O_2$ .

На кривой выделения Хе при термическом отжиге (рис. 5,б) также имеются два максимума: низкотемпературный (при  $400^\circ C$ ) и высокотемпературный ( $900-1300^\circ C$ ). В отличие от пробы 6А (рис. 5,а) исчезают бимодальность этого пика и максимум при  $1500^\circ C$ . Изотопный состав Хе в большинстве температурных фракций (рис. 6,а) подобен таковому для исходной пробы 6А [Шуколюков и др., наст. сб.]. Имеются два исключения: 1) во фракции, выделенной при  $1000^\circ C$ , вероятно присутствие Хе-Х; 2) в высокотемпературных фракциях ( $1400-1600^\circ C$ ) изотопный состав Хе обусловлен смешением планетарного Хе (аналогично оливин-пироксеновой фракции [Шуколюков и др., наст. сб.]) и космоген-

ной компоненты с избытком  $^{131}Xe$  (Хе типа С). Избыток этих изотопов может образоваться в результате  $n, \gamma$ -реакций на  $^{139}Te$  и  $^{127}I$ .

Пробу 8Р обрабатывали концентрированной  $HNO_3$  при  $45-100^\circ C$  в течение 16 ч, затем остаток охлаждали и оставляли на ночь. После центрифугирования он представлял собой черный с блеском порошок, очевидно, за счет обогащения графитом и шпинелью типа хромгерцинита  $Fe(Cr, Al)_2O_4$ , который был обнаружен методом рентгенофазового анализа в пробе 4Р. Этот остаток подвергался 30-минутной ультразвуковой обработке в ацетоне и затем многократному диспергированию в этиловом спирте, в результате чего были выделены легкая тонкодисперсная "коллоидная" фракция (проба 9Р) и "тяжелая" фракция (проба 4Р). Концентрации в них  $^{136}Xe$  существенно меньше в 15,5 раза (проба 9Р) и 23,3 раза (проба 4Р) по сравнению с пробой 6А. Среднее значение (19,4) близко к величине (16,9), найденной ранее для КНО, обработанного дымящей  $HNO_3$ , хондрита Каинсаз [Alaerts et al., 1979].

Кривые реализации Хе при термическом отжиге проб 4Р и 9Р различны (см. рис. 5,б,



Р и с. 5. Кривые кинетики выделения Хе (слева) и вариации изотопного отношения  $^{136}\text{Xe}/^{130}\text{Xe}$  (справа)  $\text{KNO}_3$ , полученных последовательной обработкой

а —  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF} + \text{HCl}$  (проба 6А); б —  $\text{NaOH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  (проба 8Р1); в — концентрированной  $\text{HNO}_3$  с последующей ультразвуковой обработкой в ацетоне и диспергированием в этиловом спирте — "коллоидная" фракция (проба 9Р), г — "тяжелая" фракция (проба 4Р)

в). Максимумы на кривых выделения Хе при 900 и 1100°C (см. рис. 5, в, г) существенно различаются по величине отношения  $^{136}\text{Xe}/^{130}\text{Xe}$ : для первого она равна 3 (преобладает Хе-Х), а для второго — 2,64 (планетарный Хе). В пробе 9Р найдены все четыре изотопных типа Хе (см. рис. 6, б), так же как и в пробе 1А (см. рис. 3, а). Из рис. 6, б видно, что спектр, типичный для Хе-Х, наблюдается только для фракции, выделенной при 900°C. Все остальные фракции имеют существенно меньший избыток  $^{124}\text{Xe}$ ,  $^{126}\text{Xe}$  и  $^{128}\text{Xe}$ , чем это наблюдалось в аналогичном остатке из хондрита Allende CV [Lewis et al., 1975; Ott et al., 1981; Srinivasan et al., 1978]. К тому же и соотношения этих изотопов другие, чем в Хе-Х; это свидетельствует о большом вкладе других компонентов Хе (например, атмосферного хондритного Хе). Следует отметить, что максимум выделения Хе-Х в этой пробе соответствует 900°C (а не 1000°C, как в хондрите Allende CV [Srinivasan et al., 1978]), что, в соответствии с термограммой хондрита Каинсаз [Вдовыкин, 1967], может указывать на то, что одной из фаз-носителей Хе-Х в нем является графит (на термограмме ему соответствует пик при 825°C).

"Тяжелая" фракция (проба 4Р) имеет один пик при 1000°C на кривой выделения Хе при температурном отжиге (см. рис. 5, г) аналогично кривой для пробы 8Р1 (см. рис. 5, б). Для нее наблюдаются изотопные типы Хе, аналогичные пробе 9Р. Наибольший вклад Хе-Х — в температурных фракциях, выделенных при 1000 и 1100°C (рис. 6, б). Сдвиг максимума выделения Хе-Х в эту температурную область свидетельствует о большой роли процесса разложения хромитов и герцинитов, обнаруженных нами в хондрите Каинсаз [Лаврухина и др., 1984], до окислов и частичного восстановления образующегося магнетита графитом с образованием СО. Несмотря на указанные различия изотопного состава Хе в отдельных температурных фракциях, общий Хе, выделенный из проб 4Р и 9Р, имеет одинаковый изотопный состав, указывающий на существенный вклад Хе-Х (рис. 7, а).

С целью удаления из пробы 4Р хромитов (и водно-растворимых органических соединений) она была обработана концентрированной  $\text{H}_3\text{PO}_4$  при 50°C в течение 7 сут. Несмотря на другие условия эксперимента, сильное уменьшение в весе (см. рис. 4) и бледно-желтый цвет раствора свидетельствовали о растворении хромита. По нашим данным [Лаврухина и др., 1984], в хондрите Каинсаз зерна хромита имеют варьирующий состав

