

УДК 551.21; 550.36(479.25)

ГЕОФИЗИКА

М. С. Бадалян, К. С. Вартанян, А. М. Хуршудян, Н. М. Якоби

**Приповерхностные источники тепла в неовулканической
 области Армении**

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. А. Габриеляном 29/VIII 1988)

На основе анализа аномального магнитного поля ранее был сделан вывод ⁽¹⁾ с существованием в области новейшего вулканизма Армении в верхних слоях земной коры крупных магнитоактивных тел, которые интерпретировались как периферические магматические очаги среднего-основного состава. В дальнейшем появление более детальных и высокоточных аэромагнитных данных позволило определить размеры и глубину залегания выявленных тел, оценить интенсивность их намагничивания ⁽²⁾. Затем, исходя из геометрических параметров отмеченных тел и учитывая молодой возраст вулканизма, был сделан вывод о том, что предполагаемые магматические очаги в настоящее время сохраняют еще аномально высокие температуры и в силу этого должны создавать заметные локальные аномалии теплового потока. При этом современная температура этих тел по магнитометрическим данным оценивалась в интервале 200 - 400°С ⁽³⁾.

В настоящей работе была поставлена цель на основе геотермических построений и количественных оценок доказать правомерность вышеизложенных выводов о наличии в данной области приповерхностных источников тепла и предложить подход для изучения современных температурных условий этих источников.

С самого начала следует отметить, что существование в исследуемой области внутрикоровых горячих объектов не отрицалось также результатами чисто геотермических исследований ⁽⁴⁾. Однако, с одной стороны, отсутствие конкретной модели этих объектов, с другой стороны, допущения о стационарности теплового поля, сделанные при построении геотермических моделей ⁽⁵⁾, по сути дела, исключали возможность получения количественных оценок эффекта таких источников.

Первая попытка интерпретации аномального теплового потока территории Армянской ССР с использованием идей о нестационарности теплового поля сделана в работе ⁽⁶⁾, в которой, в соответствии с представлениями полиморфно-адвекционной гипотезы ⁽⁶⁾, теоретически рассчитана пространственная аномалия теплового потока, связанная с эффектом источников (постепенно всплывающих астенолитов) альпийского геосинклинального этапа развития Малого Кавказа и мionoцен-четвертичной магматической активизации в целом. Так

как геотермические аномалии вытянуты по простиранию крупных геотектонических зон (⁷). Была рассмотрена двумерная задача по профилю, пересекающему эти зоны под прямым углом. С помощью варьирования размерами и глубиной источников тепла фактически была достигнута максимальная сходимость формы теоретической и наблюдаемой аномалий теплового потока (с учетом, разумеется, фонового потока из коры и мантии), возможная без отдельных вторжений источников на малые глубины (⁵). На рис. 1 результаты этих расчетов (тео-

