

УДК 550.36 : 550.836

ГЕОЛОГИЯ

А. Д. ДУЧКОВ, Ф. П. КРЕНДЕЛЕВ, Ю. М. ПУЗАНКОВ, В. А. БОБРОВ

РОЛЬ РАДИОГЕННОГО ТЕПЛА В ОБЩЕМ ТЕПЛОВОМ ПОТОКЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ КАМЧАТКИ

(Представлено академиком А. Л. Яншиным 18 X 1971)

Территория Камчатки представляет собой объект с парадоксальными геотермическими характеристиками. Для нее характерна насыщенность термальными проявлениями (действующие вулканы, горячие источники, фумаролы) при относительно низком уровне регионального теплового потока (q). Непосредственные измерения q выполнены на некоторых площадях Восточной Камчатки. В пределах Кроноцкого полуострова ⁽¹⁾, Корякско-Авачинской депрессии и Паратунского термального района ⁽²⁾ q равен соответственно 0,8—1,4; 1,60 и 1,45 мкал/см² · сек. Эти величины существенно ниже, чем среднее значение потока (2,20 мкал/см² · сек для других областей кайнозойского вулканизма ⁽³⁾).

Суммарный тепловой поток q в приповерхностных частях земной коры складывается в основном из потока, идущего от верхней мантии q_0 , и тепла Δq , генерируемого при распаде естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) в породах коры ($q = q_0 + \Delta q$). Измерение доли потока, идущей от мантии, пока невозможно; Δq может быть оценено с достаточной степенью достоверности, если известна мощность земной коры и среднее содержание U, Th, K в породах региона.

В данной статье предпринята попытка выяснить роль Δq в тепловом потоке Камчатки. Содержание ЕРЭ определялось в пробах, отобранных с поверхности в районах Центральной и Восточной Камчатки. Пробы (348) освещают почти все наиболее распространенные типы магматических, метаморфических и осадочных пород. Каждая проба представляла собой штуф весом 0,5—2,0 кг. Пробы отбирались только из невыветрелых разностей пород. Анализ содержаний ЕРЭ производился методами γ -спектрометрии на установках с улучшенными характеристиками ⁽⁴⁾.

Средние содержания ЕРЭ по главным типам пород Камчатки (табл. 1) существенно ниже, чем кларковые количества для сходных разновидностей пород по А. П. Виноградову ⁽⁵⁾.

Количество радиогенного тепла Δq , образующегося в толще пород коры с равномерно распределенными ЕРЭ, может быть вычислено по формуле

$$\Delta q = \sum_i A_i \sigma_i h_i = \sum_i (a U_i + b Th_i + c K_i) \sigma_i h_i, \quad (1)$$

где a, b, c — удельные (в пересчете на 1 г) тепловыделения при распаде соответственно U, Th, K (г/г); по Бёрчу ⁽⁶⁾ $a = 2,32 \cdot 10^{-8}$; $b = 0,63 \cdot 10^{-8}$; $c = 8,56 \cdot 10^{-13}$ кал/г · сек; i — порядковый номер слоя; A_i — удельная интенсивность тепловыделения в слое мощностью h_i (кал/г · сек); σ_i — плотность пород (г/см³).

Рассчитанная величина удельной интенсивности тепловыделения A (табл. 1, рис. 1) мала для большинства исследованных пород Камчатки. Даже для гранитов средняя интенсивность тепловыделения ($\bar{A} = 14,1 \cdot 10^{-14}$ кал/г · сек) значительно ниже, чем, например, для средних гранитов ⁽⁵⁾, у которых $\bar{A} = 22,2 \cdot 10^{-14}$ кал/г · сек.

На рис. 1 приведена гистограмма расчетных интенсивностей генерации радиогенного тепла для разных типов пород Камчатки (a) в сравнении с подобной гистограммой для Алтае-Саянской области (b). При построении не учитывались данные по четвертичным лавам, так как их мощность

мала, а содержания ЕРЭ в них лежат ниже пределов чувствительности γ -спектрометрической установки. Для Алтае-Саянской области использованы результаты определений ЕРЭ примерно в 5500 пробах магматических и метаморфических пород докембрийского нижне- и среднепалеозойского возраста (⁷).

