

А. А. АВЕТИСЬЯН

ТЕПЛОВЫЕ КОНСТАНТЫ ГОРНЫХ ПОРОД И ВЕЛИЧИНА ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ПО СКВАЖИНЕ 11-Р ПРИЕРЕВАНСКОГО РАЙОНА АРМЯНСКОЙ ССР

Район, в пределах которого производились исследования тепловых констант и величины плотности теплового потока, входит в крупную структурную зону Малого Кавказа. Она относится к зоне молодой верхнеальпийской складчатости (северный край Анатолийско-Иранского межгорного прогиба) и здесь следует ожидать повышенную напряженность теплового поля Земли, а, следовательно, и повышенную плотность теплового потока (Красковский, 1959). Еще до наших исследований имелись прогнозы о наличии тепловых потоков в Араратской депрессии. Зная величины плотности тепловых потоков по Араратской долине, а также ее геологическое строение, можно будет наиболее эффективно запроектировать разведку термальных вод, имеющих большое народно-хозяйственное значение.

В настоящей статье мы приводим результаты лабораторных исследований тепловых констант горных пород*, а также произведенного нами замера температуры в скважине 11-Р Приереванского района и рассчитанного на основании этого теплового потока.

Район проводимых исследований находится в 10—15 км к северу от гор. Ереван. Скважиной 11-Р пройдена толща отложений верхнего плиоцена, миоцена, олигоцена и верхнего эоцена. Весь разрез, за исключением соленосной толщи, представлен песчано-глинистым материалом с прослоями мергелей, алевролитов, известняков. Соленосная толща состоит из каменной соли, незначительно из гипса и ангидрита, с прослоями глин.

Определение тепловых констант для образцов горных пород Араратской долины производится впервые. Исследовался керновый материал из скважин Приереванского района и скважины Лукашин**. Керны эти относятся к интервалу разреза от верхнего миоцена до верхнего эоцена, пройденного скважиной 11-Р. Результаты определений сведены в табл. 1.

Рассматривая табличные данные видим, что наименьшими значениями теплопроводности отличаются отложения шорагбюрской свиты. Это объясняется тем, что в шорагбюрской свите глины составляют 60% разреза. Коэффициент теплопроводности глин изменяется в пределах

* Исследование образцов производилось на установке методом регулярного режима, предложенного Кондратьевым.

** Из этой скважины был взят керн для разданской толщи, так как в скважинах Приереванского района в этом интервале из-за очень плохого выноса, керна отобрать не удалось.

Таблица 1

Тепловые константы по скважинам Приереванского района и скважины Лукашин—4

Район, номер скважины	Порода	Глубина отбора, м	Объемный вес кг/м ³	Удельная тепло-		Кoeffиц. темпе- ратуропр- водности м/час. 10	Кoeffиц. тепло- проводности		Влажность %
				емкость ккал	кг. град		ккал	м. час. град.	
Породы зоцена									
Приереванский									
16—P	песчаник	1952—1955	2464	0,221	28,58	1,56	1,56		
16—P	алевролит	1931—1934	2631	0,211	34,08	1,89	1,89		
16—P	конгломерат	1460—1463	2490	0,243	26,93	1,63	1,63		
16—P	песчаник	1266—1269	2450	0,239	28,68	1,68	4,6		
16—P	алевролит	1982—1985	2444	0,233	29,64	1,69	2,4		
4—P	песчаник	2036—2039	2403	0,247	27,30	1,62	6,2		
4—P	песчаник	2183—2187	2467	0,235	31,33	1,82	4,4		
16—P	аргиллит	1865—1868	2394	0,236	28,78	1,63	3,13		
16—P	конгломерат	1484—1491	2497	0,228	37,57	2,14	4,1		
20—F	песчаник	2343—2347	2424	0,268	30,05	1,95	6,0		
Породы шорагбюрской свиты									
Приереванский									
15—P	песчаник гл.	1065—1070	2236	0,257	26,42	1,52	4,4		
15—P	глина	1110—1118	2288	0,220	27,31	1,38	2,3		
5—ПТГНИ	песчаник	2079—2083	2370	0,256	27,61	1,68	6,6		
4—P	глина	1603—1610	2234	0,248	21,38	1,18	6,9		
4—P	гл. песчаник	1688—1693	2330	0,279	25,51	1,66	8,8		
4—P	песчаник	1868—1875	2481	0,240	29,96	1,78	4,95		
Породы пестроцветной толщи									
Приереванский									
15—P	глина	953—961	2230	0,304	22,19	1,51	11,2		
8—P	алевролит	1492—1434	2596	0,217	33,75	1,90	1,8		
5—ПТРНИ	песчаник	1284—1288	2530	0,230	34,16	1,99	5,4		
8—P	алевролит	1728—1733	2634	0,205	38,01	2,05	1,7		
15—P	глина	953—961	2273	0,300	19,70	1,34	10,0		
Масис—2	песчаник	2063—2065	2598	0,246	38,65	2,47	4,6		
Породы соленосной толщи									
Аванская	камен. соль	200—400	2095	0,265	101,4	5,22			
Соленосная шахта	"	200—400	2058	0,248	115,4	5,89			
Лукашин—4	"	2255—2258	2648	0,227	33,95	2,04	2,5		
Лукашин—4	"	2364—2368	2677	0,221	33,61	1,99	1,8		
Масис—2	"	1021—1024	1985	0,278	111,0	6,13			
Масис—2	"	1534—1540	2100	0,209	111,9	4,91			
Породы разданской толщи									
Лукашин—4	мелкоз. песч.	1495—1498	2575	0,238	38,84	2,38			
	глинист. песч.	1921—1926	2438	0,231	50,57	1,72	4,0		
	"	850—854	2315	0,221	21,62	1,11	3,87		
	песч. глинист.	1117—1122	2334	0,219	22,6	1,16			
	крупнозерн. песч.	1801—1807	2668	0,302	33,78	2,64	2,8		
	глина песч.	742—747	2331	0,258	22,13	1,33	6,0		