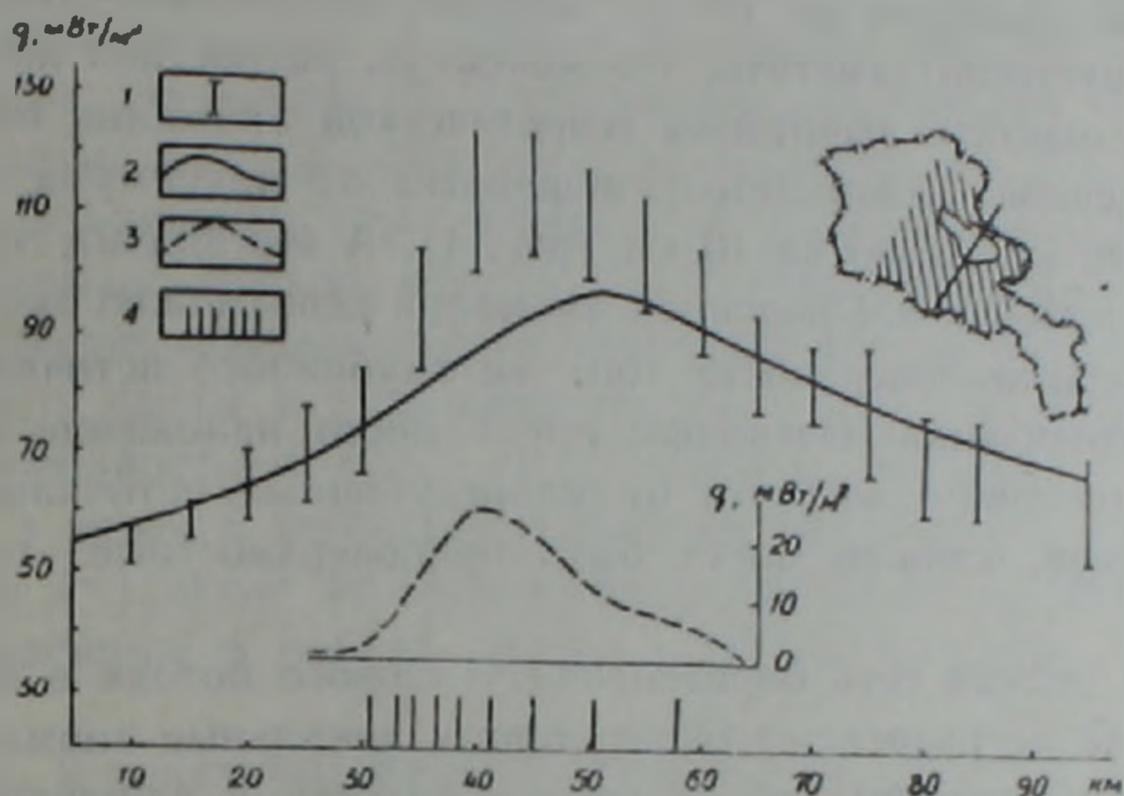


Рис. 1. Обобщенный геотермический профиль по центральной части территории Армянской ССР. На схеме показаны положение профиля и полоса (заштрихованная часть), для которой составлен профиль. 1—доверительные интервалы осредненных значений теплового потока; 2—теоретически рассчитанная аномалия потока (⁵); 3—остаточная аномалия потока, полученная в результате вычитания теоретической аномалии от наблюдаемой осредненной; 4—положение магнитоактивных тел на обобщенном профиле

ретическая аномалия) сопоставлены с фактическими значениями теплового потока в пределах полосы, охватывающей Гегамское и Вайк-Вардениское вулканические нагорья, где наблюдаются наиболее интенсивные геотермические аномалии. С целью подавления искажений глубинного теплового потока, связанных с приповерхностными факторами, все значения теплового потока, измеренные в данной полосе (всего их 38), перенесены параллельно оси аномалии на прямую линию, совпадающую с профилем теоретических расчетов, и осреднены методом скользящего окна. Осреднение выполнялось путем подсчета среднеарифметических значений потока в 20-километровых интервалах профиля, в каждый из которых попадало, в большинстве случаев 7—13 значений. Каждый последующий интервал на 3/4 перекрывал предыдущий. На рис. 1 указаны доверительные интервалы осредненных значений потока с доверительной вероятностью 80%.

Аналогичным образом (параллельно оси геотермической аномалии) на профиль перенесены также все тела, выявленные по магнит-

ным данным, независимо от их размеров. На рис. 1 условно показано лишь положение на профиле вертикальных осей этих тел.

Как видно из рис. 1, теоретическая аномалия удовлетворительно вписывается в доверительные интервалы осредненных значений потока лишь на флангах профиля, а в центральной его части—как раз на участке распространения магнитоактивных тел—наблюдаются значительные расхождения между ними: на протяжении 15—20 км профиля средние значения наблюдаемого потока на 10—25 мВт/м² (а отдельные наблюдаемые значения на 10—17 мВт/м²) превышают теоретические. При этом интересно заметить, что максимум разностной кривой, полученной в результате вычитания теоретической аномалии от осредненной наблюдаемой, оказывается смещенным от максимума теоретической аномалии примерно на 10 км (рис. 1). А это значит, что совпадения теоретической и наблюдаемой аномалий невозможно достичь путем поднятия верхней поверхности того же глубинного источника магматической активизации. Очевидно, имеет место наложение на глубинный поток теплового эффекта от малоглубинных источников локального характера, какими могут быть приповерхностные остывающие тела.

