

УДК 550.362

## РАДИОАКТИВНОСТЬ И РАДИОТЕПЛОГЕНЕРАЦИЯ В ДОКЕМБРИЙСКИХ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОДАХ (НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОГО ПАМИРА)

© 2003 г. А. С. Батырмурзаев, Г. И. Алибеков, А. А. Бекиева

Представлено академиком М.Ч. Залихановым 06.03.2002 г.

Поступило 22.03.2002 г.

Вопрос об источниках тепла, определяющих глубинный тепловой режим Земли, является одним из актуальных в геофизике. Поскольку энергетический эффект таких процессов, как приливное трение в твердых слоях Земного вещества, изменение потенциальной энергии, аккреция и энергия гравитационной дифференциации вещества примерно одинаковы [1–3], а основным источником глубинного тепла в настоящее время считают распад в поверхностных слоях Земли долгоживущих радиоактивных элементов (РАЭ), значительный интерес представляет оценка доли радиотеплогенерации (РТГ) по концентрациям РАЭ в докембрийских магматических породах Южного Памира. В настоящей работе проведена эта оценка: доля оказалась в пределах 5–10% от измеренных геотермических потоков.

На территории Памира по ряду геологических признаков выделяется палеозойская складчатая система Северного Памира, мезо-кайнозойская складчатая система Южного Памира, архейская структура Юго-Западного Памира. Наиболее сложным по строению и особенностям геологического развития является Южный Памир.

Геотермическую изученность Азии нельзя считать удовлетворительной, несмотря на большое количество определений, так как основная часть данных характеризует области и системы кайнозойской складчатости.

Территория Памира особенно интересна для геотермических исследований, поскольку здесь наблюдаются весьма заметные изменения термических параметров, которые зависят от геологической структуры и истории магматических образований всего региона в целом. В связи с тем, что на древних геологических структурах наблюдается выровненный современный тепловой режим, эти регионы малоинформативны для изучения

геологического строения и развития регионов в докембрии и палеозое. Области нестационарного теплового режима значительно более информативны в этом отношении.

Изучение минерального и химического состава и сопоставление данных по содержанию радиоактивных элементов в породах Центрального и Юго-Восточного Памира и ксенолитах из трубок указывает на большую глубинность очагов магмообразования в пределах Центрального Памира. Этим обусловлена большая мощность магматических образований в исследованных регионах. По оценкам Х.С. Таджидинова [4], общая видимая мощность магматических пород составляет 5.5–6.0 км. Огромный фактический материал геохимических исследований свидетельствует о весьма неравномерном распределении радиоактивных элементов в различных геологических комплексах Памира.

Концентрация РАЭ меняется от величин ниже чувствительности метода ( $n \cdot 10^{-5}$ ) до содержания выше (в 20 и более раз) кларков этих пород (табл. 1) [5]. Наиболее высокой радиоактивностью характеризуются пироксениты Патыкутекского и габбро Чечектинского комплексов, а габбро Кокбулакского и Абдуллаханского комплексов и базальты замаифской серии отличаются весьма низким содержанием РАЭ, генерация тепла в них составляет 0.28–0.33 мкВт/м<sup>3</sup>. Докембрийские блоки с пониженной радиоактивностью можно приурочить к глубоко эродированным структурам, где пониженная радиоактивность этих блоков является вторичной, связанной с метаморфогенной миграцией вещества. Влияние щелочности особенно не сказывается на содержании радиоактивных изотопов, видимо потому, что магматические породы докембрия вообще отличаются высокой суммарной щелочностью и высоким содержанием калия по отношению к среднемировым типам [6]. В настоящее время очень трудно заполнить обоснованный отбор наиболее достоверных данных для составления расчетных полиномов.

Институт проблем геотермии  
Дагестанского научного центра  
Российской Академии наук, Махачкала

**Таблица 1.** Среднее содержание урана, тория (в г/т), Si, K, Na (в %) в докембрийских породах Южного Памира по регионам [6]

Возраст	Регион	U	Th	Th/U	Si	K	Na	Na + K
PR <sub>1</sub>	Центральный Памир	$\frac{1.3(53)}{0.3-5}$	$\frac{15.0(52)}{5-37}$	10.9	21.8(92)	1.5(92)	2.8(92)	4.3
PR <sub>1</sub>	Юго-Восточный Памир	$\frac{0.4(24)}{0.3-0.7}$	$\frac{2.5(23)}{2-6}$	6.6	21.9(52)	0.89(52)	2.2(52)	3
PR <sub>2</sub> (?) (рифей)	Центральный Памир	$\frac{0.5(9)}{0.3-1.8}$	$\frac{8.0(9)}{5-17}$	16.2	18.7(14)	3.3(144)	1.5(14)	4.8
PR <sub>1-2</sub>	Южный Памир	$\frac{1.0(86)}{0.3-5}$	$\frac{11.0(84)}{2-37}$	10.8	21.8(144)	1.3(144)	2.6(144)	3.9
Ксенолиты глубинные		$\frac{1.2(14)}{0.5-1.3}$	$\frac{9.0(11)}{2-18}$	7.5	23.4	1.9	1.3	3.2

Примечание. Над чертой – содержание, в скобках – число определений, под чертой – интервал изменения величины.

