

## ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ НА ЗНАЧЕНИЯ ГЕОТЕРМИЧЕСКОГО ГРАДИЕНТА

© 2008 г. К. С. Варданян

*Институт геофизики и инженерной сейсмологии НАН РА  
3115, г. Гюмри, ул. В Саркисяна, 5, Республика Армения  
e-mail: iges\_kvardanyan@mail.ru  
Поступила в редакцию 27.02.2008 г.*

Повышение уровня представительности и результаты геотермических исследований актуальны для дальнейшего исследования геотермического поля территории. Одним из первых шагов в этом направлении является введение поправок в наблюдаемые значения теплового потока. В статье приведены результаты введения поправки за рельеф в значения геотермического градиента и оценка реальности полученных результатов.

В связи с развитием современной геофизики, когда данные о температурных условиях недр лежат в основе любой более или менее реалистической геофизической модели, возникла необходимость повышения как уровня самой геотермической изученности, т.е. наращивания объема экспериментальных геотермических данных (измерения температуры в скважинах, лабораторное изучение теплофизических свойств пород), так и уровня представительности и систематизированности результатов геотермических исследований. Это особенно важно для территории Армении, где есть все предпосылки существования источников геотермальной энергии, доступных для практического использования.

Организация экспериментальных геотермических исследований территории Армении, т.е. выполнение новых или повторных кондиционных измерений температуры в скважинах, изучение теплофизических свойств образцов пород, отобранных из тех же скважин, сопряжено со значительными трудностями, что заставляет на данном этапе исследований идти по пути повышения уровня представительности результатов геотермических исследований.

Скважинные измерения температуры на территории Армении произведены в основном за период 1958-1988 гг. Управлением геологии при СМ АрмССР (Р.Т. Мириджанян, Л.С. Смбатян, А.К. Погосян). В результате проведенных исследований было произведено геотермическое районирование территории Армении (Мириджанян, 1965; Аветисянц, 1970), составлены различные карты и схемы, отражающие распределение разных параметров теплового поля Земли. Несмотря на общеизвестное влияние приповерхностных процессов на значения геотермического градиента, в Армении до сего времени не введены поправки, устраняющие влияние приповерхностных искажающих факторов.

С этой целью и для получения более достоверной картины глубинного теплового поля рассмотрим возможности введения поправок в наблюдаемые значения геотермического градиента. Исследованиями влияний на геотермический градиент разных приповерхностных факторов установлено, что наиболее значительные приповерхностные искажения геотермического градиента и, следовательно, глубинного теплового потока

создают: 1) рельеф местности; 2) осадконакопление и денудацию; 3) структурные неоднородности; 4) региональные изменения климата в геологическом прошлом (ледниковые периоды); 5) гидрогеологические процессы; 6) молодой магматизм и др.

Вклад каждого из них в величину ТП, кроме двух последних, может составлять до 10-30% наблюдаемых значений ТП. Влияние же гидрогеологических процессов и молодого магматизма, особенно в условиях территории Армении с весьма сложными гидрогеологическими особенностями и несколькими циклами молодой магматической активизации, может быть очень значительным, вплоть до полного искажения геотермической информации глубинной природы. Поэтому целесообразно отдельное исследование влияния на тепловое поле гидрогеологических и магматических факторов для конкретных гидрогеологических или магматических сооружений.

Для учета осадконакопления и денудации, а также структурных неоднородностей необходим сбор многочисленных дополнительных данных, поэтому этот вопрос будет рассмотрен после накопления необходимого материала.

Ввиду своего регионального характера климатический фактор также выходит из дальнейшего рассмотрения. Климатические искажения не маскируют локальные аномалии теплового поля, связанные с геологическими эффектами, так как ледниковые периоды охватили большие территории. Климатическая поправка приобретает значение только при сравнении геотермического градиента на больших площадях.

В данной статье приведены результаты учета влияния рельефа на геотермический градиент.

