

Сейсмология

ҚР ҰҒА-ның Хабарлары. Геологиялық сериясы. Известия НАН РК.
Серия геологическая. 2009. №5. С. 59–67

УДК 550.343.4:624.131:551.1

И.Н. ЛИТОВЧЕНКО¹

ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОЧАГОВЫХ ЗОН СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНИ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

Қатты жерсілкінүлердің ошак белдемдері солтүстік Тянь-Шань жер қыртысы және жақын аумақтардың физикалық параметрлерінің есептеу нәтижелері көлтірілген. Қатты жерсілкінүлер ошагында жер қыртысы бөлігінің серпінді сипаттайтын физикалық параметр топтары бөлініп шығарылған.

Приводятся результаты расчетов физических параметров в очаговых зонах сильных землетрясений земной коры Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий. Выделяются группы физических параметров, характеризующих упругую и упруго-вязкую части земной коры в очагах сильных землетрясений.

The valuation results of physical parameters of local zones of strong earthquakes at the North Tyan-Shan and neighbouring territories are given. The physical parameter groups characterizing a flexible and flexible-viscous parts of earth crust in local zones of strong earthquakes are indicated.

В земной коре Северного Тянь-Шаня в конце XIX и в XX веков произошли разрушительные землетрясения: Чиликское (1889 г. с $M=8.3$), Кеминское (1911 г. с $M=8.2$), Верненское (1887 г. с $M=7.3$), Беловодское (1885 г. с $M=6.9$), Чаткальское (1946 г. с $M=7.5$), Сусамырское (1992 г. с $M=7.5$) и др. [1]. Однако физические параметры в очаговых зонах этих землетрясений не были рассчитаны количественно. Такие данные представляют практический интерес, особенно при изучении термобарических условий формирования сейсмических процессов. В настоящей работе приведены рассчитанные реологические и термобарические параметры очагов землетрясений не только для Северного Тянь-Шаня, но и прилегающих территорий.

Использованные материалы. Физические характеристики в очаговых зонах землетрясений произошедших на территории с координатами $41\text{--}45^{\circ}\text{N}$, $75\text{--}80^{\circ}\text{E}$, где наиболее достоверны статистики многочисленных землетрясений с энергетическим классом $K>=12.1$ (рис.1).

С 1800г. по 2007г. здесь произошло 135 землетрясений с $K>=12.1$, для которых рассчитаны физические параметры очаговых зон.

Методика расчетов. Автором [2] разработана методика и установлены связи между важными физическими параметрами очаговой области землетрясений.

Для вычислений применяется следующая система уравнений [1,2]:

$$\lg E = 9.257 + 2.7M - 0.1M^2, \quad (1.1)$$

$$\lg V(\text{cm}^3) = 6.56 + M(2.6 - 0.1M), \quad (1.2)$$

$$U = E/V, \quad (1.3)$$

$$E_k = 2.7 + 0.1M, \quad (1.4)$$

$$T(K) = 196.8K(\lg E_{\max} - \lg E), \quad (1.5)$$

$$\alpha_v = T(K)/(7733)^2, \quad (1.6)$$

$$G \approx k/V\alpha_v, \quad (1.7)$$

$$\tau_{kp} = \sigma * \operatorname{tg}\varphi, \quad (1.8)$$

где Е и М – энергия и магнитуда землетрясений, V – критическая величина объема очага (cm^3), U – плотность потенциальной энергии сейсмичес-

¹Казахстан, 050060, Алматы, пр. аль.Фараби, 75а, Институт сейсмологии.

