

## ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ СЕРЫ В МЕТЕОРИТАХ И ЗЕМНЫХ ОБЪЕКТАХ

Периодическая система элементов Д. И. Менделеева долгое время основывалась на химических атомных весах. Это оказалось возможным благодаря тому, что атомные веса различных элементов в пределах точности, доступной химическому анализу, оставались практически неизменными, независимо от того, из каких веществ выделялись эти элементы и в каких частях земного шара добывались эти вещества. До открытия изотопии и связи между зарядом ядра и местом атома в периодической

системе постоянство атомных весов казалось естественной необходимостью, а аномалии в расположении некоторых элементов (аргон — калий и др.) оставались необъясненными.

Открытие изотопов поставило перед наукой проблему постоянства атомных весов. Систематические исследования изотопного состава элементов с помощью масс-спектрального метода, точность которого намного превосходит точность химических методов, показали, что если и наблюдаются иногда колебания в процентном содержании изотопов, то они невелики. Подобные исследования были сделаны для изотопов H, B, C, O, Si, Cl, Ar, K, Fe, Ni, Sr, Sb, Pb<sup>1</sup>. Вопрос о причинах постоянства изотопного состава элементов имеет очень большой интерес, так как он непосредственно связан с вопросом о происхождении элементов и образовании Земли.

Особый интерес этот вопрос приобрёл тогда, когда наряду с земными объектами стали изучать атомные веса и изотопный состав элементов в метеоритах, приходящих на землю из космического пространства. Тщательными химическими анализами было установлено, что атомные веса земных и метеоритных элементов C, O, Si, Cl, K, Fe, Ni, Cu, Ga одинаковы<sup>2</sup>. Произведённые в последнее время анализы изотопного состава некоторых элементов (C, O, Fe, Cu, Ga) также не обнаружили никакого различия в пределах точности масс-спектрального метода. Однако число работ по сравнению изотопного состава земных и метеоритных элементов, а тем более число исследованных элементов крайне незначительно. Поэтому дальнейшие исследования в этой области являются весьма важными.

Недавно в Институте геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского А. Трофимовым было выполнено исследование изотопного состава серы в метеоритах и земных объектах<sup>3</sup>. Определение изотопного состава а земной серы, сделанное Ниром в 1938 г.<sup>4</sup>, показало, что она имеет четыре стабильных изотопа следующего процентного содержания.  $S^{32}$  (95,1%),  $S^{33}$  (0,74%),  $S^{34}$  (4,2%),  $S^{36}$  (0,016%). С тех пор никаких исследований изотопного состава серы не производилось.

В работе А. Трофимова были исследованы четыре образца серы, взлечённые из двух каменных (Саратов и Гросслибенталь) и двух железных (Августиновка и Сихотэ-Алинь) метеоритов. Для сравнения были взяты также четыре образца земной серы: вода Гренландского моря; вулканическая элементарная сера, добытая из Ключевской сопки; пирит и реактивная серная кислота. Анализ производился с помощью секторного масс-спектрометра (величина сектора 90°), построенного по типу масс-спектрометров Нира<sup>5</sup> и Хипла<sup>6</sup>. Концентрация изотопов определялась путём измерения ионных токов с помощью лампового усилителя, предельная чувствительность которого равнялась  $\sim 1 \cdot 10^{-15}$  а на 1 мм шкалы зеркального гальванометра. Управление пучком ионов осуществлялось изменением ускоряющего поля, причём в отличие от работы Нира, были определены ошибки от «вольт-эффекта» и введены поправки на него в окончательные результаты. Для проведения анализа из всех образцов были приготовлены пробы сернистого газа  $SO_2$ . При ионизации газа в источнике ионов, производимой электронами с энергией  $\sim 60$  eV, возникают ионы  $SO_2^+$  и, в меньшем количестве, ионы  $SO^+$  и  $S^+$ . Каждый из них образует группу пиков, соответствующих всем возможным комбинациям изотопов серы и кислорода. Однако ионы  $SO_2^+$ , а также и  $S^+$  попадали в область диапазона масс, в которой в приборе после введения газа возникал неустраивимый фон, резко и нерегулярно искажавший картину распределения изотопов. В области же масс ионов  $SO^+$ , заключённой между 48 ( $S^{32}O^{16}$ ) и 52 ( $S^{34}O^{18}$ ), вакуумный фон отсутствовал даже при продолжительной непрерывной работе прибора, а картина пиков

хорошо воспроизводилась при повторных измерениях. Поэтому определение изотопного состава у всех проб производилось только на ионах  $\text{SO}^+$ . Было выполнено две серии независимых измерений, произведённых в разное время. Определение отношения  $\text{S}^{34}:\text{S}^{32}$  было сделано с точностью до 1%, а отношения  $\text{S}^{33}:\text{S}^{32}$  — до 3%. Относительно малораспространённого изотопа  $\text{S}^{36}$  удалось лишь показать, что порядок его концентрации был одинаков во всех пробах. Усреднённые результаты измерения, составленные с учётом влияния разных изотопов кислорода и поправок на «вольт-эффект», приведены в таблице.

Метеориты	$\text{S}^{32}:\text{S}^{33}:\text{S}^{34}$	Земные объекты	$\text{S}^{32}:\text{S}^{33}:\text{S}^{34}$
Саратов . . .	100 : 0,78 : 4,53	Морская вода	100 : 0,81 : 4,60
Гросслибенталь	100 : 0,79 : 4,56	Вулканическая сера . . . . .	100 : 0,81 : 4,56
Августиновка	100 : 0,79 : 4,56	Пирит . . . . .	100 : 0,80 : 4,56
Сихотэ-Алинь	100 : 0,79 : 4,54	Серная кислота	100 : 0,79 : 4,56
Среднее . . .	100 : 0,79 : 4,55	Среднее . . .	100 : 0,80 : 4,57

Из таблицы видно, во-первых, что изотопный состав серы одинаков во всех четырёх метеоритах, и средний изотопный состав земной и метеоритной серы совершенно одинаков, как и у остальных исследованных до сих пор элементов. Во-вторых, оказалось, что отношение, полученное для морской воды, заметно отличается от всех других, указывая на наличие обогащения её тяжёлым изотопом  $\text{S}^{34}$ . Это обогащение составляет примерно 1%, т. е. находится почти в пределах возможной ошибки измерений, однако оно, повидимому, вполне реально, так как наблюдалось при всех измерениях. Тот факт, что морская вода обогащается именно тяжёлым изотопом, также подтверждает возможность существования какого-то процесса, ответственного за это обогащение. Наконец, так как степень точности описанных измерений в два раза выше, чем у Нира, и, кроме того, число измерений изотопного состава здесь значительно больше, то среднее отношение изотопов серы, вычисленное на основе всех данных таблицы и равное  $\text{S}^{32}:\text{S}^{33}:\text{S}^{34} = 100:0,80:4,56$ , является более точным, чем данное Ниром и входящее во все таблицы изотопов значение 100:0,78:4,4.

В. Л.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. В. Астон, Масс-спектры и изотопы, ИЛ (1948).
2. C. Baxter and F. Hilton, Journ. Am. Chem. Soc. 115, 694 (1923).
3. А. Трофимов, ДАН СССР, LXVI, № 2, 181 (1949).
4. A. Nier, Rhys. Rev. 53, 282 (1938).
5. A. Nier, Rev. Sc. Instr. 11, 212 (1940).
6. J. Hipple, Journ. Appl. Phys. 13, 551 (1942).