

А. Е. ТОЛКУНОВ, Ю. А. САМОЙЛОВ

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ВОЗРАСТА ПОРОД МЕТОДОМ ПРИВЕДЕННОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕРМОВЫСВЕЧИВАНИЯ

(Представлено академиком Н. В. Беловым 11 XII 1972)

Обычно относительный возраст пород определяют путем сравнения замеренной интенсивности термовысвечивания (термолюминесценции) или сравнения площадей, ограниченных кривой термовысвечивания (ТВ) на ленте самописца (<sup>4-6</sup>, <sup>9</sup>, <sup>10</sup>). Сформированные позднее породы характеризуются меньшей накопленной светосуммой и соответственно интенсивностью ТВ.

Занимаясь длительное время изучением ТВ пород и минералов и применяя этот общеизвестный способ интерпретации параметров ТВ, мы получили ряд выводов, противоречивших наблюдаемым в поле возрастным соотношениям пород. Анализ геологических материалов и экспериментальных данных показал, что такой упрощенный метод определения относительного возраста пород по интенсивности ТВ применим лишь в частном случае, для пород с одинаковыми или очень близкими содержаниями радиоактивных элементов (РЭ).

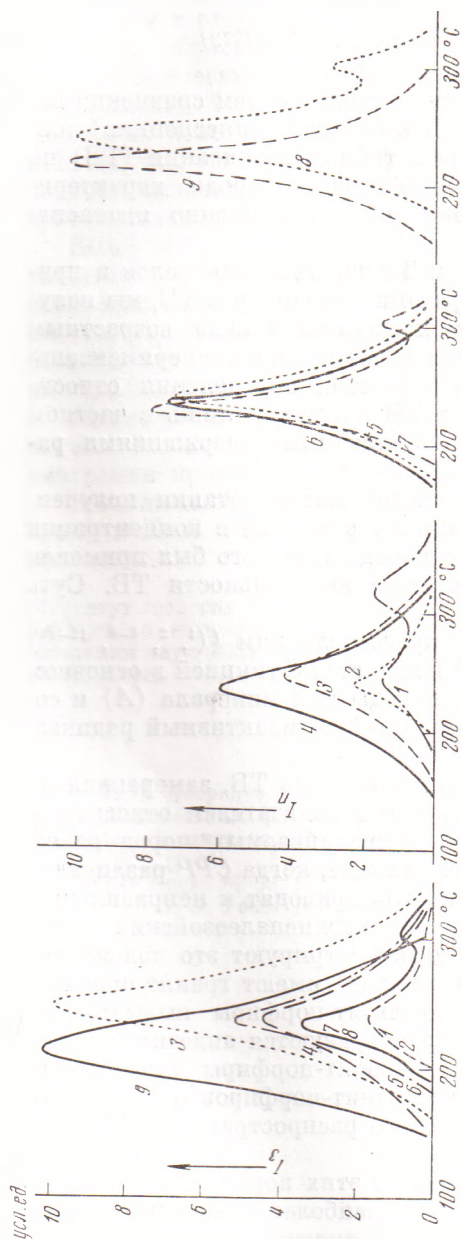
Авторы предприняли попытку найти способ интерпретации полученных данных, позволяющий исключить влияние различий в концентрации РЭ на параметры ТВ сравниваемых групп пород. Для этого был применен метод так называемой приведенной (удельной) интенсивности ТВ. Суть его заключается в следующем.

Согласно современным теоретическим представлениям ((<sup>1</sup>, <sup>2</sup>, <sup>6-8</sup>, <sup>12-15</sup>) и др.), замеренная интенсивность ТВ ( $I_z$ ) является функцией в основном двух переменных — абсолютного возраста породы или минерала ( $A$ ) и содержания радиоактивных элементов (суммарный радиоактивный радикал, или  $CPP$ ), т. е.  $I_z = f(A, CPP)$ .