от $1,18 \frac{\text{ккал}}{\text{м. час. град}}$ до $1,38 \frac{\text{ккал}}{\text{м. час. град}}$, для песчаников от

$1,68 \frac{\text{ккал}}{\text{м. час. град}}$ до $1,78 \frac{\text{ккал}}{\text{м. час. град}}$.

Наибольшими значениями коэффициента теплопроводности отличаются отложения соленосной свиты. Значение этого коэффициента ко-

леблется в пределах $4,91 \frac{\text{ккал}}{\text{м. час. град}}$ до $6,13 \frac{\text{ккал}}{\text{м. час. град}}$, а темпе-

ратуропроводность колеблется в пределах от $101,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{час}$ до $115,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{час}$.

Соленосные глины и песчаники имеют средний коэффициент теплопроводности $2,00 \frac{\text{ккал}}{\text{м. час. град}}$.

Незначительными колебаниями теплопроводности отличаются отложения верхнего эоцена. Так, у алевролитов она меняется в пределах

$1,69—1,89 \frac{\text{ккал}}{\text{м. час. град}}$; у песчаников $1,56—1,95 \frac{\text{ккал}}{\text{м. час. град}}$; кон-

гломератов $1,63—2,14 \frac{\text{ккал}}{\text{м. час. град}}$.

Разнообразные по литологическому составу породы пестроцветной свиты заметно отличаются тепловыми константами, у песчаников коэф-

фициент теплопроводности меняется в пределах $1,99—2,47 \frac{\text{ккал}}{\text{м. час. град}}$

у глин $1,34—1,51 \frac{\text{ккал}}{\text{м. час. град}}$; алевролитов $1,90—2,05 \frac{\text{ккал}}{\text{м. час. град}}$.

Песчано-глинистые породы разданской толщи характеризуются тем, что с увеличением глубины залегания и плотности увеличивается их коэффициент теплопроводности. Песчаник, отобранный с глубины

$1495—1498 \text{ м}$, имеет коэффициент теплопроводности $2,38 \frac{\text{ккал}}{\text{м. час. град}}$, а

с глубины $1801—1807 \text{ м}$ имеет $2,64 \frac{\text{ккал}}{\text{м. час. град}}$.

Такая же закономерность наблюдается и для глинистых песчаников, у которых с увеличением глубины коэффициент теплопроводности уве-

личивается от $1,11$ до $1,72 \frac{\text{ккал}}{\text{м. час. град}}$.

Мы рассмотрели в основном изменение коэффициента теплопроводности, потому что его величина используется нами при расчетах величин плотности теплового потока.

В табл. 1 сведены также значения удельной теплоемкости, плотности, коэффициента температуропроводности и влажности горных пород, которые также определялись в лабораторных условиях.

В результате исследования тепловых свойств пород Приереванского района и по скважине Лукашин-4 видим, что теплопроводность песчано-

глинистых пород в общем повышается с глубиной. С глубиной увеличивается и теплопроводность песчаных пород.