Нормальное тепловое поле горных пород нарушается неправильными формами рельефа, изотермические поверхности в горных породах, в общих чертах, следуют формам рельефа, сгущаясь под долинами и разрежаясь под хребтами (Любимова и др., 1973). Геотермический градиент под положительными формами рельефа обычно занижен относительно глубинного, а под отрицательными – завышен. По имеющимся в литературе оценкам (Любимова, 1968), влияние рельефа распространяется до глубин, в 5-6 раз превышающих его относительную высоту.

В случае стационарности влияния рельефа

(длительное сохранение современных форм), распределение температуры в полупространстве, ограниченном сложным рельефом, находится из уравнения Лапласа

$$\nabla^2 T(x, y, z) = 0 \quad (1)$$

при условиях  $T(x, y, 0) = f(x, y)$  и  $T(x, y, z) \rightarrow gz$ .

Данное уравнение решается с определенными упрощениями для среды ниже земной поверхности: 1) горные породы изотропны по тепловым свойствам, 2) отсутствуют локальные источники тепла, 3) тепло переносится только кондуктивно, 4) не учитываются горизонтальные составляющие теплового потока, 5) с увеличением высоты температура поверхности Земли уменьшается линейно.

Общим решением уравнения (1) является интеграл Пуассона (Любимова, 1968)

$$f(x, y, z) = T_n + gz + \frac{z}{2\pi} \iint_{-\infty}^{+\infty} f(x', y') R^{-3} dx' dy' = T_n + gz + T_\Delta \quad (2)$$

$$R^2 = (x - x')^2 + (y - y')^2 + z^2$$

Дальнейшее вычисление интеграла требует определения вида функции  $f(x, y)$ , т.е. способа приближенного представления рельефа, что можно осуществить несколькими методами. В данном случае поправка за рельеф рассчитана методом Джефриса-Булларда, когда сложный рельеф заменяется плоскостью приведения, на которой задается распределение температуры, соответствующее действительному (Любимова и др., 1973). Плоскость приведения проводится на

высоте точки, ниже которой требуется оценить влияние рельефа.

Этот метод является наиболее универсальным, особенно в условиях сложного рельефа, и, следовательно, наиболее подходящим для условий территории Армении.

Для расчета поправки, площадь вокруг каждого пункта, где произведены замеры скважинных температур, была разделена на отдельные секторы с помощью радиально-лучевой палетки масштаба 1:25000, при максимальном радиусе 7 км.

Измеренный в скважине на интервале глубин  $\Delta z$  геотермический градиент в случае влияния рельефа связывается с равновесным градиентом следующим образом:

$$g_H = g' \frac{\Delta h}{\Delta z} + g \left(1 - \frac{\Delta h}{\Delta z}\right),$$

где  $g_H$  — измеренный геотермический градиент,  $g$  — неискаженный (равновесный) геотермический градиент,  $g'$  — гипсгеотермический градиент.

Величина  $\Delta h = -\sum_{j=1}^n H_{kj} \Delta \Omega_j$  определяется по

данным, снятым из топопланшета. Здесь  $H_{kj}$  — высота рельефа вокруг точки расчета, а  $\Delta \Omega_j$  — весовая функция, вычисляемая для параметров выбранной палетки. В табл. 1 приведены значения весовой функции  $\Delta \Omega$ , рассчитанные для оптимального набора радиусов палетки  $r_j$  и ряда интервалов глубин  $\Delta z_j$ .

Среднее значение гипсгеотермического градиента для территории Армении составляет  $g' = 5,6^\circ\text{C}/\text{км}$  (Мириджанян и др., 1972).

Для расчета поправки составлена соответствующая программа, и при наличии цифровой топоосновы поправку за рельеф можно будет оп-

