

А. Л. ДЕВИРЦ, И. Л. КАМЕНСКИЙ, И. Н. ТОЛСТИХИН

ИЗОТОПЫ ГЕЛИЯ И ТРИТИЙ В ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКАХ

(Представлено академиком А. П. Виноградовым 24 IX 1969)

В работе (1) сообщалось о нахождении в вулканических газах Южно-Курильских островов гелия с аномально высоким изотопным отношением: $6,2 \cdot 10^{-6} \leq \text{He}^3 / \text{He}^4 \leq 12 \cdot 10^{-6}$. Для объяснения этих данных были предложены четыре гипотезы, в одной из которых рассматривалась возможность появления гелия с подобным изотопным отношением за счет β -распада техногенного трития, содержащегося в современной метеорной воде*. Было показано, что для возникновения наблюдаемых отношений $\text{He}^3 : \text{He}^4$ необходима минимальная концентрация трития в 1961—1962 гг. ~ 600 Т. В (1). Существуют три следствия рассматриваемой гипотезы.

Следствие 1. Содержание трития в источниках в период отбора образцов (1967—1968 гг.) при отсутствии разбавления молодых вод более древними, не содержащими техногенного трития, должно быть ~ 450 Т. В. Если происходило разбавление воды, приведшее к уменьшению концентрации трития, то должна была пропорционально уменьшиться и концентрация гелия.

Следствие 2. Содержание трития в дождевой воде зависит от метеорологических условий и района формирования осадков. Оно претерпевает значительные колебания во времени и в течение года в одном месте может измениться на порядок (3). Соответственно должно измениться и измеряемое отношение $\text{He}^3 / \text{He}^4$.

Следствие 3. В связи с прекращением испытаний водородного оружия в атмосфере содержания техногенного трития в дождевых осадках непрерывно уменьшается во времени, что должно приводить к постепенному уменьшению наблюдаемых отношений $\text{He}^3 / \text{He}^4$.

Для проверки рассматриваемой гипотезы в 1968 г. были отобраны пробы вод и выделяющихся с ними газов на Южных и Северных Курильских островах и на Камчатке; определены изотопный состав и содержание He в пробах газа и T в пробах воды. Применявшиеся экспериментальные методики изложены в работах (3, 4) (см. табл. 1 и рис. 1)**.

Как видно из данных табл. 1, измеренные концентрации трития в 25—100 раз ниже, чем ожидаемые согласно следствию 1. Если имело место разбавление обогащенной тритием молодой воды, то и концентрация He в воде источников должна быть в 25—100 раз ниже, чем в метеорной воде. Коэффициент растворимости гелия при изменении температуры от 10 до 100°С и минерализации от 0 до 1 г-экв/л изменяется не более чем на 40% (5), т. е. концентрация гелия в основном будет определяться его парциальным давлением. Поскольку общее давление газа, выделяющегося в виде пузырьков вместе с водой, будет в точке выхода на земную поверхность составлять ~ 1 атм, парциальное давление гелия составит в среднем для проб, приведенных в табл. 1, $\sim 5 \cdot 10^{-5}$ атм.; парциальное давление гелия в воздухе равно $5 \cdot 10^{-8}$ атм. Таким образом, концентрация гелия в воде источников примерно на порядок выше, чем в дождевой воде***.

* Дальнейшая разработка этой гипотезы привела к теоретическому обоснованию возможности определения возраста молодых подземных вод $\text{T} - \text{He}^3$ -методом (2).

** Подробные аналитические данные и геологические наблюдения в местах отбора проб будут приведены в журнале «Геохимия».

*** Этот факт исключает также возможность диффузии гелия из молодой воды в древнюю через водонепроницаемую перегородку.

Изотопный состав и содержание гелия и трития

№№ п.п.	Место взятия пробы	Содержание		He ³ /He ⁴ · 10 ⁻⁶
		Т в воде (т. е.)	He в газе* (об. %)	
1	О-в Кунашир			
2	Столбовский источник	<5	0,01	7,6
3	Там же, южная часть			
4	Восточнее фумарольного поля вулкана Менделеева	<20	0,002	6,2
5	Там же, Верхне-Менделеевские источники	<20	0,0013	8,8
6	О-в Утуруп, источник Горячий ключ	<20	0,008	8,0

* Примесь неона в гелий не более 20%. Аналитики: № 1 — Н. В. Альбинский; № 2, 3, 4 — С. Н. Суриков, 1967 г.; № 5 — Е. А. Васков и С. Н. Суриков, 1968 г.; № 6 — С. Н. Суриков, 1968 г.

Таким образом, имеющиеся экспериментальные данные противоречат первому следствию предложенной гипотезы.

Как видно из рис. 1, изотопный состав гелия, отобранного в разное время в пунктах, удаленных один от другого на многие сотни километров и расположенных в различных геологических условиях: в кальдере вулкана (Узот, Камчатка), на сольфатарных плато вулканов (Эбеко, о-в Парамушир, Менделеева, о-в Кунашир), в поймах рек, прорезающих неогеновые отложения (Горячий ключ), сравнительно постоянен, что противоречит второму следствию предложенной гипотезы.

Третье следствие «третивековой» гипотезы может быть проверено путем многолетних систематических наблюдений за изотопным составом гелия из нескольких источников. Поскольку период полураспада трития составляет 12,3 г., надежные результаты могут быть получены через 6—8 лет.

В только что опубликованной работе (6) сообщается о заметном увеличении отношения He³/He⁴ в глубинных водах Тихого океана: $^{\circ}\text{He}^3/\text{He}^4 = 1,55 \cdot 10^{-6}$ (среднее для восьми точек разреза); для пробы, отобранной на глубине 4 м, это отношение близко к атмосферному: $^{\text{a}}\text{He}^3/\text{He}^4 = 1,38 \cdot 10^{-6}$; общее увеличение концентрации гелия на больших глубинах за счет добавки глубинного гелия ($^{\text{r}}\text{He}$) оценивается в 5%. На основании этих данных можно рассчитать изотопный состав гелия, поступающего в океан из недр Земли, по-видимому, из мантии. Полагая, что океанический гелий ($^{\circ}\text{He}$) состоит из двух компонент — растворенного атмосферного ($^{\text{a}}\text{He}$) и глубинного ($^{\text{r}}\text{He}$), можно написать систему из двух уравнений:

$$\frac{^{\text{a}}\text{He}^3 + ^{\text{r}}\text{He}^3}{^{\text{a}}\text{He}^4 + ^{\text{r}}\text{He}^4} = \frac{^{\circ}\text{He}^3}{^{\circ}\text{He}^4} = 1,55 \cdot 10^{-6};$$

$$\frac{^{\text{r}}\text{He}^4}{^{\text{a}}\text{He}^4 + ^{\text{r}}\text{He}^4} = 0,05.$$

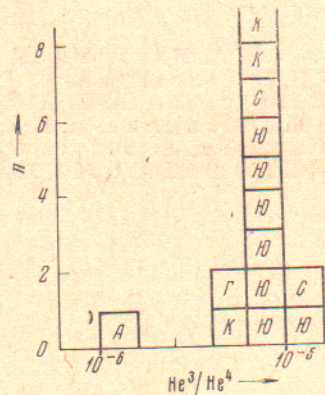


Рис. 1. Гистограмма отношения He³/He⁴ в вулканических газах, отобранных на Камчатке (К), Сев. Курильских островах (С), Южн. Курильских островах (Ю). А — He³/He⁴ в атмосфере, Г — глубинная компонента океанического гелия; n — число случаев

Решая уравнения относительно ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ с учетом приведенной выше величины отношения для атмосферного гелия, получаем ${}^3\text{He}/{}^4\text{He} = 4.8 \cdot 10^{-6}$, что практически полностью совпадает с отношениями, обнаруженными в вулканических газах (рис. 1). Полученный результат еще раз свидетельствует в пользу глубинного происхождения вулканического гелия. По-видимому, источник гелия, наблюдаемого в вулканах и в океане, один и тот же.

В заключение отметим, что объяснение природы вулканического гелия поверхностными процессами, в частности β -распадом техногенного трития, не подтверждается экспериментальными данными и является маловероятным.

Авторы благодарны Э. К. Герлингу, Б. А. Мамырину, Ю. А. Щуколюкову, Э. И. Добкиной за внимание и помощь в работе.

Институт геохимии и аналитической химии
им. В. И. Вернадского
Академии наук СССР
Москва

Поступило
18 IX 1969

Институт геологии и геохронологии докембрия
Академии наук СССР
Ленинград

Всесоюзный нефтяной геологоразведочный институт
Ленинград

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Б. А. Мамырин, И. Н. Толстихин и др., ДАН, 184, № 5, 1197 (1969).
² И. Н. Толстихин, И. Л. Каменский, Геохимия, № 8, 1027 (1969). ³ А. П. Виноградов, А. Л. Девириц, Э. И. Добкина, Геохимия, № 10, 1147 (1968).
⁴ Б. А. Мамырин, И. Н. Толстихин и др., Геохимия, № 5, 595 (1969). ⁵ В. П. Якуцени, Геология гелия, 1968. ⁶ W. V. Clarke, M. A. Beg, H. Craig, Earth et Planet. Sci. Let., 6, № 3, 213 (1969).