Статистическая оценка распределений A (рис. 1) показывает положительную асимметрию, причем для Камчатки мода распределения сдвинута в сторону меньших значений, и оно имеет меньшую дисперсию. Около

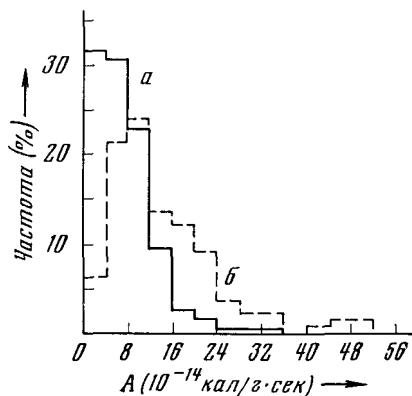


Рис. 1. Распределение расчетных интенсивностей генерации радиогенного тепла Δq в поверхностных породах. *a* — Центральная и Восточная Камчатка ($\bar{A} = 7,1$, стандартное отклонение 5,3, медиана $6 \cdot 10^{-14}$ кал/г·сек); *б* — центральные районы Алтае-Саянской обл. ($\bar{A} = 13,0$, стандартное отклонение 7,6, медиана $12 \cdot 10^{-14}$ кал/г·сек)

90% определений интенсивности тепловыделения для пород Камчатки лежит между 0,0 и $12,0 \cdot 10^{-14}$ кал/г·сек при $\bar{A} = 7,1 \cdot 10^{-14}$ кал/г·сек. Для Алтае-Саянской области интервал изменения и среднее значение интенсивности генерации радиогенного тепла существенно выше: $\bar{A} = 13,0 \cdot 10^{-14}$ кал/г·сек.

Таким образом, в поверхностных породах Камчатки выделяется почти в два раза меньшее количество тепла, чем в породах внутриконтинентального региона с развитой земной корой, каким, например, является Алтае-Саянская область.

Полученное среднее значение интенсивности тепловыделения можно использовать для оценки доли q , образующейся в земной коре Камчатки. Для простоты предполагается, что это среднее распространяется на всю толщу коры. Очевидно, полученная оценка Δq будет максимальной, так как общепринято полагать, что количество ЕРЭ, а соответственно и интенсивность генерации радиогенного тепла в породах земной коры с глубиной убывают.

Земная кора Камчатки (^{8, 9}) в ее восточной части имеет среднюю мощность порядка 28 км, из которых верхние 10 км относятся к «осадочному» слою ($\sigma = 2,3$ г/см³), а нижние 18 км — к «базальтовому» ($\sigma = 2,7$ г/см³).

Рассчитанная по (¹) с учетом всего сказанного величина Δq будет $0,5$ кал/см²·сек; в действительности же коровый поток будет, очевидно, еще меньше.

В районах с большей мощностью земной коры и более высокими содержаниями ЕРЭ радиогенный тепловой поток обычно существенно выше. Так, в Алтае-Саянской области с учетом вышеприведенной величины $\bar{A}$ (рис. 16) он составляет $\Delta q = 0,85$ при среднем суммарном $q = 1,10$ мкал/см²·сек (¹⁰). Для складчатых Карпат коровый поток оценивается (¹¹) $\Delta q = 1,1—1,2$ при $q = 1,75$ мкал/см²·сек.

Нам представляется, что именно низкая интенсивность генерации радиогенного тепла в породах земной коры Камчатки является причиной сравнительно невысокого регионального теплового потока на исследованной площади.

Подкоровый тепловой поток в изученных районах Восточной Камчатки больше корового и обнаруживает заметные вариации: $q_0 = 0,5—1,1$ мкал/см²·сек (в пределах докембрийских щитов $q_0 = 0,1—0,2$ мкал/см²·сек).