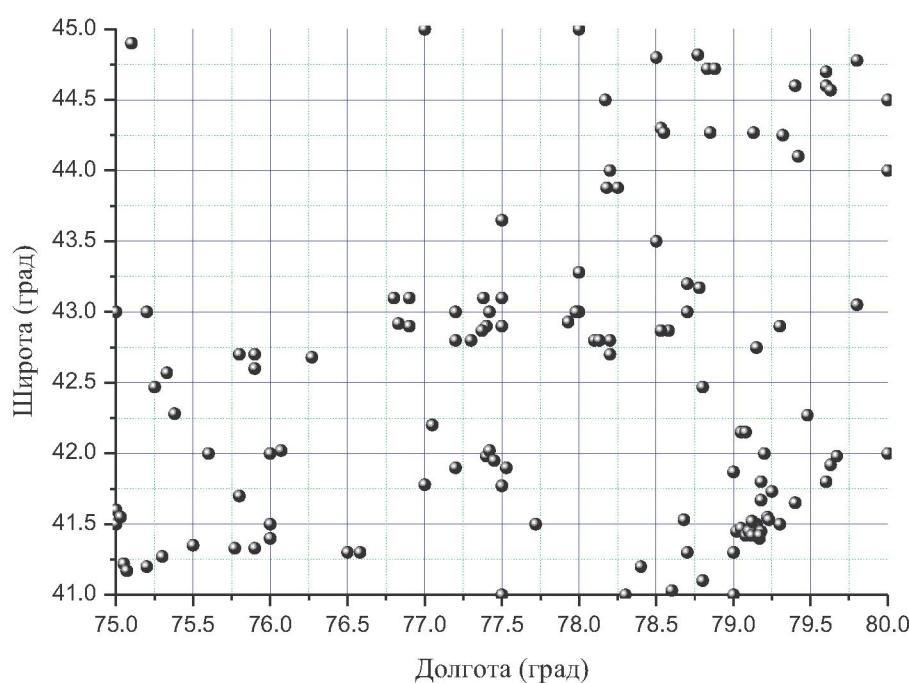


Рис. 1. Распределение сильных землетрясений с энергетическим классом $K \geq 12.1$, $N=135$ на территории $41-45N$, $75-80E$ с 1800-2007гг.

ких волн в единице объема ($\text{эрд}/\text{см}^3$), E_k – удельная энергия изменения формы очага (Эрг), G – объемный модуль упругости ($\text{дин}/\text{см}^2$), k – постоянная Больцмана, b_n – коэффициент объемного теплового расширения, ϕ_{kp} – сбрасываемые очагом добавочные напряжения ($\text{дин}/\text{см}^2$), u – нормальная компонента эффективных напряжений ($\text{дин}/\text{см}^2$), z – вязкость пород в очаге (Пуаз), z_{max} – максимальное значение вязкости верхних слоев Земли.

Как известно, магнитуда является относительной величиной. Изменение магнитуды на единицу эквивалентно повышению (понижению) энергии землетрясения в 32 раза. К примеру, магнитуда $M=8.0$ соответствует $E=6.3 \cdot 10^{23}$ Эрг.; $M=7.0$; $E=2.0 \cdot 10^{22}$ Эрг. и т. д. Теоретически возможный максимальный энергетический класс равен 27.49 [2]. По приведенным выше формулам, рассчитаны все указанные физические параметры. В таблице 1 приводятся их численные значения.

Как показано в [2], физический смысл уравнений (1.1-1.10) следует из различий в изменении критической величины объема очага V и плотности энергии в единице объема U . Из уравнения (1.2) следует, что логарифм критических размеров объема очага ($\lg V$) находится в квад-

ратичной зависимости от магнитуды. В диапазоне магнитуд от 4.38 до 8.2 расчетные значения $\lg V$ меняются в пределах от 16.03 до 21.15.

Наличие параметров E и V дало возможность для расчета плотности потенциальной энергии сейсмических волн в ед. объема U . В нашем случае $\lg U = \lg E - \lg V$ в диапазоне магнитуд $4.38 \leq M \leq 8.2$ значения $\lg U$ изменяются в пределах от 3.13516 до 3.51674.

Отметим, что логарифм удельной (объемной) плотности энергии сейсмических волн ($\lg U$) в отличие от ($\lg V$) находится в прямолинейной зависимости от магнитуды.

Величина потенциальной энергии сейсмических волн зависит от величины объема очага и практически не зависит от удельной плотности энергии U . Это следует из различий в изменениях V и U для диапазона магнитуд от 4.38 до 8.2.

Далее рассмотрим соотношение между энергией и температурой в очаге землетрясения. В теоретическом плане вероятность взаимосвязи между энергией и магнитудой землетрясения с термодинамическими параметрами очага может предполагаться из самой природы накопления термоупругих напряжений в верхних оболочках Земли. Такое накопление является следствием неравномерного распределения температур и