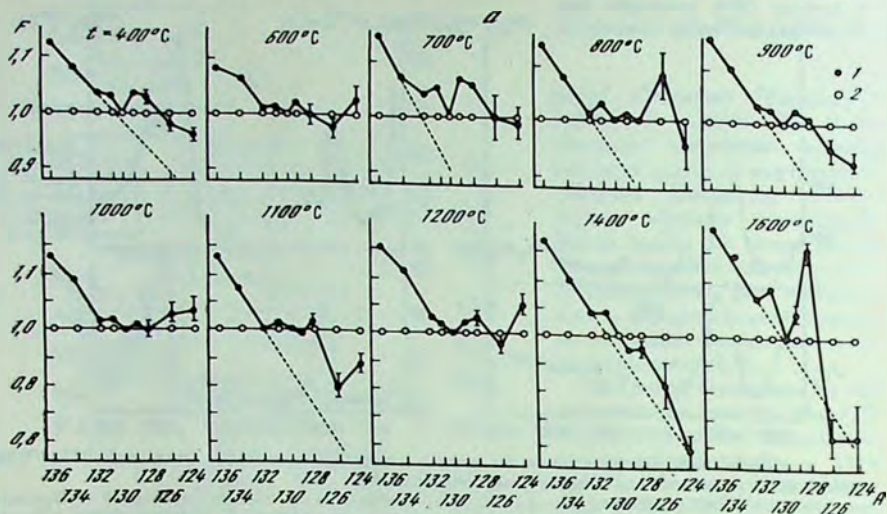


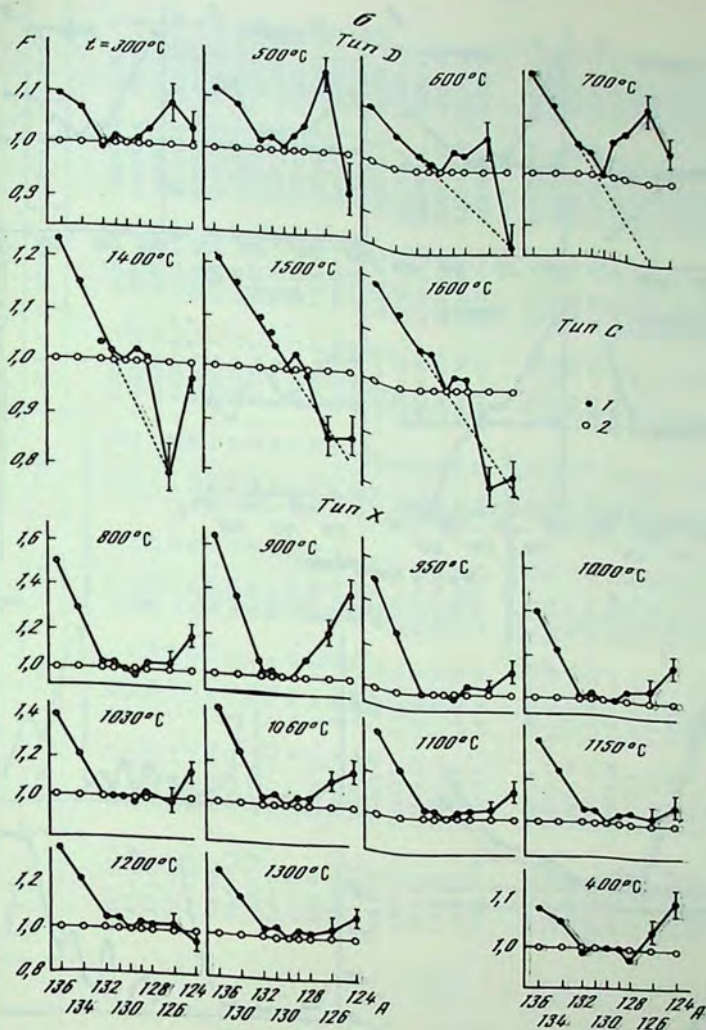
Рис. 6. Изотопные вариации Xe в различных пробах

а — 8Р1; б — 9Р; в: I — 4Р, II — 5Р, III — 7Р; 1, 2 — то же, что на рис. 3

( $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO}$  изменяется от 1,22 до 2,14), однако среднее значение отношения  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO} = 1,76$  близко к таковому для хромитов КНО хондрита Allende CV (1,65) [Lewis et al., 1975]. После центрифугирования остаток обрабатывался ультразвуком и подвергался диспергированию: были выделены "коллоидная" тонкодисперсная легкая фракция (проба 5Р) и "тяжелая" фракция (проба 7Р). Они представляли собой черные осадки, сильно прилипающие к стенкам, благодаря чему не удалось точно определить их массу. Данные табл. 3 и 4 показывают, что концентрация  $^{136}\text{Xe}$  осталась постоянной в пробе 5Р, а в пробе 7Р увеличилась в 2,3 раза по сравнению с пробой 4Р. Это свидетельствует о растворении минеральных фаз, сильно обедненных Xe; одной из них, очевидно, является хромит [Lewis et al., 1981].

Кривые выделения Xe при температурном отжиге этих проб (рис. 8) показывают большие различия: для пробы 5Р наблюдается два пика — низкотемпературный (300°C) и высокотемпературный (1400–1600°C). Последний четко проявлялся в исходном КНО (см. рис. 5, а), а при последующих химических операциях, очевидно, маскировался присутствием больших количеств других компонентов Xe. Однако, по изотопному составу Xe, эти высокотемпературные фракции отличаются более высокими избытками тяжелых ( $^{136}\text{Xe}$ ,  $^{134}\text{Xe}$  и  $^{132}\text{Xe}$ ) и легких ( $^{124}\text{Xe}$ ,  $^{126}\text{Xe}$  и  $^{128}\text{Xe}$ ) изотопов в пробе 5Р (см. рис. 6, в, II). Это, очевидно, свидетельствует о присутствии в ней Xe-X. Кривая выделения Xe из пробы 7Р аналогична таковой для проб 8Р1 (см. рис. 5, б), 4Р (см. рис. 5, в) и 5А (см. рис. 2). В обеих пробах снова обнаружены значительные вариации изотопного состава Xe при термическом отжиге (см. табл. 4). Наиболее интересные из них следующие:

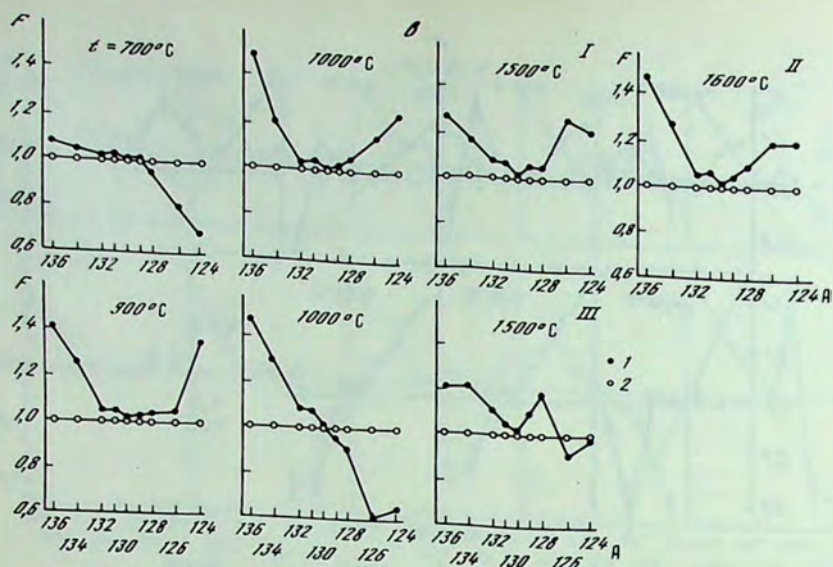
1. В "коллоидной" фракции (проба 5Р), как это видно из кривых рис. 6, в, II и 7, б, большую долю составляет космогенная компонента: во многих температурных фракциях, а также и в общем Xe наблюдается большой избыток  $^{126}\text{Xe}$ . Это может быть следствием  $p$ ,  $2p$ -реакции на  $^{127}\text{I}$  и  $\alpha$ ,  $2p$ -реакции на  $^{124}\text{Te}$ . Очевидно, следует отдать предпочтение последней, ибо большой избыток  $^{132}\text{Xe}$ , особенно четко проявляемый в общем Xe (см. рис. 7, б), обусловлен аналогичной реакцией на  $^{130}\text{Te}$ . В максимуме реализации Xe из пробы 5Р (1400–1500°C) присутствуют, очевидно, три компонента: атмосферно-