Перед замером температуры в скважине 11-Р, она находилась в покое 4 года.

Температура в каждой точке замера определялась как среднеарифметическое из показаний двух термометров*, которые предварительно выверялись по показаниям контрольных термометров высокой точности.

Считаем, что замер температуры в скважине 11-Р, находившейся длительное время в состоянии покоя, характеризует естественный температурный режим, что очень важно для определения теплового потока. Замер температуры был произведен для глубины 1490 м. Температура, зарегистрированная на этой глубине, равна $60,5^{\circ}\text{C}$.

Располагая замером температуры по скважине 11-Р и теплофизическими константами пород, мы рассчитали величины плотности теплового потока для отдельных интервалов разреза и по всему разрезу в целом.

На геотермическом разрезе выделены интервалы, для которых величину геотермического градиента можно считать одинаковой.

Расчет величины геотермического градиента производился методом наименьших квадратов по формуле.

$$T = T_0 + H\Gamma \quad (1)$$

где H — глубина,

T — температура на этой глубине,

T_0 — постоянная, означающая величину температуры, экстраполированной до уровня поверхности земли.

Для расчета была составлена система уравнений по формуле (1)

$$\begin{aligned} nT_0 - \Gamma\Sigma H &= \Sigma T \\ T_0\Sigma H - \Gamma\Sigma H^2 &= HT \end{aligned} \quad (2)$$

где n — количество точек наблюдений.

Средняя величина коэффициента теплопроводности для многослойной среды определяется по формуле:

$$\lambda_{\text{ср.}} = \frac{H}{\frac{H_1}{\lambda_1} + \frac{H_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{H_n}{\lambda_n}},$$

где H — общая мощность каждого слоя, для которого определен коэффициент теплопроводности,

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ — коэффициент теплопроводности каждого слоя.

По этому методу определялась $\lambda_{\text{ср.}}$ только для соленосной толщи, так как в ней выделяются слои с различной теплопроводностью.

Для остальной части разреза среднее значение λ взято как среднеарифметическое значение теплопроводности пород, отобранных в этих же интервалах.

* Замер температуры производили термометром типа ТГГ — термометр глубинный геликсный, точность замера $0,2^{\circ}$.

Величина плотности теплового потока рассчитывалась по формуле:

$$P = \lambda_{\text{ср.}} \Gamma;$$

где Γ — геотермический градиент интервала, для которого определяется тепловой поток.

Таблица 2

Основные данные к расчету теплового потока*

Название свиты интервал залегания, м	Геотермическая ступень м/град	Геотермический градиент град/см	Средний коэффициент теплопроводности		Величина плотности теплового потока кал см ² сек
			ккал м. час. град	кал см. сек. град	
Разданская 110—342	27,04	$0,370 \cdot 10^{-3}$	1,72	$4,78 \cdot 10^{-3}$	$1,770 \cdot 10^{-6}$
Соленосная 342—935	57,02	$0,175 \cdot 10^{-3}$	3,87	$10,75 \cdot 10^{-3}$	$1,88 \cdot 10^{-6}$
Пестроцветная 935—1233	29,80	$0,336 \cdot 10^{-3}$	1,91	$5,31 \cdot 10^{-3}$	$1,78 \cdot 10^{-6}$
Шорагбюрская 1233—1558	24,48	$0,409 \cdot 10^{-3}$	1,53	$4,25 \cdot 10^{-3}$	$1,74 \cdot 10^{-6}$
Эоцен 1558—1898	26,75	$0,374 \cdot 10^{-3}$	1,733	$4,81 \cdot 10^{-3}$	$1,80 \cdot 10^{-6}$

Ниже приводим краткую характеристику интервалов, для которых определяется тепловой поток.

1. Интервал 110—342 м, соответствующий стратиграфически разданской толще (верхний сармат), представлен зеленовато-серыми, желтовато-серыми, красно-бурыми, часто жирными комковатыми глинами, мертелями, аргиллитами и серыми, желтовато-серыми, мелко- и средне-зернистыми, слабо известковистыми песчаниками с прослоями известняков в верхней части разреза.

Значение геотермического градиента равно 0,370 град/см (геотермическая ступень 27,04 м/°С). Среднее значение коэффициента теплопроводности определено по 6 образцам, равно $4,78 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кал}}{\text{см. сек. град.}}$

Плотность теплового потока, подсчитанная по этим данным, равна $1,77 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \text{ сек}}$.

2. Интервал 342—935 м представлен свитой мощных соленосных отложений (ср. миоцен—ср. сармат).