Правда, редкая сеть определений теплового потока в вулканической зоне пока не разрешает оконтуривать локальные аномалии и, тем более, уверенно говорить об их приуроченности к конкретным телам. Действительная картина такова, что не все пункты с аномально высокими значениями потока совпадают с выделенными по магнитным данным телами, и не исключено, что часть этих локальных аномалий в самом деле, как это утверждалось в работе (5), связана с перегревом приповерхностного слоя земной коры гидротермами. Однако, исходя из четкой пространственной корреляции, наблюдаемой по обобщенному профилю между остаточной аномалией потока и распределением магнитоактивных тел (рис. 1), надо полагать, что основной причиной аномально повышенных значений потока все же является горячее состояние указанных тел.

Правомерность этого предположения попробуем проверить еще одним способом—путем оценки величины аномального теплового потока, обусловленного остыванием магнитоактивных тел при их известных параметрах и сопоставления полученных результатов с фактически наблюдаемыми в отдельных точках аномалиями.

По данным магнитометрических исследований в данной области выделяются 9 тел магматического происхождения, глубина залегания верхней поверхности которых составляет 2—3 км, а площадь горизонтального сечения меняется от 15—25 до 95—110 км². Вертикальная мощность тел в среднем составляет 7—8 км.

Интенсивность локальных аномалий теплового потока, наблюдаемых в отдельных 7—8 точках и предположительно связываемых с этими телами, как видно из вышеизложенного, составляет от 10 до 70 мВт/м².

Рассмотрим такую задачу: каким должен быть возраст образования магматических тел с данными геометрическими параметрами, для

того чтобы аномальный тепловой поток, обусловленный ими, составлял указанную величину? Для решения этой задачи тела моделировались интрузиями призмобразной формы, мгновенно внедренными из верхней мантии в земную кору до глубины 2 км. Считалось, что к моменту внедрения тел ($\tau=0$) среда уже была разогрета источниками предыдущих этапов активизации и распределение температуры в земной коре соответствовало геотерме, рассчитанной с учетом этих источников (5), а именно: $T=70\div 80^\circ\text{C}$ на глубине 2 км и $T\approx 1000^\circ\text{C}$ на глубине подошвы коры. Считалось также, что магма поступает из самых верхних горизонтов мантии и по пути к поверхности остывает незначительно. Начальная ее температура принималась 1000°C . Для расчетов призма была разбита на слои мощностью 2 км, каждому из которых приписывалась своя аномальная температура $T=T_{\text{магмы}}-T_{\text{среды}}$. Скрытая теплота кристаллизации не учитывалась, считалось, что она примерно компенсируется коллективными потерями тепла. Теплопроводность среды и тела принималась равной $2,5 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$, а температуропроводность— $6\cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$. Расчеты аномального теплового потока (q), а затем и аномальных температур (см. ниже) для различных времен (τ) после вторжения выполнялись по формулам (34) и (35), приведенным в работе (6) (с. 136) для решения аналогичной задачи.

На рис. 2 показаны графики зависимости $q=f(\tau)$, вычисленные над центром призмы при сечениях 5×5 и $10\times 10 \text{ км}^2$, близких к минимальным и максимальным сечениям моделируемых тел. Как видно из