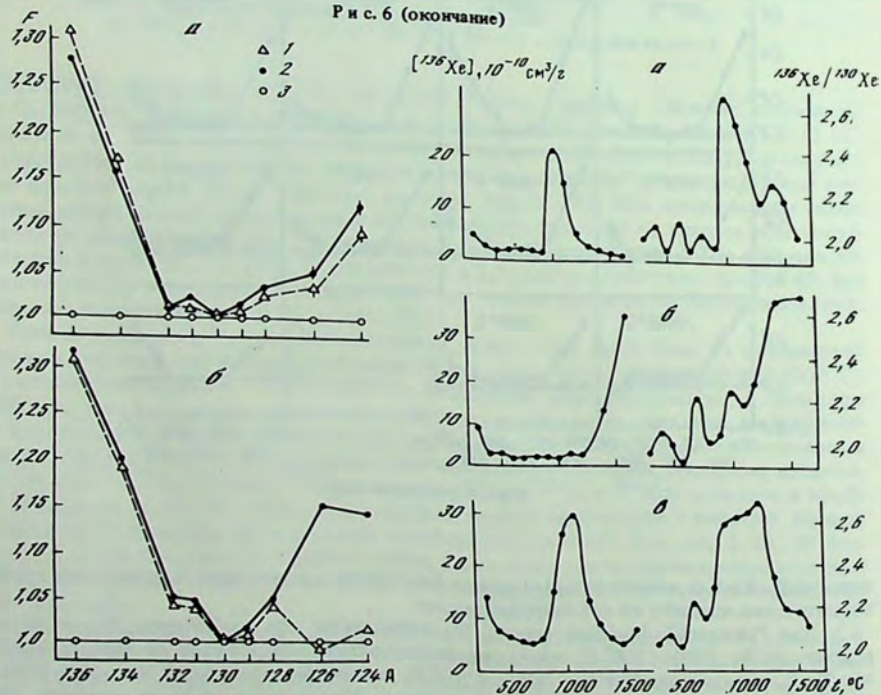
Р и с. 6 (продолжение)

подобный, Хе-Х и космогенный. Однако без знания химического состава этой пробы оценить долю каждого из них затруднительно.

2. Для "тяжелой" фракции (проба 7Р) характерны две особенности. В максимуме реализации Хе (900–1200°С) проявляются несколько компонентов Хе (рис. 6, в, III): это Хе-Х, проявляющийся при 900 и 1200°С, и атмосфероподобный Хе – при 1000 и 1100°С в смеси с Хе-Х и другими компонентами. Появление этой смеси, очевидно, обусловлено концентрированием или вскрытием включений, находящихся внутри зерен хромита и других акцессорных минералов. По нашим данным [Лаврухина и др., 1984],



Р и с. 6 (окончание)



Р и с. 7. Изотопные вариации общего Хе  
а — проб 9Р (1) и 4Р (2); б — проб 5Р (1) и 7Р (2)

Р и с. 8. Кривые кинетики выделения Хе (слева) и вариации изотопного отношения  $^{136}\text{Xe}/^{130}\text{Xe}$  (справа) для проб 4Р (а), 5Р (б) и 7Р (в)

Изотопный состав и концентрация Хе в нерастворимом остатке при действии  $\text{HNO}_3$  на пробу 8Р