Таблица 1

$\Delta z_j$	$\Delta \Omega$									
	0.05-0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	0.6-0.7	0.7-0.8	0.8-0.9	0.9-1
0-0.1	-0.25989	-0.18732	-0.05426	-0.02146	-0.01044	-0.00581	-0.00356	-0.00233	-0.00161	-0.00115
0.1-0.2	0.055215	-0.07257	-0.07069	-0.04092	-0.02361	-0.01439	-0.00929	-0.00629	-0.00444	-0.00324
0.2-0.35	0.071378	0.038475	-0.02971	-0.03941	-0.03261	-0.02434	-0.01781	-0.01311	-0.0098	-0.00746
0.35-0.5	0.036687	0.046143	0.011547	-0.00841	-0.01576	-0.01657	-0.01486	-0.01253	-0.01031	-0.00842
0.5-0.7	0.026438	0.041975	0.023907	0.00798	-0.00269	-0.00844	-0.0108	-0.01121	-0.01062	-0.00961
0.7-1	0.020608	0.036687	0.027966	0.018177	0.009276	0.002271	-0.00265	-0.00576	-0.00749	-0.00826
1-1.5	0.016362	0.030968	0.027279	0.022496	0.017258	0.012119	0.007472	0.00353	0.000362	-0.00206
1.5-2	0.008259	0.016079	0.015116	0.013771	0.012146	0.010351	0.008492	0.006663	0.004934	0.003356
2-3	0.008295	0.016362	0.015852	0.015116	0.014184	0.013095	0.011889	0.010607	0.009289	0.007969
3-4	0.004157	0.008259	0.008132	0.007946	0.007704	0.007411	0.007074	0.006697	0.006289	0.005856
4-5	0.002497	0.004973	0.004928	0.004861	0.004773	0.004664	0.004537	0.004393	0.004234	0.00406
5-7	0.002855	0.005697	0.005666	0.005621	0.005561	0.005487	0.0054	0.0053	0.005187	0.005064
7-10	0.007142	0.014276	0.014258	0.014232	0.014197	0.014154	0.014103	0.014043	0.013975	0.0139

ределить для любой точки территории, где имеются данные о скважинных температурах.

В данном случае значения высот вокруг каждой точки взяты вручную из топогеодезической основы рельефа территории Армении масштаба 1:25000. Поправка рассчитана для 70 пунктов с определением значений геотермического градиента и теплового потока.

По литературным данным, искажения, вызванные рельефом местности под хребтами, значительнее, чем под долинами, причем под хребтами соотношение  $g/g_H > 1$ , а под долинами  $g/g_H < 1$  (Любимова и др., 1973).

Конечно, для территории Армении, как для горной страны, ожидалось значения соотношения  $g/g_H$ , превышающие единицу, что и подтвердилось расчетами.

Значения соотношения  $g/g_H$  варьируют в довольно широких пределах — от 1.06 до 1.56.

Только в одном пункте — Вайоц-дзор-78 с абсолютной отметкой 1980 м,  $g/g_H = 0.86$ . Этот результат объясняется расположением скважины на дне относительного минимума, хотя воз-

можно и другое объяснение. Оценочный расчет величины поправки для больших глубин, при отсутствии данных об изменении температуры на этих глубинах, показал, что уже с глубины 0,3 км в этой скважине  $g/g_H$  должен стать больше единицы. К сожалению, здесь, как и во многих других пунктах, на больших глубинах измерения температуры не проводились.

Значительные величины коэффициентов поправки, а также большой разброс среди них обусловлены, на наш взгляд, крайней сложностью рельефа и, одновременно, небольшой глубиной температурных измерений.

Приведенные в табл 2 данные для некоторых, сравнительно глубоких скважин, позволяют уловить медленное снижение значения соотношения  $g/g_H$  с глубиной. На рис 1 представлена картина распределения соотношения  $g/g_H$  на территории Армении. Следует подчеркнуть, что хотя коэффициент поправки за рельеф значительно зависит от глубины интервала определения геотермического градиента, а значения соотношения  $g/g_H$  рассчитаны для разных глубин, здесь намечается