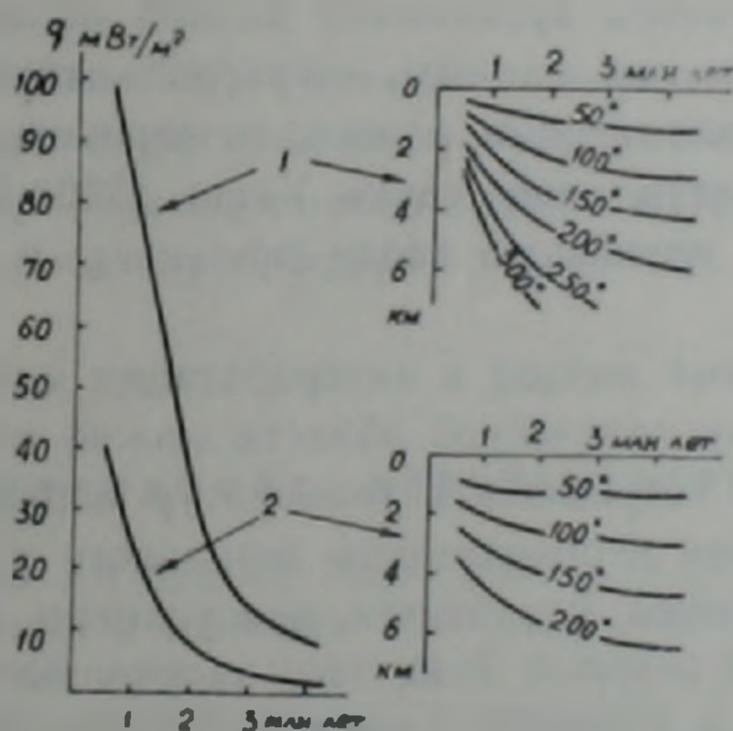


Рис. 2. Аномальные тепловые потоки (слева) и температурные разрезы над центром магматического тела (справа) в зависимости от его возраста. 1—при горизонтальном сечении тела $10\times 10 \text{ км}^2$; 2—при сечении тела $5\times 5 \text{ км}^2$. Остальные объяснения в тексте

рисунка, с принятыми размерами и глубиной (2 км) интрузий наблюдаемые аномальные тепловые потоки (порядка десятков мВт/м^2) можно согласовать только при времени $\tau=0,5\div 1,5$ млн. лет после мгновенного внедрения.

Следует подчеркнуть, что при данной расчетной модели в формировании аномальных тепловых потоков участвует не весь перегретый объект (слишком мало времени прошло от вторжения), а лишь самая верхняя его часть. Расчеты по отдельным слоям показывают, что даже при $\tau = 4 \div 6$ млн. лет заметные эффекты (более чем $0,5 \text{ мВт/м}^2$) фиксируются только от слоев интрузии, находящихся выше 20–25 км. Нижележащие слои вообще не влияют на величину теплового потока. А при возрасте вторжения $\tau = 0,5 \div 1,5$ млн. лет аномалия создается практически только слоями, находящимися выше глубины 10 км, и, следовательно, принятая расчетная модель фактически равносильна модели изолированной интрузии с мощностью не более 8 км.

Для распространения же полученных оценок на «периферический магматический очаг» (служивший в течение определенного времени промежуточной камерой на пути подъема магмы из первичного очага к поверхности) следует учесть, что момент вторжения магмы в модели «мгновенно внедренной интрузии» соответствует моменту прекращения подачи магмы из первичного очага в модели «периферического магматического очага».

Таким образом, аномально повышенные тепловые потоки, наблюдаемые в исследуемой области, как в пространственном отношении, так и по величине вполне могут быть объяснены телами, выявленными по магнитным данным, если допустить, что последние представляют собой периферические магматические очаги, потерявшие связь с первичным очагом $0,5 \div 1,5$ млн. лет назад. Такое допущение в общем согласуется с возрастом вулканизма данной области и не противоречит магнитометрическим данным, согласно которым остывание почти всех выявленных тел (кроме одного, отмеченного первым слева на рис. 1) до температур ниже точки Кюри ($550\text{--}600^\circ\text{C}$) происходило, вероятнее всего, в магнитную эпоху Брюннеса, т. е. не более чем $0,7$ млн. лет назад (³).