| t, °C                     | [ <sup>136</sup> Xe],<br>10 <sup>-10</sup> см <sup>3</sup> /г | Изотопный состав ксенона ( <sup>130</sup> Xe = 1,000) |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                           |                                                               | <sup>134</sup> Xe                                     | <sup>134</sup> Xe | <sup>132</sup> Xe | <sup>131</sup> Xe | <sup>129</sup> Xe | <sup>128</sup> Xe | <sup>126</sup> Xe | <sup>124</sup> Xe |
| Пегкая фракция, проба 9Р  |                                                               |                                                       |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| 300                       | 16,1 ± 1,6                                                    | 1,992 ± 4                                             | 2,394 ± 8         | 6,040 ± 12        | 5,048 ± 10        | 6,366 ± 12        | 0,516 ± 2         | 0,0281 ± 6        | 0,0299 ± 6        |
| 400                       | 4,1 ± 0,4                                                     | 1,957 ± 6                                             | 2,352 ± 12        | 6,025 ± 20        | 4,986 ± 20        | 6,350 ± 20        | 0,493 ± 6         | 0,0268 ± 6        | 0,0317 ± 6        |
| 500                       | 3,7 ± 0,4                                                     | 2,012 ± 4                                             | 2,422 ± 10        | 6,124 ± 18        | 5,094 ± 16        | 6,533 ± 20        | 0,527 ± 6         | 0,0300 ± 6        | 0,0268 ± 6        |
| 600                       | 2,9 ± 0,3                                                     | 2,008 ± 6                                             | 2,379 ± 14        | 6,211 ± 18        | 5,044 ± 26        | 6,606 ± 24        | 0,518 ± 4         | 0,0275 ± 6        | 0,0245 ± 8        |
| 700                       | 3,5 ± 0,4                                                     | 2,164 ± 6                                             | 2,525 ± 14        | 6,396 ± 30        | 5,207 ± 28        | 6,755 ± 26        | 0,545 ± 6         | 0,0296 ± 10       | 0,0307 ± 6        |
| 800                       | 6,6 ± 0,7                                                     | 2,747 ± 6                                             | 2,860 ± 12        | 6,093 ± 15        | 5,082 ± 16        | 6,288 ± 30        | 0,522 ± 6         | 0,0266 ± 9        | 0,0338 ± 9        |
| 900                       | 12,4 ± 1,2                                                    | 3,003 ± 3                                             | 3,063 ± 9         | 6,084 ± 12        | 5,102 ± 15        | 6,432 ± 12        | 0,549 ± 3         | 0,0315 ± 6        | 0,0408 ± 6        |
| 950                       | 12,2 ± 1,2                                                    | 2,755 ± 3                                             | 2,884 ± 6         | 5,994 ± 18        | 4,980 ± 15        | 6,173 ± 27        | 0,523 ± 6         | 0,0267 ± 6        | 0,0325 ± 12       |
| 1000                      | 5,5 ± 0,6                                                     | 2,577 ± 12                                            | 2,755 ± 9         | 6,095 ± 21        | 5,116 ± 24        | 6,301 ± 24        | 0,528 ± 6         | 0,0273 ± 9        | 0,0345 ± 9        |
| 1030                      | 4,5 ± 0,4                                                     | 2,531 ± 8                                             | 2,698 ± 14        | 6,066 ± 25        | 5,007 ± 20        | 6,324 ± 25        | 0,519 ± 3         | 0,0258 ± 9        | 0,0331 ± 8        |
| 1060                      | 4,8 ± 0,5                                                     | 2,638 ± 7                                             | 2,797 ± 8         | 6,290 ± 19        | 5,258 ± 16        | 6,609 ± 20        | 0,528 ± 5         | 0,0293 ± 7        | 0,0343 ± 10       |
| 1100                      | 5,0 ± 0,5                                                     | 2,544 ± 3                                             | 2,765 ± 10        | 6,260 ± 20        | 5,142 ± 15        | 6,473 ± 20        | 0,521 ± 5         | 0,0270 ± 7        | 0,0331 ± 7        |
| 1150                      | 6,2 ± 0,6                                                     | 2,538 ± 3                                             | 2,809 ± 18        | 6,403 ± 7         | 5,251 ± 7         | 6,576 ± 30        | 0,528 ± 7         | 0,0264 ± 7        | 0,0317 ± 7        |
| 1200                      | 4,8 ± 0,5                                                     | 2,500 ± 10                                            | 2,760 ± 15        | 6,377 ± 25        | 5,237 ± 20        | 6,567 ± 40        | 0,512 ± 8         | 0,0267 ± 7        | 0,0275 ± 12       |
| 1300                      | 4,6 ± 0,5                                                     | 2,364 ± 5                                             | 2,645 ± 12        | 6,296 ± 30        | 5,213 ± 18        | 6,583 ± 25        | 0,508 ± 5         | 0,0269 ± 5        | 0,0319 ± 7        |
| 1400                      | 2,4 ± 0,2                                                     | 2,247 ± 11                                            | 2,575 ± 20        | 6,263 ± 22        | 5,085 ± 23        | 6,497 ± 23        | 0,505 ± 5         | 0,0204 ± 5        | 0,0281 ± 9        |
| 1500                      | 1,4 ± 0,1                                                     | 2,188 ± 10                                            | 2,608 ± 14        | 6,637 ± 24        | 5,326 ± 14        | 6,540 ± 30        | 0,501 ± 4         | 0,0225 ± 10       | 0,0254 ± 8        |
| 1600                      | 2,8 ± 0,3                                                     | 2,160 ± 8                                             | 2,546 ± 12        | 6,544 ± 24        | 5,367 ± 14        | 6,540 ± 30        | 0,516 ± 6         | 0,0209 ± 10       | 0,0242 ± 8        |
| Сумма фракция             | 103,5 ± 10                                                    | 2,415 ± 8                                             | 2,671 ± 10        | 6,176 ± 22        | 5,118 ± 15        | 6,442 ± 25        | 0,522 ± 4         | 0,0275 ± 6        | 0,0316 ± 7        |
| Тяжелая фракция, проба 4Р |                                                               |                                                       |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| 300                       | 5,0 ± 0,5                                                     | 2,008 ± 8                                             | 2,482 ± 12        | 6,339 ± 20        | 5,120 ± 16        | 6,448 ± 32        | 0,522 ± 6         | 0,0231 ± 10       | 0,0283 ± 10       |
| 400                       | 2,9 ± 0,3                                                     | 2,075 ± 10                                            | 2,456 ± 18        | 6,290 ± 30        | 5,120 ± 34        | 6,419 ± 36        | 0,521 ± 8         | 0,0265 ± 6        | 0,0259 ± 8        |
| 500                       | 2,2 ± 0,2                                                     | 1,945 ± 14                                            | 2,354 ± 28        | 6,175 ± 36        | 4,951 ± 36        | 6,187 ± 38        | 0,508 ± 6         | 0,0239 ± 10       | 0,0261 ± 8        |
| 600                       | 2,2 ± 0,2                                                     | 2,092 ± 8                                             | 2,556 ± 12        | 6,475 ± 36        | 5,249 ± 16        | 6,837 ± 26        | 0,583 ± 6         | 0,0316 ± 14       | 0,0324 ± 10       |
| 700                       | 2,2 ± 0,2                                                     | 1,953 ± 10                                            | 2,353 ± 14        | 6,051 ± 24        | 5,062 ± 16        | 6,365 ± 26        | 0,488 ± 6         | 0,0209 ± 8        | 0,0205 ± 8        |
| 800                       | 2,2 ± 0,2                                                     | 2,032 ± 8                                             | 2,413 ± 12        | 6,211 ± 36        | 5,193 ± 26        | 6,776 ± 44        | 0,530 ± 8         | 0,0276 ± 20       | 0,0323 ± 12       |
| 900                       | 1,8 ± 0,2                                                     | 1,964 ± 12                                            | 2,381 ± 16        | 6,102 ± 30        | 5,012 ± 26        | 6,428 ± 44        | 0,511 ± 6         | 0,0312 ± 10       | 0,0328 ± 8        |
| 1000                      | 21,6 ± 2,2                                                    | 2,681 ± 4                                             | 2,866 ± 4         | 6,204 ± 10        | 5,174 ± 4         | 6,541 ± 10        | 0,533 ± 2         | 0,0305 ± 2        | 0,0367 ± 4        |
| 1100                      | 15,1 ± 1,5                                                    | 2,551 ± 4                                             | 2,701 ± 6         | 6,018 ± 16        | 5,036 ± 12        | 6,293 ± 10        | 0,520 ± 4         | 0,0280 ± 4        | 0,0347 ± 4        |
| 1200                      | 5,4 ± 0,5                                                     | 2,386 ± 4                                             | 2,625 ± 14        | 6,214 ± 16        | 5,117 ± 18        | 6,513 ± 18        | 0,551 ± 4         | 0,0269 ± 8        | 0,0343 ± 10       |
| 1300                      | 3,2 ± 0,3                                                     | 2,174 ± 6                                             | 2,521 ± 20        | 6,222 ± 22        | 5,054 ± 20        | 6,401 ± 30        | 0,524 ± 8         | 0,0265 ± 8        | 0,0322 ± 10       |
| 1400                      | 2,2 ± 0,2                                                     | 2,262 ± 14                                            | 2,622 ± 20        | 6,459 ± 40        | 5,165 ± 30        | 6,704 ± 42        | 0,492 ± 8         | 0,0233 ± 16       | 0,0387 ± 12       |
| 1500                      | 1,3 ± 0,1                                                     | 2,193 ± 14                                            | 2,636 ± 20        | 6,572 ± 42        | 5,417 ± 52        | 6,710 ± 54        | 0,524 ± 8         | 0,0327 ± 24       | 0,0351 ± 14       |
| 1600                      | 1,3 ± 0,1                                                     | 2,016 ± 8                                             | 2,381 ± 14        | 6,107 ± 36        | 5,171 ± 40        | 6,495 ± 32        | 0,514 ± 8         | 0,0266 ± 20       | 0,0222 ± 20       |
| Сумма фракция             | 68,5 ± 6,8                                                    | 2,364 ± 8                                             | 2,640 ± 12        | 6,198 ± 20        | 5,115 ± 24        | 6,475 ± 20        | 0,525 ± 6         | 0,0276 ± 10       | 0,0328 ± 10       |