Соленосная свита представлена мощными пластами каменной соли, перемежающимися с пачками и пластами светло-серых, темно-серых глин. В нижней части разреза свиты преобладает ангидрит, в верхней— гипсоносные глины.

* Для пород эоцена величина плотности теплового потока взята как среднеарифметическая для всей вышележащей толщи $1,80 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \text{ сек}}$. Исходя из него и $\lambda_{\text{ср.}}$ для отложений эоцена, рассчитан геотермический градиент для эоцена.

Среднее значение коэффициента теплопроводности определено по 6 образцам и равно $10,75 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кал}}{\text{см. сек. град}}$. Геотермический градиент равен $0,175 \cdot 10^{-3}$ град/см (геотермическая ступень 57,02 м/град). Величина плотности теплового потока равна $1,88 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \text{ сек}}$.

3. Интервал 935—1233 м стратиграфически соответствует пестроцветной свите (верхний олигоцен — нижний миоцен). Свита состоит из глин, порой гипсоносных, в основном песчанистых алевролитов серого, желтовато-бурого и кирпично-красного цветов, полимиктовых песчаников серого, зеленовато-серого и желтовато-серого цветов и рыхлых конгломератов.

По литологическому составу красноцветная свита делится на две подсвиты, нижнюю, где преобладают песчаники и конгломераты и верхнюю, представленную глинами и алевролитами.

Состав галечников и конгломератов разнообразный: встречаются обломки туфов, туфопесчаников, порфиритов, яшм, халцедона и, реже, интрузивных пород.

Среднее значение коэффициента теплопроводности определено по семи образцам и равно $5,31 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кал}}{\text{см. сек. град}}$.

Геотермический градиент равен $0,336 \cdot 10^{-3}$ град/см (геотермическая ступень—29,8 м/град).

Плотность теплового потока равна $1,78 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \text{ сек}}$.

4. Интервал 1233—1558 м стратиграфически соответствует шорагбюрской свите (нижний — средний олигоцен). Эта свита песчаноглинистых пород.

В минералогическом составе песчаников преобладают полевые шпаты и вулканическое стекло. Цементом является, главным образом, карбонатное вещество. Содержание кварца составляет 2—3%, иногда 7—10%. Из вторичных минералов преобладают бистит, гидрослюды железа. Содержание в цементе туфогенного материала позволяет назвать их туфогенными.

В этой свите глины преобладают в количественном отношении, они составляют 60% разреза. Они серые, бурые, иногда слабо гипсоносные и почти всегда известковистые. Содержание карбонатов составляет от 8 до 20%.

Среднее значение коэффициента теплопроводности определено по шести образцам и равно $4,25 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кал}}{\text{см. сек. град}}$. Геотермический градиент имеет величину, равную $0,409 \cdot 10^{-3}$ град/см (геотермическая ступень 24,48 м/°С). Плотность теплового потока $1,74 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \text{ сек}}$.

5. Интервал 1558—1898 м стратиграфически соответствует верхнему эоцену (часть зовашенской свиты) и представлен переслаиванием:
 а) разномерных песчаников темно-серого, серого цветов, состоящих из обломков изверженных пород, полевых шпатов, биотита, кальцита и др. минералов, цемент карбонатный, глинистый, реже туфогенный;
 б) глин т/серых, гипсоносных и мергелей.

Среднее значение теплопроводности определено по десяти образцам и равно $4,81 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кал}}{\text{см. сек. град}}$. Геотермический градиент равен $0,374 \cdot 10^{-3}$ град/см. Величина плотности теплового потока $1,800 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \text{сек}}$.

Основной геотермической константой является плотность теплового потока. Исходя из распределения ее величин по разрезу видим, что наибольшая напряженность теплового поля наблюдается в соленосной толще. В отложениях разданской толщи, шорагбюрской свиты и пестроцветной она незначительно снижается — это, очевидно, связано с большей их промываемостью подземными водами. Средняя величина плотности теплового потока для всего разреза составляет $1,80 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \text{сек}}$.

Эта величина значительно выше, чем усредненное значение теплового потока для Земли $\left(1,2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \text{сек}} \right)$.

Большое значение плотности теплового потока, полученное для исследованного района, связано, как было отмечено выше, с геоструктурным положением его в зоне молодой верхнеальпийской складчатости, где глубинные тепловые процессы протекали весьма интенсивно.

Грозненский нефтяной институт

Поступила 15.IX.1967.