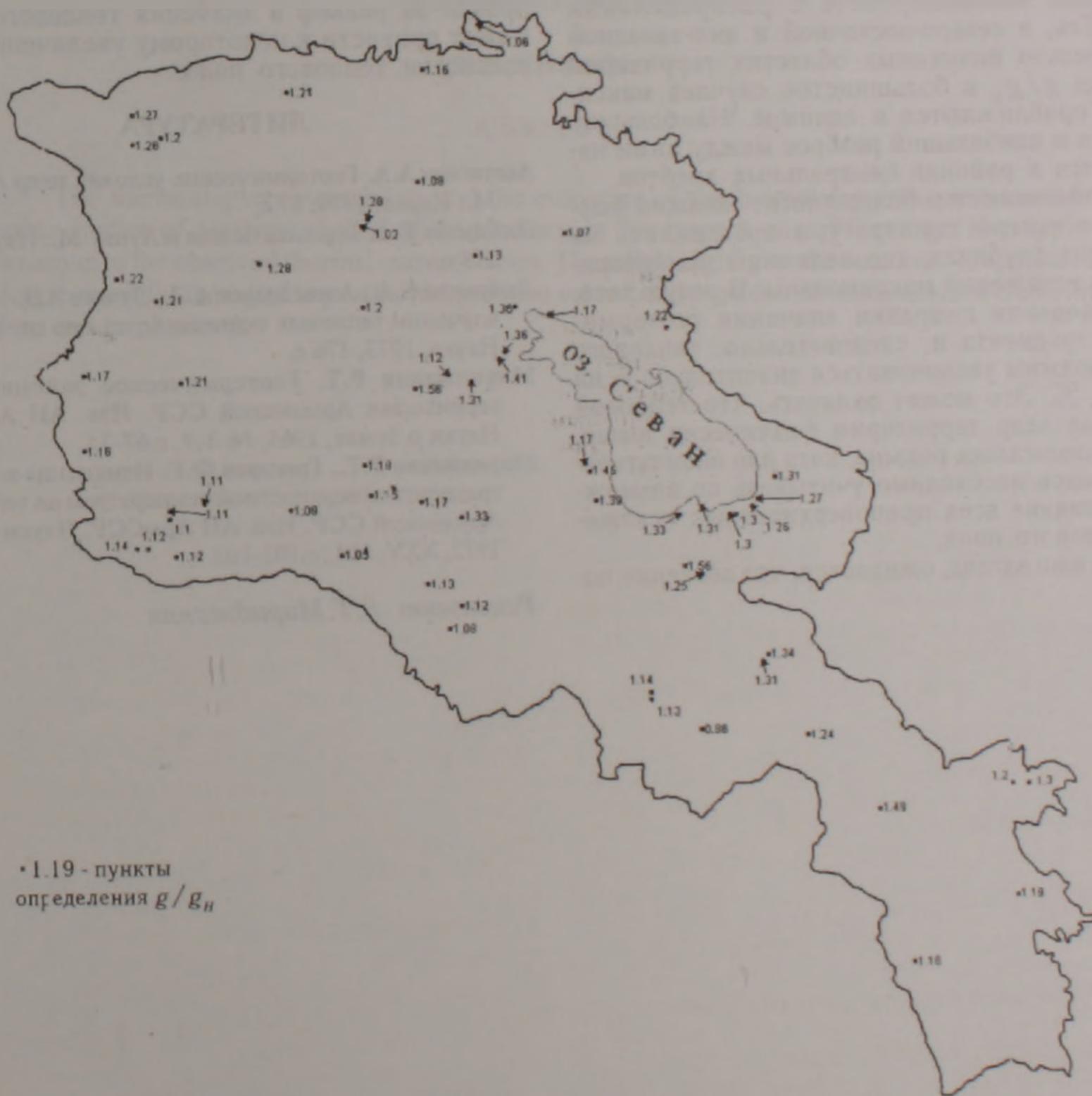


Рис 1. Карта распределения соотношения  $g/g_H$

Наименование скважин	Интервал определения градиента (км)	Геотермич. градиент (°C/км)	Кoeff. поправки (g/g <sub>n</sub> )	Равновесный градиент (°C/км)	Теплопроводность (Вт/мК)	Тепловой поток (мВт/м <sup>2</sup> )	Исправл. ГП (мВт/м <sup>2</sup> )
1	2	3	4	5	6	7	8
Каракала 14	0.1-0.3	29.8	1.16	34.4	1.74	51.9	59.8
	0.3-1	32.4	1.14	36.9	1.51	48.9	55.7
Карибахлар 1	0.1-0.4	22	1.13	24.9	2.42	53	60.3
	0.4-0.8	19.4	1.12	21.7	2.79	55	60.5
Раидан 11	0.1-0.3	37	1.18	43.6	1.68	62.2	73.3
	0.3-0.9	17.5	1.14	20.0	3.37	59	67.4
Неджерлу 4	0.2-0.3	19	1.1	20.8	1.6	30	33.3
	0.3-1.0	9.6	1.05	10.1	3.4	32	34.3
Октябрьская пл. опорная 1	0.3-0.6	32.9	1.13	37	1.51	50	56
	0.6-1	27.6	1.12	30.9	1.8	50	56