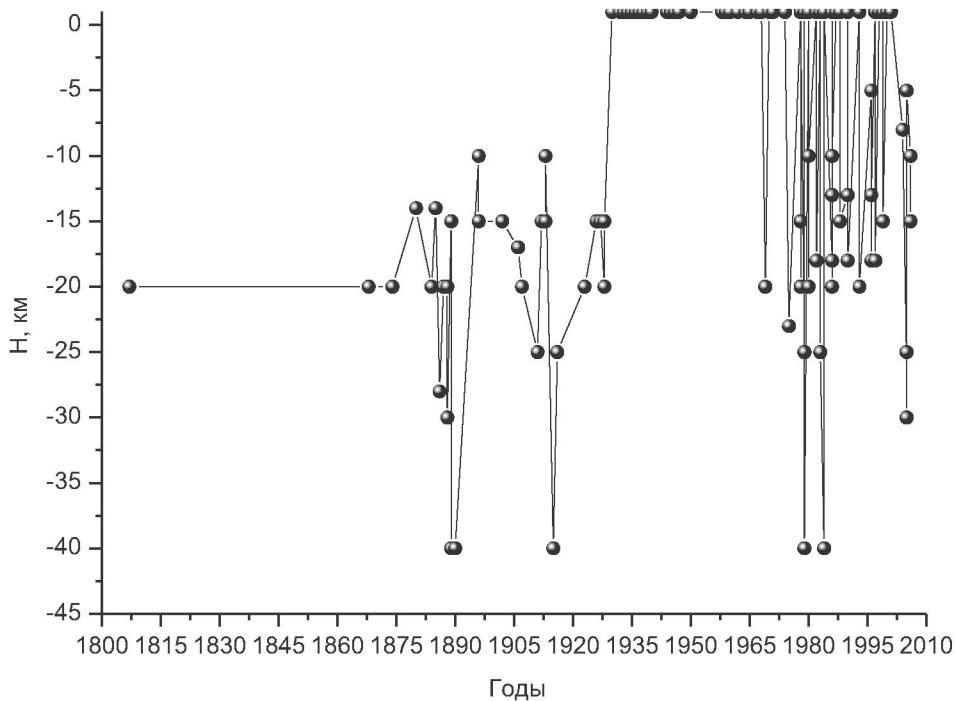


Рис. 2. Распределение гипоцентров землетрясений по глубине H (км) с $K \geq 12.1$ с 1800-2007 гг. сейсмоактивного региона 41-45N, 75-80E ($N=135$)

различия физических свойств геологической среды. [1,2]

На рисунке 2 приводится диаграмма распределения гипоцентров землетрясений по времени. Эмпирические уравнения связи по [2, 3], температуры с энергией в очаге и магнитуды землетрясений $T(K)=196.8K(\lg E_{\max} - \lg E)$, где $196.8K$ – константа, определяющая количество градусов, соответствующее изменению энергии (эрд) на один порядок; $\lg E$ – логарифм энергии сейсмических волн, рассчитанный по уравнению из (1.1). $\lg E_{\max}$ – логарифм максимального значения энергии сейсмических волн используются и при расчете вязкости η ; объемного модуля упругости G , эффективных нормальных напряжений σ ; эффективных касательных или сбрасываемых напряжения τ ; показателя деформации объема очага ε ; коэффициента объемного теплового расширения α_v [2].

Определение величин термодинамических параметров проводилось в логической последовательности: $\lg E \rightarrow T(K) \rightarrow \alpha_v \rightarrow G \rightarrow \sigma \rightarrow \tau_{kp}$ и $\lg \eta$. Для обозначения этих параметров в диаграмме стоят названия переменных, соответственно обозначенные для удобства $\lg E \rightarrow T(K) \rightarrow \alpha_v \rightarrow G \rightarrow \sigma \rightarrow \tau_{kp} \rightarrow \lg \eta$. Для определения среднего значения коэффициента

теплового объемного расширения α_v материала очага до момента разрядки добавочных напряжений использованы полученные расчетные значения температур [2]:

$T(K)=(\lg K / \lg K_{(1B)}) * T_{(1B)}(K)$. $\lg K_{(1B)} = 39.284$ и $T_{(1B)} = 7733K$ принимаются постоянными при расчете температур в очаге землетрясения в момент термоупругих напряжений.

Постоянная $K_{(1B)}$ является тепловой энергией частиц в объеме очага, если с каждой из них связан элементарный заряд и пробегают они разность потенциалов в 1в, а соответствующая кинетическая энергия поступательного движения частиц $E_{(1B)} = 1 \text{ эв} = 1.602 * 10^{12} \text{ эрг}$. Тогда $K_{(1B)}$ равна: $K_{(1B)} = 2.86 * 10^{27} \text{ эрг}^2 / 1.602 * 10^{-12} \text{ эрг}^2 = 1.925 * 10^{39} \text{ эрг} = \text{const}$. Температура $T_{(1B)}$, соответствующая тепловой энергии $K_{(1B)}$ рассчитывается по уравнению: $T_{(1B)} = 2 * 1 \text{ эв} / 3K = 2 * 1.602 * 10^{12} \text{ эрг} / 3 * 1.38 * 10^{-16} \text{ эрг/град} = 7733K$. Подставляя значения $K_{(1B)}$ и $T_{(1B)}$ в формулу температуры (1.5) имеем: $T(K) = (\lg K / 39.284) * 7733K$. [2]. Логично предположить, что глубина очага землетрясения напрямую зависит от температуры, так как ею диктуется состояние среды и поэтому можно видеть такую зависимость на диаграмме. На рисунке 2 учтены только численно определенные значения глубин землетрясений в регионе исследо-