Как видно из данного соотношения, интенсивность ТВ, замеренная на ленте самописца установки ( $I_z$ ) может служить показателем относительного возраста только при условии, если  $CPP$  сравниваемых пород равны или очень близки по величине. В общем же случае, когда  $CPP$  различаются, определения возрастных соотношений по  $I_z$  приводят к неправильным выводам. Приведенные на рис. 1 графики ТВ верхнепалеозойских пород одного из районов Средней Азии наглядно иллюстрируют это положение. Максимальную  $I_z$  (из сравниваемых групп пород) имеют гранит-порфиры мазорджонского типа (10,3 усл. ед.) и фельзит-порфиры кызылнуринского типа (9,9 усл. ед.); меньшими  $I_z$  характеризуются андезито-дациты шурабсайской свиты (3,4 усл. ед.), гранодиорит-порфиры гушайского типа (3,5 усл. ед.), а также поздние дайки гранит-порфиров музбельского типа (1,8 усл. ед.) и гранофилов регионального распространения (1,4 усл. ед.).

Пытаясь определить относительный возраст этих пород только по данным ТВ, мы должны были бы сказать, что наиболее молодыми в этой группе являются гранит-порфиры, гранофиры, андезито-дациты и гранодиорит-порфиры. Этот вывод правилен только в отношении гранит-порфиров и гранофилов, а андезито-дациты и гранодиорит-порфиры — по геологи-

Рис. 1. Графики термо-высвечения пород по замеренным и приведенным интенсивностям. Цифры на кривых соответствуют порядковым номерам сравниваемых групп пород в табл. 1



ческим наблюдениям и определениям абсолютного возраста — относятся, несомненно, к более древним.

Вместе с тем, сравнивая содержания радиоактивных элементов в этих группах пород (табл. 1), легко заметить резкое возрастание их от андезито-дацитов к фельзит-порфирам, причем отношение содержаний урана в этих двух крайних членах сопоставляемого ряда пород достигает 1:7 и в группе тория 1:4.

Для исключения влияния разницы  $СРР$  на параметры ТВ нами был применен способ приведения  $I_3$  к единице радиоактивного радикала. Порядок этой единицы произвольный и определяется простотой и удобством дальнейших графических построений. Интенсивность ТВ, приведенная к единице радиоактивного радикала ( $I_n$ , или удельная интенсивность), рассчитывалась нами путем деления замеренной интенсивности ( $I_3$ ) на суммарный радиоактивный радикал ( $СРР$ ) и последующего умножения частного на  $10^{-3}$ :

$$I_n = \frac{I_3}{СРР} \cdot 10^{-3}.$$

Таким образом,  $I_n$  характеризует интенсивность ТВ на единицу радиоактивного вещества, содержащегося в породе, в силу чего этот показатель свободен от указанных выше недостатков  $I_3$ .

Строго говоря, при расчете  $I_n$  необходимо  $I_3$  приводить к единице суммы концентраций всех радиоактивных элементов, содержащихся в породе (U, Th, K), за счет распада ядер которых происходит накопление измеряемой светосуммы. Однако влиянием элементов ряда тория и калия при решении поставленных нами задач можно пренебречь. Основанием для такого допущения является сопоставление удельной теплотворности рядов урана, тория и калия. Действительно, если выделение тепла торием ( $Th^{232}$ ) составляет  $0,20 \text{ кал} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$  а калием  $27 \cdot 10^{-6} \text{ кал} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ , то этот же показатель для природного урана достигает  $0,73 \text{ кал} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$  ( $^3, 11$ ).