Таблица 4

Изотопный состав и концентрация ксенона в остатке после растворения в концентрированной  $\text{H}_2\text{PO}_4$ 

| t, °C                     | $[^{136}\text{Xe}]$ ,<br>$10^{-10} \text{ см}^3/\text{г}$ | Изотопный состав ксенона ( $^{136}\text{Xe} \equiv 1,000$ ) |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                           |                                                           | $^{134}\text{Xe}$                                           | $^{134}\text{Xe}$ | $^{132}\text{Xe}$ | $^{131}\text{Xe}$ | $^{129}\text{Xe}$ | $^{128}\text{Xe}$ | $^{126}\text{Xe}$ | $^{124}\text{Xe}$ |
| Легкая фракция, проба 5P  |                                                           |                                                             |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| 300                       | 9,5 ± 1,0                                                 | 1,961 ± 8                                                   | 2,425 ± 16        | 6,194 ± 36        | 5,014 ± 26        | 6,368 ± 38        | 0,494 ± 8         | 0,0233 ± 12       | 0,0284 ± 14       |
| 400                       | 3,2 ± 0,3                                                 | 2,105 ± 14                                                  | 2,444 ± 18        | 6,452 ± 54        | 5,231 ± 50        | 6,897 ± 64        | 0,537 ± 6         | 0,0307 ± 14       | 0,0314 ± 14       |
| 500                       | 3,2 ± 0,3                                                 | 2,000 ± 14                                                  | 2,472 ± 18        | 6,440 ± 60        | 5,204 ± 36        | 6,634 ± 32        | 0,488 ± 10        | 0,0274 ± 18       | 0,0248 ± 18       |
| 600                       | 2,1 ± 0,2                                                 | 1,912 ± 12                                                  | 2,244 ± 18        | 5,902 ± 42        | 4,983 ± 48        | 6,417 ± 38        | 0,505 ± 14        | 0,0239 ± 16       | 0,0262 ± 18       |
| 700                       | 1,9 ± 0,2                                                 | 2,207 ± 16                                                  | 2,601 ± 20        | 6,697 ± 42        | 5,592 ± 40        | 7,229 ± 26        | 0,545 ± 14        | 0,0283 ± 16       | 0,0403 ± 18       |
| 800                       | 2,1 ± 0,2                                                 | 2,004 ± 16                                                  | 2,371 ± 12        | 6,323 ± 36        | 5,192 ± 34        | 6,517 ± 38        | 0,537 ± 14        | 0,0228 ± 18       | 0,0300 ± 14       |
| 900                       | 2,1 ± 0,2                                                 | 2,049 ± 16                                                  | 2,469 ± 24        | 6,565 ± 50        | 5,190 ± 30        | 6,856 ± 46        | 0,600 ± 10        | 0,0303 ± 30       | 0,0342 ± 14       |
| 1000                      | 1,70 ± 0,2                                                | 2,247 ± 20                                                  | 2,604 ± 44        | 6,997 ± 66        | 5,658 ± 52        | 7,062 ± 48        | 0,557 ± 16        | 0,0418 ± 20       | 0,0256 ± 12       |
| 1100                      | 2,6 ± 0,3                                                 | 2,192 ± 14                                                  | 2,427 ± 18        | 6,462 ± 36        | 5,166 ± 26        | 6,787 ± 54        | 0,559 ± 10        | 0,0316 ± 24       | 0,0309 ± 14       |
| 1200                      | 2,6 ± 0,3                                                 | 2,293 ± 16                                                  | 2,612 ± 26        | 6,663 ± 64        | 5,380 ± 46        | 6,965 ± 60        | 0,534 ± 14        | 0,0270 ± 14       | 0,0353 ± 14       |
| 1400                      | 12,9 ± 1,3                                                | 2,681 ± 8                                                   | 2,962 ± 14        | 6,617 ± 38        | 5,413 ± 32        | 6,780 ± 20        | 0,560 ± 4         | 0,0348 ± 6        | 0,0365 ± 8        |
| 1600                      | 35,1 ± 3,5                                                | 2,688 ± 6                                                   | 2,862 ± 9         | 6,349 ± 20        | 5,239 ± 15        | 6,648 ± 20        | 0,554 ± 5         | 0,0306 ± 6        | 0,0344 ± 8        |
| Сумма фракций             | 79,0 ± 7,8                                                | 2,4004 ± 7                                                  | 2,690 ± 12        | 6,401 ± 25        | 5,238 ± 25        | 6,425 ± 25        | 0,541 ± 8         | 0,0298 ± 10       | 0,0327 ± 10       |
| Тяжелая фракция, проба 7P |                                                           |                                                             |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| 300                       | 13,8 ± 1,4                                                | 2,016 ± 10                                                  | 2,415 ± 16        | 6,203 ± 28        | 5,120 ± 26        | 6,119 ± 30        | 0,476 ± 6         | 0,0216 ± 8        | 0,0266 ± 12       |
| 400                       | 7,4 ± 0,7                                                 | 2,057 ± 10                                                  | 2,465 ± 26        | 6,389 ± 36        | 5,129 ± 16        | 6,537 ± 38        | 0,566 ± 6         | 0,0220 ± 18       | 0,0280 ± 6        |
| 500                       | 6,6 ± 0,7                                                 | 2,004 ± 12                                                  | 2,485 ± 24        | 6,342 ± 48        | 5,060 ± 26        | 6,547 ± 50        | 0,491 ± 8         | 0,0236 ± 22       | 0,0276            |
| 600                       | 5,4 ± 0,5                                                 | 2,222 ± 10                                                  | 2,555 ± 24        | 6,635 ± 42        | 5,355 ± 40        | 7,017 ± 38        | 0,495 ± 6         | 0,0255 ± 18       | 0,0211 ± 14       |
| 700                       | 5,2 ± 0,5                                                 | 2,137 ± 14                                                  | 2,540 ± 24        | 6,356 ± 20        | 5,175 ± 40        | 6,587 ± 60        | 0,508 ± 12        | 0,0228 ± 20       | 0,0303 ± 14       |
| 800                       | 5,7 ± 0,6                                                 | 2,283 ± 10                                                  | 2,621 ± 24        | 6,392 ± 40        | 5,305 ± 38        | 6,424 ± 40        | 0,511 ± 10        | 0,0253 ± 14       | 0,0256 ± 16       |
| 900                       | 14,8 ± 1,5                                                | 2,570 ± 20                                                  | 2,837 ± 16        | 6,166 ± 36        | 5,065 ± 38        | 6,350 ± 56        | 0,523 ± 10        | 0,0264 ± 10       | 0,0394 ± 12       |
| 1000                      | 25,9 ± 2,6                                                | 2,624 ± 5                                                   | 2,848 ± 12        | 6,147 ± 18        | 5,076 ± 12        | 6,265 ± 30        | 0,470 ± 5         | 0,0205 ± 12       | 0,0239 ± 6        |
| 1100                      | 29,6 ± 3,0                                                | 2,645 ± 7                                                   | 2,817 ± 5         | 6,272 ± 17        | 5,106 ± 15        | 6,394 ± 30        | 0,518 ± 5         | 0,0296 ± 7        | 0,0307 ± 10       |
| 1200                      | 12,8 ± 1,3                                                | 2,695 ± 10                                                  | 2,843 ± 35        | 6,496 ± 40        | 5,404 ± 30        | 6,841 ± 40        | 0,544 ± 8         | 0,0280 ± 12       | 0,0396 ± 18       |
| 1300                      | 8,5 ± 0,8                                                 | 2,331 ± 9                                                   | 2,545 ± 14        | 6,182 ± 30        | 5,051 ± 12        | 6,408 ± 28        | 0,503 ± 7         | 0,0277 ± 13       | 0,0345 ± 15       |
| 1400                      | 6,2 ± 0,6                                                 | 2,193 ± 6                                                   | 2,568 ± 16        | 6,243 ± 40        | 5,224 ± 25        | 6,618 ± 42        | 0,531 ± 7         | 0,0316 ± 18       | 0,0340 ± 12       |
| 1500                      | 4,5 ± 0,4                                                 | 2,174 ± 16                                                  | 2,687 ± 22        | 6,669 ± 54        | 5,363 ± 50        | 6,661 ± 36        | 0,587 ± 8         | 0,0239 ± 14       | 0,0291 ± 16       |
| 1600                      | 7,6 ± 0,8                                                 | 2,109 ± 8                                                   | 2,407 ± 20        | 6,101 ± 40        | 5,061 ± 30        | 6,215 ± 30        | 0,504 ± 6         | 0,0211 ± 10       | 0,0270 ± 16       |
| Сумма фракций             | 154,0 ± 15                                                | 2,386 ± 7                                                   | 2,668 ± 10        | 6,284 ± 20        | 5,148 ± 20        | 6,431 ± 32        | 0,527 ± 7         | 0,0250 ± 15       | 0,0293 ± 15       |

к ним относятся мелилит  $\text{Cd}_2(\text{Al, Mg, Si})\text{Si}_2\text{O}_7$  и герцинит (обогащенный железистой компонентой), найденные при микросондовом исследовании шлифов хондрита Каинсаз СО. Включения с атмосфероподобным Хе могут состоять из более высокотемпературных фаз перовскита, металлических частиц, обогащенных высокотемпературными платиноидами, карбинов и других фаз. Наибольший интерес представляют Fe, Ni, Ir, Os, Ru-частицы, ибо они обнаружены в хондритах Ornans [Palme et al., 1982] и Каинсаз СО [Лаврухина и др., 1984]. Необходимы дальнейшие исследования в этом аспекте.

В высокотемпературной фракции Хе ( $1500^\circ\text{C}$ ) его изотопный состав может быть объяснен космогенной компонентой и компонентой деления. Соотношение между избытками тяжелых изотопов ( $A > 131$ ) (см. рис. 6, в, III) близко к спектру масс при делении  $^{238}\text{U}$  медленными нейтронами. Избыток  $^{128}\text{Xe}$  в области легких масс обусловлен п.  $\gamma$ -реакцией на  $^{127}\text{I}$ . Таким образом, в этой фракции обнаружен эффект взаимодействия медленных (тепловых) нейтронов с веществом хондрита Каинсаз СО.

### ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Анализ полученных данных по изотопному составу Хе в различных фракциях, различающихся по размерам, плотности и минеральному составу зерен, а также по температурам реализаций Хе, позволил установить многокомпонентность Хе в углистом хондрите Каинсаз СО. Основными компонентами являются: 1) планетарный Хе — сосредоточен в оливине и углеродсодержащих фазах; 2) атмосфероподобный Хе — обнаружен в оливин-пироксеновых зернах (в смеси с планетарным Хе), в "тяжелой" фракции после обработки КНО концентрированной  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (в смеси с Хе-Х), в высокотемпературных фракциях ( $1400\text{--}1600^\circ\text{C}$ ) в пробах после обработки  $6\text{M NaOH}$  и  $\text{H}_2\text{O}_2$  и в "коллоидной" фракции после обработки концентрированной  $\text{HNO}_3$  (в смеси с космогенным Хе); 3) радиогенный  $^{129}\text{Xe}$ , ассоциирующий с троилитом; 4) космогенный Хе, изотопный состав которого свидетельствует о воздействии на йод- и теллурсодержащие фазы (высокомолекулярные органические соединения) протонов,  $\alpha$ -частиц и медленных нейтронов; 5) компоненты спонтанного деления  $^{244}\text{Pu}$  (капельные хондры, КНО) и деления  $^{238}\text{U}$  медленными нейтронами ("тяжелая фракция", КНО после обработки концентрированной  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $1500^\circ\text{C}$ ); 6) CCF-Хе (Хе-Х) — обнаружен в КНО, обработанных концентрированными  $\text{HNO}_3$  и  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , выделяется в области температур  $900\text{--}1600^\circ\text{C}$  в отличие от хондрита Allende CV, для которого характерен один максимум реализации Хе-Х ( $1000^\circ\text{C}$ ) [Srinivasan et al., 1978].

Центральная проблема этого исследования — выяснение природы избытка тяжелых изотопов Хе в углистых хондритах, природы Хе-Х (CCF-Хе). Предлагаются два объяснения природы Хе-Х.

1. Изотопное масс-фракционирование. В этом авторы согласны с Куродой [Kuroda, 1976], который избыток тяжелых изотопов Хе объяснил масс-фракционированием. Что касается избытка легких изотопов, то авторы разделяют мнение Андерса и др. [Levis et al., 1983], которые интерпретировали его также как результат масс-фракционирования, но обратного по направлению.

Смешение минеральных фаз-носителей изотопно-легкого и изотопно-тяжелого Хе в разных соотношениях дает варьирующий изотопный состав Хе-Х (CCF-Хе).

Во всех фракциях газа наблюдается близкое линейному расположению точек для  $F_{136}$ ,  $F_{134}$ ,  $F_{132}$ . Это свидетельствует о масс-фракционировании. Однако в некоторых фракциях линии так круты (на рис. 9, а приведен пример из работы [Ott et al., 1981]), что их прямолинейная экстраполяция на  $^{126}\text{Xe}$  и  $^{124}\text{Xe}$  приводит к не имеющим физического смысла отрицательным значениям изотопных отношений. Следовательно, при масс-фракционировании Хе действовал не закон пропорциональности разности масс, а иной закон. По данным работы [Ott et al., 1981], благородные газы в Allende CV фракционируют по экспоненциальному закону. Хорошо известно, что по этому закону фракционируют и изотопы в гравитационном поле. При вращении газового облака