Возраст пород	Типы формации, типы пород	Число проб	Уран, г/т	Торий, г/т	Калий, %	A, 10 ⁻¹⁴ кал/г·сек
Q	Андезито-базальты, андезиты, андезито-дациты, дациты Карымского вулкана	22	0,40	0,50	1,00	2,10
	Базальты, андезиты, андезито-дациты, дациты вулкана Безымянной и Семьячинской группы	12	1,24	1,23	1,15	4,70
N	Габбро-диорит-гранитовая формация (гипоабиссальные интрузии и дайки диоритов, гранодиоритов, гранодиорит-порфиров и сyenит-порфиров в блоках метаморфических пород)	22	170±0,35 (0,78)	4,70±0,99 (2,22)	2,15±0,52 (1,17)	8,70
	Орогенные вулканиды, базальт-андезит-липаритовая группа формаций	52	1,48±0,31 (1,12)	1,97±0,54 (1,47)	1,66±0,24 (0,87)	6,00
?	Песчаники и алевропелиты орогенных прогибов Восточной Камчатки	20	2,45±0,71 (1,60)	0,40±0,14 (0,34)	0,83±0,12 (0,26)	6,66
Cт ₂	Многофазные интрузии габбро-плагитогранитовой формации (преимущественно в блоках полиметаморфических пород)	36	1,57±0,44 (1,34)	3,34±0,78 (2,40)	1,88±0,46 (1,40)	7,30
	Геосинклинальные базальтоиды и их туфы	43	0,33±0,08 (0,28)	1,27±0,30 (1,00)	2,17±0,33 (1,11)	3,40
	Сланцы, песчаники аспидной формации	9	1,92±0,49 (0,62)	5,31±1,35 (1,72)	1,61±0,47 (0,60)	9,30
	Формация гранитных батолитов	25	3,06±0,68 (1,65)	7,26±2,35 (5,67)	2,76±0,51 (1,24)	14,10
Mz Pz — Mz	Метаморфизованные вулканогенные и интрузивные породы основного состава	9	0,645±0,18 (0,23)	1,39±0,82 (1,26)	0,78±0,39 (0,60)	2,60
	Филлитизированные песчаники и сланцы, филлиты, кристаллические сланцы	21	2,18±0,23 (0,55)	5,53±0,64 (1,40)	2,03±0,20 (0,47)	10,30
A — Pt (?)	Плаггиогнейсы, мигматиты, диафторированные гранулиты, амфиболовые гнейсы	43	1,67±0,25 (0,88)	5,33±0,78 (2,62)	1,83±0,28 (0,93)	8,90

Примечание. Данные для четвертичных пород приведены в (12-14). В скобках — значение S.

· сек). Следовательно, поток, идущий от мантии, составляет здесь главный вклад в суммарный. Малая интенсивность генерации радиогенного тепла в породах земной коры, а также незначительная мощность коры на Камчатке создают благоприятные условия для исследований q_0 из мантии в этом регионе, так как низкий тепловой фон коры Δq не маскирует при наложении распределения подкорового потока.

Причины вариаций подкорового q_0 Восточной Камчатки пока неясны. Отметим только, что наиболее высокие подкоровые потоки тепла (до $q_0 = 1,0-1,1$ $\mu\text{кал}/\text{см}^2 \cdot \text{сек}$ при $q_0 : q = 70\%$) наблюдались в непосредственной близости к действующим вулканам в окрестностях г. Петропавловска-на-Камчатке. Для сравнения можно указать, что Закарпатский кайнозойский межгорный прогиб, который рассматривается как область с аномальным тепловым режимом земной коры, характеризуется близким по величине подкоровым потоком $q_0 = 1,5$ $\mu\text{кал}/\text{см}^2 \cdot \text{сек}$ при $q_0 : q = 65-75\%$ ⁽¹¹⁾.

Таким образом, по величине теплового потока из верхней мантии некоторые районы Камчатки могут быть отнесены к районам с аномальным тепловым режимом. Высокий подкоровый тепловой поток (q_0) соответствует общей геолого-геофизической ситуации в регионе.

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
9 X 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ У. И. Моисеенко, Л. С. Соколова, Геология и геофизика, № 6 (1967).
- ² Е. А. Любимова, Термика Земли и Луны, «Наука», 1967. ³ Тепловой режим недр СССР, Тр. Геол. инст. АН СССР, в. 218 (1970). ⁴ В. А. Бобров, А. М. Гофман, Лабораторный гамма-спектрометрический метод определения естественных радиоактивных элементов (методические разработки), Новосибирск, 1971. ⁵ А. П. Виноградов, Геохимия, № 7 (1962). ⁶ Справочник физических констант, Ред. С. Кларк, М., 1969. ⁷ И. И. Абрамович, Тр. Всесоюз. н.-и. геол. инст., 142 (1968). ⁸ Ю. А. Павлов, А. И. Юнов, ДАН, 191, № 1 (1970). ⁹ И. К. Туезов, Тр. Сахалинск. компл. н.-и. инст. СО АН СССР, в. 20, Южно-Сахалинск (1969).
- ¹⁰ У. И. Моисеенко, А. Д. Лучков, Л. С. Соколова, В сборн. Земная кора складчатых областей юга Сибири, в. 2, ч. 2, Новосибирск, 1971. ¹¹ Р. И. Кутас, В. В. Гордиенко, Геофиз. сборн., в. 35, 1970. ¹² Н. Н. Шаврова, Бюлл. вулканологич. станции, № 27 (1957). ¹³ Л. Л. Леонова, Н. И. Удальцова, Геохимия, № 11 (1970). ¹⁴ Н. Н. Шаврова, Бюлл. вулканологич. станции, № 31 (1961).