Следовательно, разница в накопленной светосумме, возникшая в по-

Таблица 1

№ п.п.	Породы. Их геологический возраст	Число анализов	Средние данные для ТВ				Средние содержания РЭ			I <sub>п</sub> , усл. ед.
			I <sub>з</sub> , усл. ед.	T <sub>н</sub> , °C	T <sub>м</sub> , °C	T <sub>к</sub> , °C	U, 10 <sup>-4</sup> , %	Th, 10 <sup>-4</sup> , %	K, %	
1	Гранофиры, фельзит-порфиры региональных даек. P <sub>2</sub> — T <sub>1</sub>	12	1,4 $\left(\frac{0,58}{41,4}\right)$	189 $\left(\frac{13}{6,9}\right)$	243 $\left(\frac{12}{4,9}\right)$	317 $\left(\frac{37}{11,7}\right)$	8,5 $\left(\frac{1,3}{15,3}\right)$	32,8 $\left(\frac{2,6}{7,9}\right)$	2,8 $\left(\frac{0,5}{17,8}\right)$	1,64 $\left(\frac{0,23}{28,0}\right)$
2	Гранит-порфиры музбельского типа. P <sub>2</sub> — T <sub>1</sub>	10	1,8 $\left(\frac{0,90}{50,0}\right)$	201 $\left(\frac{22}{10,9}\right)$	240 $\left(\frac{15}{6,3}\right)$	318 $\left(\frac{22}{6,9}\right)$	7,8 $\left(\frac{0,2}{2,6}\right)$	21,6 $\left(\frac{2,7}{12,5}\right)$	3,9 $\left(\frac{0,4}{10,2}\right)$	2,30 $\left(\frac{0,23}{20,0}\right)$
3	Фельзиты, фельзит-порфиры кызылнуринского типа. P <sub>2</sub>	31	9,9 $\left(\frac{1,70}{17,2}\right)$	165 $\left(\frac{28}{17,0}\right)$	249 $\left(\frac{25}{10,0}\right)$	336 $\left(\frac{20}{6,0}\right)$	24,2 $\left(\frac{4,9}{20,2}\right)$	50,4 $\left(\frac{7,8}{15,4}\right)$	3,2 $\left(\frac{1,1}{34,2}\right)$	4,08 $\left(\frac{0,59}{28,1}\right)$
4	Кварцевые порфиры кызылнуринского типа. P <sub>2</sub>	50	4,6 $\left(\frac{2,00}{43,5}\right)$	151 $\left(\frac{33}{21,8}\right)$	238 $\left(\frac{26}{10,9}\right)$	324 $\left(\frac{34}{10,4}\right)$	7,6 $\left(\frac{1,2}{16}\right)$	25,0 $\left(\frac{2,5}{10,0}\right)$	4,5 $\left(\frac{0,6}{14,2}\right)$	6,04 $\left(\frac{0,9}{29,8}\right)$
5	Кластолавы, игнимбриты фельзитов, фельзиты равашской свиты, Чинаульской толщи. P <sub>1-2</sub>	12	5,2 $\left(\frac{1,10}{21,1}\right)$	174 $\left(\frac{19}{11,0}\right)$	239 $\left(\frac{14}{6,0}\right)$	322 $\left(\frac{27}{8,4}\right)$	7,1 $\left(\frac{1,3}{19,1}\right)$	36,1 $\left(\frac{6,1}{16,9}\right)$	2,7 $\left(\frac{1,1}{40,7}\right)$	7,32 $\left(\frac{0,48}{13,0}\right)$
6	Туфы и игнимбриты кварцевых порфиров равашской свиты, Сарыбулакской толщи. P <sub>1-2</sub>	10	5,2 $\left(\frac{2,10}{40,3}\right)$	172 $\left(\frac{12}{6,9}\right)$	234 $\left(\frac{7}{3,1}\right)$	307 $\left(\frac{11}{3,8}\right)$	16,8 $\left(\frac{3,5}{52,3}\right)$	20,6 $\left(\frac{2,0}{9,9}\right)$	3,8 $\left(\frac{0,2}{4,4}\right)$	7,64 $\left(\frac{1,28}{33,5}\right)$
7	Гранодиорит-порфиры гушайского типа. P <sub>1</sub>	11	3,5 $\left(\frac{0,98}{28,0}\right)$	178 $\left(\frac{16}{9,0}\right)$	236 $\left(\frac{18}{7,5}\right)$	311 $\left(\frac{15}{4,9}\right)$	4,3 $\left(\frac{0,9}{20,9}\right)$	13,4 $\left(\frac{3,3}{25,5}\right)$	2,9 $\left(\frac{0,6}{20,6}\right)$	8,00 $\left(\frac{1,70}{28,2}\right)$
8	Андезит-дациты шурабсайской свиты. P <sub>1</sub>	5	3,4 $\left(\frac{0,30}{9,1}\right)$	175 $\left(\frac{16}{9,1}\right)$	232 $\left(\frac{13}{5,6}\right)$	335 $\left(\frac{22}{6,5}\right)$	3,3 $\left(\frac{0,5}{15,1}\right)$	11,7 $\left(\frac{1,0}{8,5}\right)$	2,9 $\left(\frac{0,5}{17,2}\right)$	10,30 $\left(\frac{0,42}{8,2}\right)$
9	Гранит-порфиры мазарджонского типа. C <sub>3</sub> — P <sub>1</sub>	10	10,3 $\left(\frac{2,60}{25,2}\right)$	148 $\left(\frac{23}{15,5}\right)$	216 $\left(\frac{21}{9,7}\right)$	298 $\left(\frac{15}{5,2}\right)$	9,9 $\left(\frac{2,3}{23,9}\right)$	22,3 $\left(\frac{2,4}{10,7}\right)$	4,0 $\left(\frac{0,1}{3,5}\right)$	10,40 $\left(\frac{1,4}{27,2}\right)$