Ա. Ա. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ

ԼԵՌՆԱՅԻՆ ԱՊԱՐՆԵՐԻ ԶԵՐՄԱՅԻՆ ՀԱՍՏԱՏՈՒՆՆԵՐԸ ԵՎ ԶԵՐՄԱՅԻՆ ՀՈՍՔԻ ԽՏՈՒԹՅԱՆ ՄԵԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀՍՍՀ ՄԵՐԶԵՐԵՎԱՆՅԱՆ ՇՐՋԱՆԻ 11-Ք ՀՈՐԱՏԱՆՅՔՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հետազոտումների շրջանը ընկած է Փոքր Կովկասի խոշոր ստրուկտուրային դոնայի սահմաններում:

Զերմային հոսքի խտության մեծության ուսումնասիրության տեսանկյունից շրջանը հանդիսանում է ամենահետաքրքիրը, քանի որ այն տեղադրված է վերին ալպիական ծալքավորման դոնայում, ուր սպասելի է երկրի ջերմային դաշտի ավելի բարձր լարում:

Գիտենալով ջերմային հոսքի խտության մեծությունները Արարատյան դաշտավայրի սահմաններում և տեղանքի երկրաբանական կառուցվածքը, կա-

րելի է ավելի էֆեկտիվ կերպով նախագծել թերմալ ջրերի հետախուզության աշխատանքները:

Հողվածում շարադրված են Մերձերևանյան շրջանի 11-Ք հորատանցքում կատարված ջերմաստիճանային չափումները, լեռնային ապարների ջերմային հաստատունների լաբորատոր հետազոտությունների արդյունքները¹ և դրանց հիման վրա՝ ջերմային հոսքի մեծության հաշվարկումները:

Հետազոտությունների շրջանը ընկած է Սրևան քաղաքից 10—15 կմ դեպի հյուսիս, ուր 11-Ք հորատանցքը հատել է վերին պիոցենի, միոցենի, օլիգոցենի և վերին էոցենի նստվածքներից կազմված հաստվածքը:

Մերձերևանյան շրջանի լեռնային ապարների ջերմային հաստատունների հետազոտության արդյունքները ցույց են տալիս, որ ավազա-կավային և ավա-պաքարային ապարների ջերմահաղորդականությունը ըստ խորության աճում է, ինչն ենթադրվում է կտրվածքի առանձին հաստվածքների ջերմահաղորդականության արժեքները և հաշվելով փոքրագույն քառակուսիների մեթոդով գեոթերմիկ գրադիենտի մեծությունը նույն հաստվածքի համար, մենք հաշվել ենք ջերմային հոսքի խտության մեծությունը հետևյալ բանաձևի օգնությամբ՝

$$Q = \Lambda_{\text{եր}} \cdot \Gamma,$$

ուր՝ $\Lambda_{\text{եր}}$ — ջերմահաղորդականության միջին արժեքն է տվյալ հաստվածքի համար,

Γ — նույն հաստվածքի գեոթերմիկ գրադիենտը:

Ելնելով ջերմային հոսքի խտության մեծության բաշխումից, տեսնում ենք, որ ջերմային դաշտի ամենամեծ խտությունը նկատվում է աղաբեր շերտախրմբում: Հրազդանի, շորաղբյուրի և խայտաբղետ շերտախմբերի նստվածքներում այն աննշան կերպով անկում է, որը, ըստ երևույթի, պայմանավորված է ստորերկրյա ջրերի կողմից նրանց ավելի շատ ողողվածությամբ:

Ջերմային հոսքի միջին մեծությունը ամբողջ կտրվածքի համար կազմում է $1,80 \cdot 10^{-6} \frac{\text{կալ}}{\text{սմ}^2 \cdot \text{վրկ}}$, որը նշանակալից բարձր է, քան ջերմային հոսքի

միջին մեծությունը ամբողջ Երկրի համար $\left(1,2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{կալ}}{\text{սմ}^2 \cdot \text{վրկ}} \right)$:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Сухарев Г. М., Власова С. П. О величине теплового потока в западной части Терско-Кумской впадины. Геология нефти и газа, № 4, 1966. Изд. «Недра».
2. Красковский С. А. О некоторых очередных задачах геотермических исследований в СССР. В кн.: «Проблемы геотермии и практического использования тепла Земли», т. I, М., 1959.
3. Кондратьев Г. М. Регулярный тепловой режим. М., 1954.

¹ Նմուշների հետազոտումը կատարվել է Գ. Մ. Կոնդրատևի կողմից առաջադրված հարմարների օգնությամբ կարգավոր ռեժիմի մեթոդով: