

Э. К. ГЕРЛИНГ

**ТЕПЛОТА ДИФФУЗИИ ГЕЛИЯ КАК КРИТЕРИЙ,
ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ПРИГОДНОСТЬ МИНЕРАЛОВ ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТА ПО ГЕЛИЕВОМУ МЕТОДУ**

(Представлено академиком В. Г. Хлопиным 5 VI 1939)

В 1937 г.⁽¹⁾ на Международном геологическом конгрессе в Москве в качестве критерия пригодности минералов для определения возраста по гелиевому методу мною была выдвинута теплота диффузии гелия, характеризующая то энергетическое состояние гелия и атомов твердого тела, при котором происходит перемещение гелия из одной элементарной ячейки в другую. Было показано, что чем большее значение принимает теплота диффузии, тем меньше вероятность перемещения гелия по решетке кристалла. Теплота диффузии может быть, с одной стороны, вычислена теоретически, а с другой, определена экспериментально. Теоретически она может быть вычислена, исходя из теории Jean Cichoski⁽²⁾, причем этот расчет может быть выполнен только для металлов. Расчет, сделанный мною, показал, что все металлы с температурой плавления больше 1000° дают большое значение для теплоты диффузии и вероятность ухода гелия из них за $2 \cdot 10^9$ лет практически равна нулю. Предельное значение теплоты диффузии, которое еще может гарантировать сохранность гелия в минералах за время в $2 \cdot 10^9$ лет, как показал расчет, равно примерно 35000—36000 мал. кал на 1 г-атом гелия и потому минералы, обладающие таким значением теплоты диффузии или большим, должны оказаться пригодными для определения возраста по гелиевому методу.

Как уже указывалось, имеется еще второй путь для определения теплоты диффузии, который основан на теории Г. Л. Гринберга⁽³⁾ по обезгаживанию металлов в вакууме. Этот исследователь вывел следующую формулу для количества газа, выделяющегося в единицу времени при нагревании цилиндрической нити:

$$\frac{dQ}{dt} \approx 2\pi DNe^{-\frac{5.78D}{R^2}}$$

Здесь: D —коэффициент диффузии; N —число атомов газа; R —радиус нити; t —время. Это уравнение было экспериментально проверено Птицыным и Финком⁽⁴⁾, причем они нашли, как и следовало ожидать, что $\log \frac{dQ}{dt}$ изменяется прямолинейно со временем. Кроме того они установили

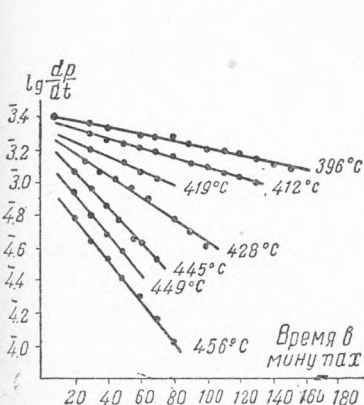
зависимость между температурой и коэффициентом диффузии: $D = D_0 e^{-\frac{E}{kT}}$. Отложив по оси ординат $\log D$, а по оси абсцисс $\frac{1}{T} \cdot 10^6$, они получили

прямую линию, по которой было вычислено значение теплоты диффузии. Я решил, воспользовавшись этой методикой, попытаться определить теплоту диффузии гелия для некоторых минералов и установить зависимость между получающимися значениями теплоты диффузии и количеством потерянного минералами гелия. На исследование были взяты минералы, приведенные в табл. 1.

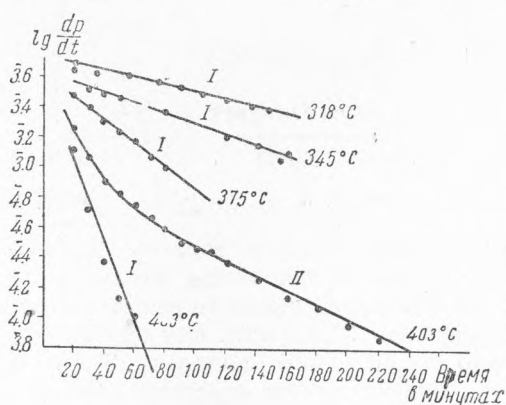
Таблица 1

Наименование минерала	Возраст по He в 10^6 лет	% потерянного He	Теплота диффузии в мал. кал на 1 г-атом He			
			I	II	III	IV
Сплошной лопарит, куски 1—2 мм	280	<10	—	34300	—	—
Пойкилитовый лопарит, куски 1—2 мм	170	40	22300	34000	—	—
Монацит-зерна 0.2—0.5 мм	852	47	6300	27800	41400	50300
Монацит-пыль <0.1 мм	»	47	—	28700	40500	—
Уранинит-зерна 0.2—0.5 мм	48	97	9600	15000	—	—

Для определения теплоты диффузии был сконструирован специальный прибор, описание которого будет дано в другом месте; здесь укажу только, что прибор давал возможность производить замеры количества гелия,



Фиг. 1



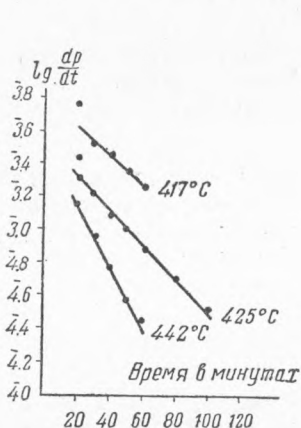
Фиг. 2

выделяющегося из минерала в 1 минуту, и проследить отдачу гелия минералом со временем. Откладывая логарифм количества гелия, выделяющегося из навески минерала в 1 минуту, по оси ординат, а по оси абсцисс время, я получил кривые, характеризующие процесс отдачи гелия минералом для различных температур опыта. Результаты этих определений для сплошного лопарита и пойкилитового лопаритов приведены на фиг. 1—3. Для сплошного лопарита, как это видно из фиг. 1—3, получаются прямые линии, наклон которых все увеличивается с температурой. Если по оси ординат отложить логарифм наклона, полученного для различных температур опыта, а по оси абсцисс $\frac{1}{T} \cdot 10^6$, то получается прямая линия, по которой было

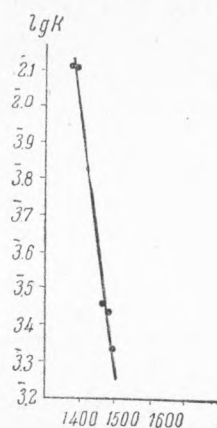
вычислено значение теплоты диффузии. Для сплошного лопарита она оказалась равной 34300 мал. кал на 1 г-атом гелия (фиг. 4). Для пойкилитового лопарита получилась несколько иная картина, что видно из фиг. 2 и 3. Для температур 318, 345 и 375° получились прямые линии, наклон которых все увеличивается с температурой. При температуре

403° вместо одной прямой была получена кривая, состоящая из двух прямолинейных частей. Было высказано предположение, что средний участок кривой получился в результате наложения двух процессов, связанных с выделением гелия из двух различных состояний. Если допустить, что каждый из этих процессов идет независимо, то можно ввести поправку, учитывающую влияние второго процесса на количество гелия, которое выделяется в первом процессе. Результаты этих вычислений нанесены на фиг. 2. Из фиг. 2 видно, что полученные точки хорошо ложатся на прямую. При дальнейшем повышении температуры были получены опять прямые линии, так как уловить участок кривой, связанный с выделением гелия из первого состояния, не удалось. Из полученных наклонов, для каждого из этих процессов была вычислена теплота диффузии, причем для первого процесса она оказалась равной 22300 мал. кал. на 1 г-атом гелия, а для второго 34000 мал. кал.

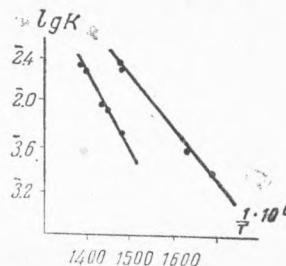
(фиг. 5). Исходя из того, что пойкилитовый лопарит содержит, как это установил Л. В. Комлев (5), большое количество посторонних



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

включений, следует теплоту диффузии в 22300 мал. кал отнести за счет перемещения гелия вдоль нарушений, а вторую теплоту связать с перемещением гелия по решетке лопарита. Полученное значение теплоты диффузии в 34000 мал. кал удачно согласуется с тем, которое было получено для сплошного лопарита. Такие же опыты были поставлены с монацитом, причем в этом минерале удалось установить целую серию состояний гелия, выделение из которых связано с различной активацией атомов гелия и ионов твердого тела. Так например, теплота диффузии гелия, выделяющегося из первого состояния, равна всего 6300 мал. кал на 1 г-атом гелия и связана, повидимому, с перемещением гелия по трещинам с шириной 2—4 Å. Количество гелия, выделяющееся из этого состояния, невелико и составляет всего 1—2% от общего содержания его в минерале. Для второго процесса теплота диффузия оказалась равной 27800 мал. кал на 1 г-атом гелия и связана, повидимому, с диффузией гелия по спайности, так как в этом направлении перемещение гелия должно встречать наименьшее затруднение. Две другие теплоты диффузии оказались соответственно равными 41400 и 50300 мал. кал. на 1 г-атом He и связаны с выделением гелия из различных участков решетки монацита.

Для уранинита были получены две теплоты диффузии, из которых одна оказалась равной 9600 мал. кал и, как и в случае монацита, связана с перемещением гелия по трещинам. Второе значение оказалось равным 15000 мал. кал и вызвано перемещением гелия по решетке уранинита. Из полученных данных видно, что количество гелия, потерянное минералом, уменьшается с увеличением теплоты диффузии гелия по решетке

минералов, а при достижении значения в 34000 мал. кал на 1 г-атом He, что имеет место для лопарита, она даже меньше 10%. Исходя из экспериментально найденных значений теплот диффузии, можно придти к выводам, что по значениям теплоты диффузии можно судить о пригодности минералов как объектов для определения возраста по гелиевому методу и при достижении значения в 34000 мал. кал гарантируется полная сохранность в них гелия при отсутствии больших количеств нарушений в решетках этих минералов. Подробно работа будет напечатана в Трудах радиевого института.

Радиевый институт
Академия Наук СССР

Поступило
19 VI 1939

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Э. К. Герлинг, Тр. Междунар. геолог. конгр. (1937); Тр. Радиев. ин-та, V. ² Jean Sichoński, Le Journ. de Phys. et le Radium, S. VII, t. VII, № 10 (1936). ³ Г. Л. Гринберг, ЖЭИФ, I, вып. 5 (1931). ⁴ С. В. Птицын и Финк, ЖЭТФ, I, вып. 5 (1931); С. В. Птицын, Журн. техн. физ., II, вып. 9—10 (1932). ⁵ Л. В. Комлев, Тр. Радиев. ин-та, V.