Примечание. T<sub>н</sub> — температура начала термовысвечивания, T<sub>м</sub> — температура максимальной интенсивности термовысвечивания, T<sub>к</sub> — температура окончания термовысвечивания. В скобках даны: над чертой — среднее квадратичное отклонение  $\sigma$ , под чертой — коэффициент вариации V.



родах за счет различного содержания радиоактивных элементов, в основном (на 80%) связана только с разницей в концентрациях урана и продуктов его распада, и поэтому в большинстве случаев представляется достаточным приведение замеренной интенсивности не к *СРР*, а только к значимому радиоактивному радикалу (*ЗРР*), который в данном случае будет равен концентрации урана:

$$I_{\text{н}} = \frac{I_{\text{а}}}{\text{ЗРР}} = \frac{I_{\text{а}}}{[\text{U}] \cdot 10^{-4}} \cdot 10^{-3}.$$

Справедливость этих рассуждений проверялась вычислением с последующим сопоставлением приведенных интенсивностей ТВ одних и тех же пород, рассчитанных по *СРР* и *ЗРР*. Расчеты показали, что интенсивности, приведенные по *СРР*, имеют, естественно, несколько меньшие значения, чем интенсивности, приведенные по *ЗРР*, однако соотношения этих параметров для одних и тех же пород остаются практически постоянными в обоих случаях. Если же в сравниваемых группах пород наблюдаются значительные колебания содержания тория, разумеется, необходимо пользоваться интенсивностями, приведенными по *СРР*.

По описанной методике проведено сопоставление 9 групп близких по времени формирования верхнепалеозойских пород, слагающих один из районов Средней Азии. Полученные результаты хорошо согласуются с последовательностью их образования, установленной по геологическим соотношениям (см. табл. 1).

Институт геологии рудных месторождений,  
петрографии, минералогии и геохимии  
Академии наук СССР  
Москва

Поступило  
1 XI 1972

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Э. И. Адирович, Некоторые вопросы теории люминесценции кристаллов, 1956.
- <sup>2</sup> В. В. Антонов-Романовский, Кинетика фотолюминесценции кристаллофосфатов, «Наука», 1966.
- <sup>3</sup> Ф. Р. Берг, Дж. Шерер, Г. Спайсер, Справочник для геологов по физическим константам, ИЛ, 1949.
- <sup>4</sup> В. Б. Василенко, Н. В. Ренгартен, Изв. АН СССР, сер. геол., № 11 (1970).
- <sup>5</sup> Г. Ф. Комовский, Природа, № 5 (1961).
- <sup>6</sup> Н. П. Лавров, А. Н. Таращан и др., Геол. рудн. месторожд., № 6 (1961).
- <sup>7</sup> В. В. Левакин, Свечение активированных кристаллов, Проблемы физ. оптики, М., 1951.
- <sup>8</sup> Л. Н. Овчинников, В. Г. Максенов, Термолюминесценция минералов и факторы, влияющие на ее интенсивность, В кн. Магматизм, метаморфизм, металлогения, т. 3, Свердловск, 1963.
- <sup>9</sup> А. Д. Ракчеев, Геол. рудн. месторожд., № 5 (1962).
- <sup>10</sup> В. Н. Тюрин, Тр. Куйбышевск. н.-п. инст. нефт. пром., в. 26 (1964).
- <sup>11</sup> В. Г. Хлопин, Изв. АН СССР, сер. географ. и геофиз., № 2 (1937).
- <sup>12</sup> J. Kaufhold, W. Herr, Thermoluminescence of Geological Materials, London, N. Y., 1968, p. 621.
- <sup>13</sup> I. K. Kaul, P. K. Bhattacharya, S. Tolpadi, *ibid.*, p. 327.
- <sup>14</sup> M. S. Tite, *ibid.*, p. 389.
- <sup>15</sup> P. D. Townsend, *ibid.*, p. 51.