

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 (термolumинесценции) или сравнения площадей, ограниченных кривой термовысвечивания (ТВ) на ленте самописца (⁴⁻⁶, ⁹, ¹⁰). 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).

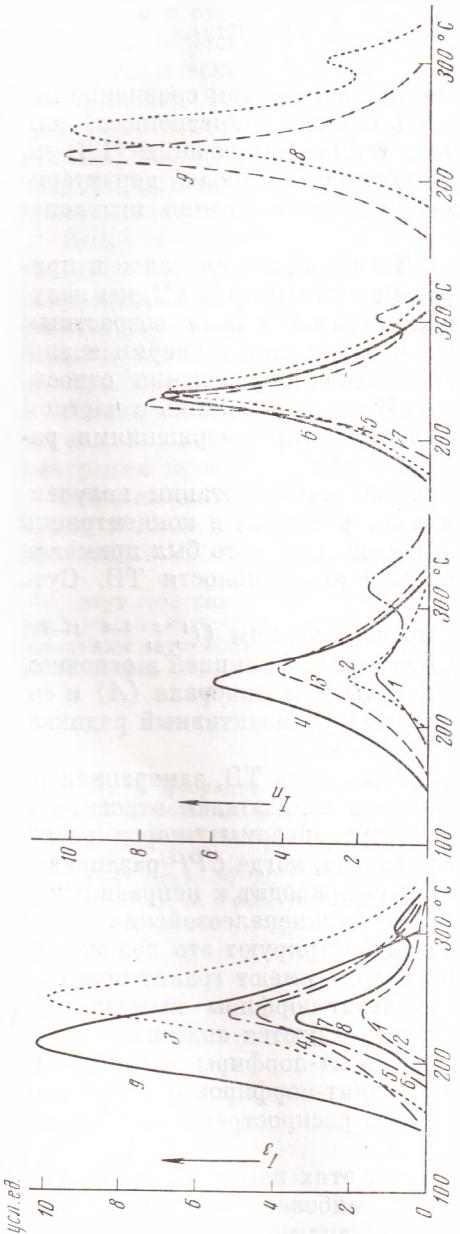
Авторы предприняли попытку найти способ интерпретации полученных данных, позволяющий исключить влияние различий в концентрации РЭ на параметры ТВ сравниваемых групп пород. Для этого был применен метод так называемой приведенной (удельной) интенсивности ТВ. Суть его заключается в следующем.

Согласно современным теоретическим представлениям ((¹, ², ⁶⁻⁸, ¹²⁻¹⁵) и др.), замеренная интенсивность ТВ (I_3) является функцией в основном двух переменных — абсолютного возраста породы или минерала (A) и содержания радиоактивных элементов (суммарный радиоактивный радикал, или CPP), т. е. $I_3 = f(A, CPP)$.

Как видно из данного соотношения, интенсивность ТВ, замеренная на ленте самописца установки (I_3) 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_3 приводят к неправильным выводам. Приведенные на рис. 1 графики ТВ верхнепалеозойских пород одного из районов Средней Азии наглядно иллюстрируют это положение. Максимальную I_3 (из сравниваемых групп пород) имеют гранит-порфиры мазорджонского типа (10,3 усл. ед.) и фельзит-порфиры кызылнуринского типа (9,9 усл. ед.); меньшими I_3 характеризуются андезито-дациты шурабайской свиты (3,4 усл. ед.), гранодиорит-порфиры гунсайского типа (3,5 усл. ед.), а также поздние дайки гранит-порфиров музбельского типа (1,8 усл. ед.) и гранофиры 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 гранофиров, а андезито-дациты и гранодиорит-порфиры — по геологи-

Рис. 4. Графики термовысвечивания 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 CPP на параметры ТВ нами был применен способ приведения I_a 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_a) на суммарный радиоактивный радикал (CPP) и последующего умножения частного на 10^{-3} :

$$I_n = \frac{I_a}{CPP} \cdot 10^{-3}.$$

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_a .

Строго говоря, при расчете I_n необходимо I_a приводить к единице суммы концентраций всех радиоактивных элементов, содержащихся в породе (U , Th , K), за счет распада ядер которых происходит накопление замеряемой 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			$I_{\text{п.}}$, усл. ед.
			$I_{\text{з.}}$, усл. ед.	$T_{\text{Н.}}$, $^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{М.}}$, $^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{К.}}$, $^{\circ}\text{C}$	U, 10^{-4} , %	Th, 10^{-4} , %	K, %	
1	Гранофиры, фельзит-порфиры региональных даек. $P_2 - T_1$	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 музельского типа. $P_2 - T_1$	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_2	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_2	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_{1-2}	12	$5,2 \left(\frac{1,10}{21,4} \right)$	$174 \left(\frac{19}{11,0} \right)$	$239 \left(\frac{14}{6,0} \right)$	$322 \left(\frac{27}{8,4} \right)$	$7,1 \left(\frac{1,3}{19,1} \right)$	$36,1 \left(\frac{6,1}{16,9} \right)$	$2,7 \left(\frac{1,1}{40,7} \right)$	$7,32 \left(\frac{0,48}{13,0} \right)$
6	Туфы и игнимбриты кварцевых порфиров равашской свиты, Сарыбулакской толщи. P_{1-2}	10	$5,2 \left(\frac{2,10}{40,3} \right)$	$172 \left(\frac{12}{6,9} \right)$	$234 \left(\frac{7}{3,4} \right)$	$307 \left(\frac{11}{3,8} \right)$	$16,8 \left(\frac{3,5}{52,3} \right)$	$20,6 \left(\frac{2,0}{9,9} \right)$	$3,8 \left(\frac{0,2}{4,4} \right)$	$7,64 \left(\frac{1,28}{33,5} \right)$
7	Гранодиорит-порфиры гушайского типа. P_1	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	Андезито-дациты шурабсайской свиты. P_1	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 мазардиконского типа. $C_3 - P_1$	10	$10,3 \left(\frac{2,60}{25,2} \right)$	$148 \left(\frac{23}{15,5} \right)$	$216 \left(\frac{21}{9,7} \right)$	$298 \left(\frac{15}{5,2} \right)$	$9,9 \left(\frac{2,3}{23,9} \right)$	$22,3 \left(\frac{2,4}{10,7} \right)$	$4,0 \left(\frac{0,1}{3,5} \right)$	$10,40 \left(\frac{1,4}{27,2} \right)$

П р и м е ч а н и е. $T_{\text{Н.}}$ — температура начала термовысвечивания, $T_{\text{М.}}$ — температура максимальной интенсивности термовысвечивания, $T_{\text{К.}}$ — температура окончания термовысвечивания. В скобках даны: над чертой — среднее квадратичное отклонение σ , 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 *CPP*, а только к значимому радиоактивному радикалу (*3PP*), который в данном случае будет равен концентрации урана:

$$I_u = \frac{I_3}{3PP} = \frac{I_3}{[U] \cdot 10^{-4}} \cdot 10^{-3}.$$

Справедливость этих рассуждений проверялась вычислением с последующим сопоставлением приведенных интенсивностей ТВ одних и тех же пород, рассчитанных по *CPP* и *3PP*. Расчеты показали, что интенсивности, приведенные по *CPP*, имеют, естественно, несколько меньшие значения, чем интенсивности, приведенные по *3PP*, 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 содержаний тория, разумеется, необходимо пользоваться интенсивностями, приведенными по *CPP*.

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

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