некоторая закономерность в распределении  $g/g_n$ . Так, в северо-восточной и юго-западной сравнительно низменных областях территории значения  $g/g_n$  в большинстве случаев максимально приближаются к единице. Наибольшие значения и наибольший разброс между ними наблюдаются в районах центральных хребтов.

В подавляющем большинстве скважин фактические замеры температуры проводились на небольших глубинах, где величины приповерхностных искажений максимальны. В результате, после введения поправки значения геотермического градиента и, следовательно, теплового потока должны увеличиваться значительно — на 10 — 40 %. Это может означать, что тепловой потенциал недр территории фактически выше, чем предполагалось раньше, хотя для окончательных выводов необходимо учитывать по возможности влияние всех приповерхностных искажений теплового поля.

На наш взгляд, ожидается, что введение по-

правки за рельеф в значения теплового потока может привести к некоторому увеличению контрастности теплового поля.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Аветисянц А.А. Геотермические условия недр Армении. М.: Наука, 1979, 87 с.
- Любимова Е.А. Термика Земли и Луны. М.: Наука, 1968, 278 с.
- Любимова Е.А., Александров А.Л., Дучков А.Д. Методика изучения тепловых потоков через дно океанов. М.: Наука, 1973, 176 с.
- Мириджанян Р.Т. Геотермическое районирование территории Армянской ССР. Изв. АН Арм.ССР, Науки о Земле, 1965, № 3-4, с.67-74.
- Мириджанян Р.Т., Григорян Ф.Г. Изменение высотного градиента поверхностной температуры на территории Армянской ССР. Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1972, XXV, №1, с.102-103.

Рецензент Р.Т.Мириджанян

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՏԱՐԱԾՔԻ ՌԵԼԻԵՖԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ  
ԳԵՈԹԵՐՄԻԱԿԱՆ ԳՐԱԴԻԵՆՏԻ ԱՐԺԵՔՆԵՐԻ ՎՐԱ**

**Կ. Ս. Վարդանյան**

**Ա մ փ ո փ ու մ**

ՀՀ տարածքի հորատանցքերում չափված ջերմաստիճանի գրադիենտի արժեքների մեջ էինչ այժմ հաշվի չեն առնված մի շարք մերձնակերևութային գործոնների առաջացրած աղավաղումները: Մինչդեռ ՀՀ տարածքի բարդ մերձնակերեսային պայմաններում դրանք կարող են հասնել նշանակալի չափերի:

Այնքանով, որքանով ցանկացած տարածքի երկրակեղևի ջերմային դաշտի իմացությունը էական է այլ երկրաֆիզիկական տվյալների մեկնաբանման, երկրաֆիզիկական համալիր մոդելների կառուցման համար, անհրաժեշտություն է առաջանում հնարավորինս բարձրացնել ջերմային դաշտի բնութագրերի իրականին համապատասխանության մակարդակը:

Հոդվածում ներկայացված են մոտ 70 հորատանցքերում չափված ջերմաստիճանի գրադիենտի արժեքների մեջ մտցված ռելիեֆի ուղղման արդյունքները: Գրանցված է ջերմաստիճանի գրադիենտի արժեքների զգալի՝ 10-40% աճ:

**THE IMPACT OF ARMENIA'S TERRITORY RELIEF ON GEOTHERMAL  
GRADIENT VALUES**

**K.S. Vardanian**

**A b s t r a c t**

The increasing representability and the outcomes of geothermal research are essential to further studies of geothermal field of the territory. In this respect, one of first steps is to apply a correction to the observed thermal current values. The article highlights the outcomes of application of corrections for the relief to geothermal gradient values, and provides the assessment of credibility of the results obtained.