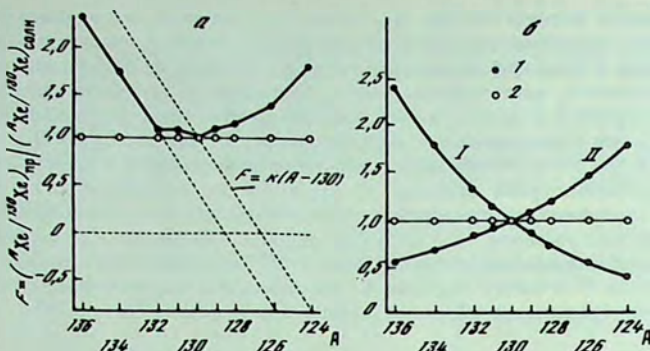


Рис. 9. Изотопное масс-фракционирование ксенона

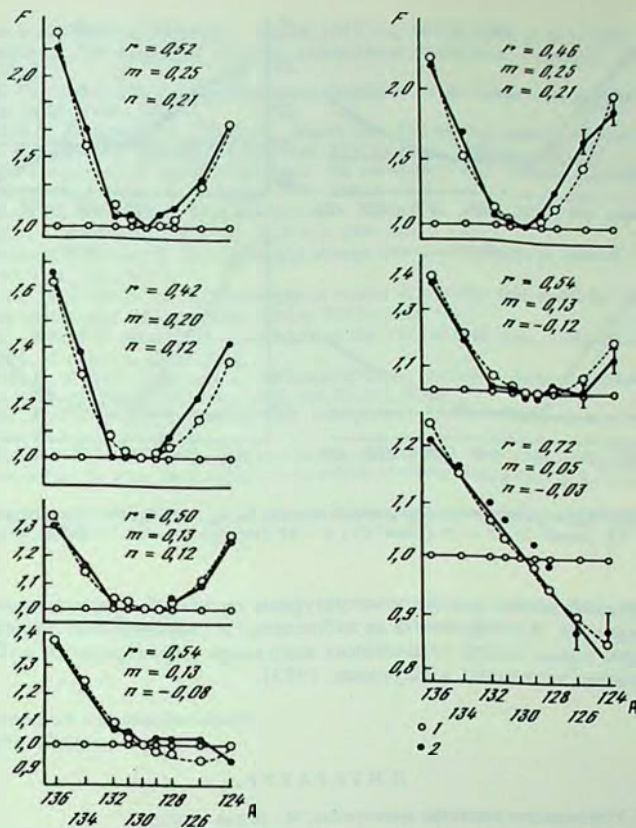
а — отрицательные значения изотопных отношений  $^{136}\text{Xe}/^{130}\text{Xe}$  и  $^{124}\text{Xe}/^{130}\text{Xe}$  при линейной экстраполяции (данные из работы [Ott et al., 1981], Allende A-II-D/ $\text{HClO}_4$ ); б — изотопные соотношения при масс-фракционировании в гравитационном поле: I —  $F = \exp m(A-130)$ ,  $m > 0$ ; II —  $F = \exp n(A-130)$ ,  $n < 0$ ; 1 — проб; 2 — солнечный Xe

вокруг центра гравитации с линейной скоростью  $V$  при температуре  $T$  коэффициент изотопного фракционирования равен  $F = (\exp V^2/2RT)(A_1 - A_2)$ , где  $A$  — массовые числа изотопов;  $R$  — газовая постоянная. При  $V = 10^3$  см/с и  $T = 300$  К коэффициент изотопного фракционирования для  $^{136}\text{Xe}$  и  $^{130}\text{Xe}$  достигает четырех (см. рис. 8, б). При эволюции протопланетного облака гравитационные силы играли существенную роль, вызывая, по-видимому, и изотопное масс-фракционирование [Соботович, 1981]. Можно представить себе такую последовательность образования Xe-X: 1) изотопное масс-фракционирование в поле гравитации: по мере удаления от центра гравитации происходило обогащение газовой фазы легкими, а в близких зонах — тяжелыми изотопами Xe и Kr; 2) захват Xe конденсирующимися пылинками, в результате которого происходит обогащение зерен  $^{136}\text{Xe}$ ,  $^{134}\text{Xe}$ ,  $^{132}\text{Xe}$ ,  $^{86}\text{Kr}$ ,  $^{84}\text{Kr}$ ,  $^{83}\text{Kr}$  в близких к центру гравитации зонах, а в далеких зонах обогащение зерен  $^{124}\text{Xe}$ ,  $^{126}\text{Xe}$ ,  $^{128}\text{Xe}$ ; 3) смешение в первичном веществе углистых метеоритов пылинок разного происхождения, содержащих тяжелый Xe и Kr, с пылинками, содержащими только легкий Xe.

Эта последовательность объясняет качественно присутствие в метеоритах одновременно изотопно-тяжелого Xe и Kr и изотопно-легкого Xe, хотя трудно представить в деталях механизмы эволюции вещества — носителя газов.

Возможность получения варьирующих изотопных составов Xe-X иллюстрируется рис. 10. В зависимости от величины множителей  $m$  и  $n$ , определяющих коэффициенты масс-фракционирования, и соотношения легкого и тяжелого Xe (коэффициент  $r$ ) получаются рассчитанные изотопные составы, близкие к экспериментально найденным.

Была составлена программа для расчета вклада "легкой" и "тяжелой" компоненты Xe и солнечного Xe на ЭВМ EL-1010. Предполагалось, что измеренные величины  $F(A)$  пропорциональны относительным частотам изотопов в данной серии измерений. Полагая, что  $p_A = (A, \psi_1, \psi_2, \dots, \psi_5) = \psi_2 \exp \psi_1(A-130) + \psi_4 \exp [-\psi_3(A-130)] + \psi_5$ , приходим к задаче оценки параметров распределения известного вида по результатам серии экспериментов. Для ее решения применялся метод наибольшего правдоподобия, определялись значения  $\psi_1, \dots, \psi_5$ , при которых функция правдоподобия  $L(F(136), \dots, F(124), \psi_1, \dots, \psi_5) = p_{136}^{F(136)} \cdot p_{134}^{F(134)} \dots p_{124}^{F(124)}$  достигает максимума при полученных в результате эксперимента значениях  $F(136), \dots, F(124)$ . Из физического смысла задачи вытекают дополнительные ограничения на  $\psi_1, \dots, \psi_5$ :  $\psi_1 > 0, \psi_2 \geq 0, \psi_3 > 0, \psi_4 \geq 0, \psi_5 \geq 0, \sum p_A = 1$  и  $p_{130} = 1/\sum F(A)$ . Последнее ограничение связано с тем, что величины  $F(A)$  представляют собой относительные частоты,



Р и с. 10. Сопоставление рассчитанных (1) и экспериментально измеренных (2) изотопных составов Хе (при расчете использовано выражение  $F = r \exp m(A - 130) + (1 - r) \exp n(A - 130)$  и разные значения  $m$ ,  $n$  и  $r$ )

умноженные на нормирующий множитель, при этом  $F(130) = 1$ . Необходимо, чтобы при таком же нормировании  $p_{130}$  также преобразовывалось в единицу. В результате дополнительных ограничений число независимых параметров сократилось до трех. Поиск максимума функции от трех переменных осуществлялся с использованием стандартной подпрограммы по методу прямого поиска. Результаты расчетов представлены на рис. 11.

2. Нуклеогенетическое происхождение Хе-Х (CCF-Xe) основано на представлении [Лаврухина, 1984] о том, что нуклеосинтез изотопов Хе (как и всех других элементов в области  $z > 50$ ) происходит в несколько стадий при эволюции звезд первого и второго поколения, заканчивающейся стадией сверхновых. Предполагается, что CCF-Xe образовался при первом основном акте нуклеосинтеза 10,7 млрд. лет тому назад [Лаврухина, Кузнецова, 1980] как один из первичных компонентов Хе. Он образуется в  $s$ -процессе в Не-оболочке на стадии красного гиганта ( $^{128}\text{Xe}$ ,  $^{129}\text{Xe}$ ,  $^{130}\text{Xe}$ ,  $^{131}\text{Xe}$  и  $^{132}\text{Xe}$ ),  $r$ -процессе ( $^{129}\text{Xe}$ ,  $^{131}\text{Xe}$ ,  $^{132}\text{Xe}$ ,  $^{134}\text{Xe}$  и  $^{136}\text{Xe}$ ) и  $p$ -процессе ( $^{124}\text{Xe}$  и  $^{126}\text{Xe}$ ). Последние два процесса протекают в ударной волне, пересекающей атмосферу предсверхновой [Black, 1975; Hoyle, Fowler, 1973]. Конденсирующиеся под