**Таблица 2.** Среднее содержание РАЭ в изученных комплексах [4, 5], величины радиотеплогенерации

Комплекс, свита, серия	Состав пород	U, ppm	Th, ppm	K, %	A, мкВт/м <sup>3</sup>
Патыкутекский комплекс	пироксениты, диабазы	1.30	14.2	1.1	1.417
Сарыджилская свита	нориты, габбро, плагиоклазы	1.65	17.1	1.2	1.717
Чечектинский комплекс	базальты, андезиты, дациты	0.86	11.6	1.4	1.153
Отаваутинская серия	базальты	0.54	2.6	1.9	0.496
Кокбулакский комплекс	пироксениты, габбро	0.33	2.3	0.43	0.284
Рамаифская свита	базальты	0.3	2.6	0.8	0.332
Абдуллаханский комплекс	габбро	0.3	2	1	0.309
Бучедаринская свита	пикрит-базальты	0.3	6.3	4	0.887
Субашийский комплекс	слюдяные пикриты	0.8	10.7	2.7	1.197

Анализ тепловых полей разломно-магматических зон и достоверная оценка хотя бы усредненных величин теплогенерации поможет восстановить историю их образования. Одновременно проблема распределения источников тепла в глубинных слоях Земли – одна из основных в современной геотермии, теплогенерация в породах сопоставима с тепловым потоком Земли.

Согласно [7, 8], величина теплового потока на исследованных территориях от региона к региону меняется в пределах  $(0.8-1.4) \cdot 10^{-6}$  кал/см<sup>2</sup> с или  $(50-70)$  мВт/м<sup>2</sup>. Линейная зависимость между величиной теплового потока и тепловыделением вытекает из решения стационарного уравнения теплопроводности, которое описывает распределение температур в слоистой земной коре [8]. Расчет доли радиогенного тепла проведен по количеству радиоактивных изотопов в породах и соотношению Л. Райбаха и др. [9]. Величину генерируемого породами тепла в предположении экспоненциального

убывания радиоактивных изотопов с глубиной залегания пород можно записать в виде

$$A = A_0 \exp(-zD), \quad (1)$$

где  $D$  – постоянные для данного региона.

На экспоненциальную функцию при подборе  $D$  (скорости убывания) накладывалось условие единственности для всего региона и уменьшения величины тепловыделения до  $0.14$  мкВт/м<sup>3</sup> на глубине  $10$  км. Это связано с тем, что величина теплового потока в пределах древних стабильных участков определяется в основном содержанием РАЭ в самом верхнем слое земной коры, мощность которой не превышает  $10-15$  км [8]. Принимая  $A_0$  равным значению  $A$  на поверхности, а  $D = 3.47 \cdot 10^{-4}$  м<sup>-1</sup>, получим для  $A_0 = 1.7$  мкВт/м<sup>3</sup>,  $Q = 4.747$  мВт/м<sup>2</sup>, а для  $A_0 = 1.4$  мкВт/м<sup>3</sup>,  $Q = 3.9$  мВт/м<sup>2</sup>.

Учитывая большую толщину вулканогенных пород, можно предположить небольшой рост

этой величины, что и дает основание оценивать теплогенерацию в пределах 5–10% от значений величин измеренных геотермических потоков, что косвенно подтверждает теоретические модели термического развития Земли.

Авторы искреннее благодарны директору ИПГ ДНЦ РАН, проф. К. Магомедову за повседневный интерес к работе и ценные замечания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Любимова Е.А. Термика Земли и Луны. М.: Наука, 1968. 280 с.
2. Поляк Б.Г., Кропоткин П.Н., Макаренко Ф.А. // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1972. Т. 46. С. 7–26.
3. Кропоткин П.Н., Поляк Б.Г. В кн.: Земная кора сейсмоопасных зон. М.: Наука, 1973. С. 3–21.
4. Таджидинов Х.С. В сб.: Минералогия Таджикистана. Душанбе: Дониш, 1986. В. 7. С. 178–190.
5. Справочник физических констант горных пород / Под ред. С. Кларка. М.: Мир, 1969. 543 с.
6. Таджидинов Х.С. Сб.: Минералогия Таджикистана. Душанбе: Дониш, 1982. В. 6. С. 133–141.
7. Смирнов Я.Б. Тепловое поле территории СССР. Пояснительная записка. М.: ГУГК, 1980. 150 с.
8. Кутас Р.И. Поле тепловых потоков и термическая история земной коры. К. Наук. думка, 1978. 148 с.
9. Rybach L., Bunterbach G. // Earth and Planet. Sci. Lett. 1982. V. 57. P. 367–376.