Вышеизложенный подход к интерпретации магнитного и геотермического полей неовулканической области можно использовать для приближенной оценки современных температур периферических магматических очагов, минуя необходимость детального изучения связанных с ними тепловых потоков, разумеется, при условии, если имеются достоверные сведения о возрасте этих тел, полученные каким-либо другим методом. На рис. 2 (справа) приведены температурные разрезы по центру рассмотренных тел, полученные нами путем вычисления аномальных температур и их суммирование с температурами, существовавшими до внедрения тел. Как видно из рисунка, при наиболее вероятных значениях $\tau = 0,5 \div 1,5$ млн. лет температура с глубиной возрастает достаточно быстро. Так, в случае, если подача магмы из глубин прекратилась 1 млн. лет назад, то температура 150°C достигается на глубинах 2–2,5 км при сечении тела $10 \times 10 \text{ км}^2$ и на глубинах 3–3,5 км — при сечении тела $5 \times 5 \text{ км}^2$.

Институт геофизики и инженерной
сейсмологии Академии наук Армянской ССР

Ջերմության մեթոսկերևութային աղբյուրները Հայաստանի նորագույն հրաբխականության գոտում

Անոմալ մագնիսական դաշտի վերլուծության հիման վրա նախկինում Հայաստանի հրաբխային շրջաններում հայտնաբերվել էին մեթոսկերևութային խոշոր մարմիններ, որոնք մեկնաբանվել էին որպես ծայրամասային մագմատիկ օջախներ: Միայն Հր հայտնվել այն մասին, որ այդ օջախները պահպանում են դեռևս բարձր ջերմաստիճաններ ($200-400^{\circ}\text{C}$) և այդ իսկ պատճառով կարող են ստեղծել ջերմային հոսքի լոկալ անոմալիաներ:

Այդ ենթադրությունը ստուգելու նպատակով վերլուծվում են Հայկական ԽՍՀ տարածքի կենտրոնական շրջանում ջերմային հոսքի շափման արդյունքները՝ ջերմային դաշտի ոչ ստացիոնար բնույթի տեսակետից: Ապացուցվում է, որ նորագույն հրաբխականության գոտում դիտվող ջերմային հոսքի անոմալիան հնարավոր չէ մեկնաբանել որպես միայն խորքային ջերմային աղբյուրների արդյունք: դրա բացատրման համար անհրաժեշտ է ենթադրել նաև մեթոսկերևութային աղբյուրների գոյություն: Ցույց է տրվում, որ ջերմային հոսքի դիտվող լոկալ անոմալիաները և՛ տարածական տեղաբաշխմամբ, և՛ մեծությամբ կարող են բացատրվել մագնիսական տվյալներով հայտնաբերված մարմինների առկայությամբ, վերջիններիս համեմատաբար երիտասարդ հասակի դեպքում ($0,5-1,5$ մլն տարի), որն ընդհանուր առմամբ համապատասխանում է նորագույն հրաբխականության տարիքին և այդ մարմինների հասակի վերաբերյալ մագնիսական տվյալներից բխող եզրակացություններին:

Ստացված եզրահանգումները կարող են օգտագործվել մագմատիկ օջախների ժամանակակից ջերմային վիճակի գնահատման համար: Որպես օրինակ բերվում են նվազագույն և առավելագույն շափսեր ունեցող մարմինների ջերմաստիճանային կտրվածքները՝ հաշվված ներդրման տարբեր հասակների դեպքում:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ М. С. Бадалян, Изв. АН АрмССР. Науки о Земле, т. 29, № 2, с. 75—80 (1976).
² М. С. Бадалян, Особенности новейшего вулканизма Армении (по геофизическим данным), Изд. АН АрмССР. Ереван, 1986. ³ М. С. Бадалян, Изв. АН АрмССР. Науки о Земле, т. 39, № 6, с. 65—66 (1986). ⁴ Р. Т. Мириджян, К. С. Вартамян, Изв. АН АрмССР. Науки о Земле, т. 38, № 3, с. 40—47 (1985). ⁵ К. С. Вартамян, Н. М. Якоби, Изв. АН АрмССР. Науки о Земле, т. 38, № 2, с. 48—53 (1985) ⁶ В. В. Гордиенко, О. В. Завгородняя, Н. М. Якоби, Тепловой поток континентов, Наукова думка, Киев, 1982. ⁷ К. С. Вартамян, В. В. Гордиенко, Изв. АН АрмССР. Науки о Земле, т. 37, № 4, с. 70—75 (1984).