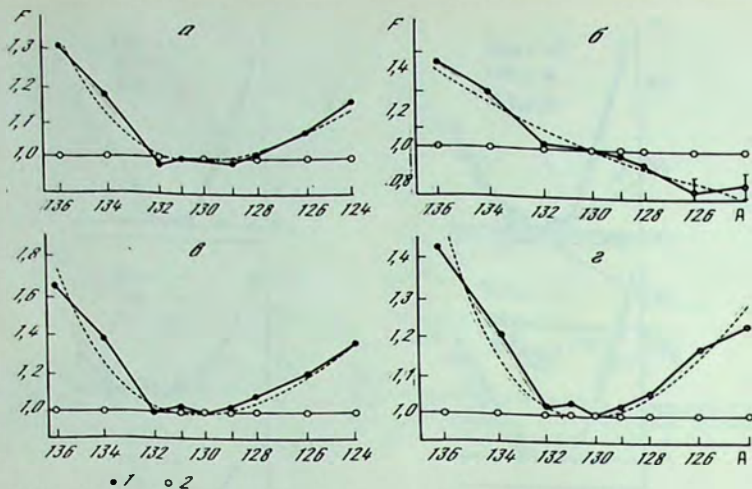


Рис. 11. Примеры расчетов изотопного состава Xe на ЭВМ Е-1010 для различных проб  
а — 1А (1000°С); б — 7Р (1000°С); в — 9Р (900°С); г — 3Р (1000°С)

действием ударной волны высокотемпературные пылинки углерода захватили первичную компоненту Xe. Астрофизические наблюдения и теоретические расчеты позволяют оценить среднее время жизни тугоплавких ядер межзвездных пылинок в  $10^{10}$  лет (сравнимо с возрастом Галактики) [Лаврухина, 1983].

Статья поступила в Комитет по метеоритам  
АН СССР в марте 1984 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Вдовыкин Г.П. Углеродистое вещество метеоритов. М.: Наука, 1967.
- Лаврухина А.К. Особенности физико-химических процессов эволюции космического вещества. — Метеоритика, 1983, вып. 42, с. 3–22.
- Лаврухина А.К., Кузнецова Р.И. Нуклеосинтез легких и ободенных изотопов в веществе Солнечной системы. — Геохимия, 1980, № 1, с. 3–14.
- Лаврухина А.К., Лаврентьева З.А., Стахеева С.А., Игнатенко К.И. Изучение непрозрачных минералов и сосуществующих силикатов в углистом хондрите Канисаз СО. — В кн.: Тез. докл. на XIX Всесоюз. конф. по метеоритике и космохимии. М.: ГЕОХИ АН СССР, 1984, с. 53–54.
- Лаврухина А.К., Люль А.Ю., Колесов Г.М. Поиск ультра-тугоплавких включений в углистом хондрите Канисаз нейтронно-активационным методом. — В кн.: Тез. докл. на XIX Всесоюз. конф. по метеоритике и космохимии. М.: ГЕОХИ АН СССР, 1984, с. 53–54.
- Соболевич Э.В. Гетерогенность протопланетного вещества по изотопным данным. — Геохимия, 1981, № 12, с. 1802–1815.
- Уббеллоде А.Р., Льюис Ф.А. Графит и его кристаллические соединения. М.: Мир, 1965. 256 с.
- Шуколюков Ю.А., Данг Ву Минь, Фисенко А.В. и др. Изотопные аномалии ксенона в углистом хондрите Канисаз СО. I. Минеральные фазы — "концентраторы" захваченного ксенона. — Наст. сб. Alalerts L., Lewis R.S., Anders E. Isotopic anomalies of noble gases in meteorites and their origins. IV. C3 (Ornans) carbonaceous chondrites. — Geochim. et. cosmochim. acta, 1979, vol. 43, N 9, p. 1421–1432.
- Black D.C. Alternative hypothesis for the origin of CCF xenon. — Nature, 1975, vol. 253, N 5431, p. 417–419.
- Eberhardt P., Geiss I., Gref H. et al. Trapped solar wind gases in Apollo-12 lunar fine 12001 and Apollo-11 breccia 10045. — In: Proc. 3th Lunar sci. conf. Oxford etc.: Pergamon press, 1972, p. 1821–1856.
- Frick U., Reynolds I.H. On the host phases of planetary noble gases in Allende. — In: Lunar and planetary science, VIII. Houston, 1977, p. 319–321.

- Illye F., Fowler W.A.* Origin of deuterium. — *Nature*, 1973, vol. 241, N 5389, p. 384–386.
- Kuroda P.K.* Xenology: The enigma of xenon in carbonaceous chondrites. — *Geochim. J.*, 1976, vol. 10, N 3, p. 121–136.
- Lavrukhina A.K.* On origin CCF-Xe in carbonaceous chondrites. — In: *Lunar and planetary science conf.*, XV. Houston, 1984, p. 469–470.
- Lewis R.S., Anders E., Shimamura T., Lugmair G.* Search for isotopic anomalies correlated with CCF-Xe. 1. Barium. — In: *Lunar and planetary science conf. XIV.* Houston, 1983, p. 436–437.
- Lewis R.S., Ebihara M., Anders E.* Impaired electrons: An association with trapped primordial gases in meteorites? — *Meteoritics*, 1982, vol. 17, N 4, p. 244–245.
- Lewis R.S., Ebihara M., Matsuda J., Anders E.* Noble-gas carriers in Allende (C3V), Hamlet (LL3), and Murchison (C2). — *Meteoritics*, 1981, vol. 16, N 4, p. 349–350.
- Lewis R.S., Srinivasan B., Anders E.* Host phase of a strange xenon component in Allende. — *Science*, 1975, vol. 190, N 4221, p. 1251–1262.
- Lumpkin G.R.* Electron microscopy of carbonaceous matter in Allende acid residues. — In: *Proc. Lunar and planetary science conf. XII.* Houston, 1981, p. 1153–1166.
- Ott U., Mack R., Chang S.* Noble-gas-rich separates from the Allende meteorite. — *Geochim. et cosmochim. acta*, 1981, vol. 45, N 10, p. 1751–1788.
- Palme H., Wlotzka E., Nagel K., El-Goresy A.* An ultra-refractory inclusion from the Ornano carbonaceous chondrite. — *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 1982, vol. 61, N 1, p. 1–2.
- Reynolds J.H., Frick U., Neil J.M., Phinney D.L.* Rare-gas-rich separates. — *Geochim. et cosmochim. acta*, 1978, vol. 42, N 12, p. 1775–1798.
- Srinivasan B., Lewis R.S., Anders E.* Noble gases in the Allende and Abee meteorites and gas-rich mineral fraction investigation by stepwise heating. — *Geochim. et cosmochim. acta*, 1978, vol. 42, N 2, p. 183–198.
- Swart P.K., Gredy M.M., Pillinger C.T.* et al. Interstellar carbon in meteorites. — *Science*, 1983, vol. 220, N 4595, p. 406–410.