Таблица 1 – Реологические и термодинамические параметры землетрясений

Год	Долгота	Широта	Магнитуда	h Глубин (км)	Энергия класс	lgE Энерг. сесм. волн (Эрг)	lgV Критич. объем. очага (см ³)	lgU Плотн. Энерг. (Эрг/см ³)	E _k Удел. энерг. формы очага. (Эрг)	T(k) Темпер. в очаге (°C)	G, 10 ¹¹ модуль упругости (дин/см ²)	$\alpha\lambda$ коэф. тепл. объемн. расширения	τ_{kp} эффек. касател. напряж. (дин/см ²)	ε деформации объема	$\sigma, 10^9$ эффект. норм. напряж. (дин/см ²)	lgη логар. вязкост (Пуаз)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1868	75.9	42.7	6.36	-20	15.1	22.38	19.04	3.33253	3.33553	1006.185	2.73386	1.68E-05	3.96E+06	0.01693	0.04628	-1.03903
1874	77.4	42.9	5.83	-20	14.3	21.6	18.32	3.2799	3.28289	1159.645	2.37208	1.94E-05	3.44E+06	0.02249	0.05334	-2.8811
1880	76.9	43.1	5.63	-14	14	21.29	18.03	3.26016	3.26316	1220.004	2.25472	2.04E-05	3.27E+06	0.02489	0.05612	-3.57187
1884	78.2	42.7	5.76	-20	14.2	21.5	18.22	3.27332	3.27632	1179.594	2.33196	1.97E-05	3.38E+06	0.02327	0.05426	-3.11136
1885	75.8	41.7	4.97	-14	13	20.21	17.02	3.19437	3.19737	1432.272	1.92056	2.40E-05	2.78E+06	0.0343	0.06588	-5.87446
1886	75	43	5.37	-28	13.6	20.87	17.64	3.23384	3.23684	1302.866	2.11132	2.18E-05	3.06E+06	0.02839	0.05993	-4.49291
1887	76.8	43.1	7.21	-20	16.4	23.53	20.11	3.41805	3.42105	780.0659	3.52633	1.30E-05	5.11E+06	0.01018	0.03588	1.95433
1887	76.8	43.1	5.7	-20	14.1	21.39	18.13	3.26674	3.26974	1199.714	2.29285	2.01E-05	3.32E+06	0.02407	0.05519	-3.34161
1888	78.5	44.8	5.7	-20	14.1	21.39	18.13	3.26674	3.26974	1199.714	2.29285	2.01E-05	3.32E+06	0.02407	0.05519	-3.34161
1888	75.1	44.9	6.03	-30	14.6	21.9	18.6	3.29963	3.30263	1100.82	2.49884	1.84E-05	3.62E+06	0.02026	0.05064	-2.19032
1889	76.9	43.1	4.97	-15	13	20.21	17.02	3.19437	3.19737	1432.272	1.92056	2.40E-05	2.78E+06	0.0343	0.06588	-5.87446
1889	78.7	43.2	8.2	-40	17.9	24.67	21.15	3.51674	3.51974	554.9347	4.95692	9.28E-06	7.19E+06	0.00515	0.02553	5.40821
1890	78	43	6.36	-40	15.1	22.38	19.04	3.33253	3.33553	1006.185	2.73386	1.68E-05	3.96E+06	0.01693	0.04628	-1.03903
1896	77.3	42.8	4.58	-10	12.4	19.52	16.37	3.15489	3.15789	1567.811	1.75453	2.62E-05	2.54E+06	0.0411	0.07212	-7.25601
1896	78.53	44.3	5.37	-15	13.6	20.87	17.64	3.23384	3.23684	1302.866	2.11132	2.18E-05	3.06E+06	0.02839	0.05993	-4.49291
1902	76	41.4	5.37	-15	13.6	20.87	17.64	3.23384	3.23684	1302.866	2.11132	2.18E-05	3.06E+06	0.02839	0.05993	-4.49291
1906	79.6	44.7	5.63	-17	14	21.29	18.03	3.26016	3.26316	1220.004	2.25472	2.04E-05	3.27E+06	0.02489	0.05612	-3.57187
1907	75	41.5	5.57	-20	13.9	21.19	17.93	3.25358	3.25658	1240.464	2.21753	2.07E-05	3.22E+06	0.02573	0.05706	-3.80213
1911	76.9	42.9	8.13	-25	17.8	24.6	21.09	3.51016	3.51316	568.7512	4.8365	9.51E-06	7.01E+06	0.00541	0.02616	5.17795
1912	80	44.5	5.37	-15	13.6	20.87	17.64	3.23384	3.23684	1302.866	2.11132	2.18E-05	3.06E+06	0.02839	0.05993	-4.49291
1912	80	44.5	5.37	-15	13.6	20.87	17.64	3.23384	3.23684	1302.866	2.11132	2.18E-05	3.06E+06	0.02839	0.05993	-4.49291
1912	75.2	43	4.71	-15	12.6	19.76	16.59	3.16805	3.17105	1521.95	1.8074	2.55E-05	2.62E+06	0.03874	0.07001	-6.79549
1913	80	44	5.63	-15	14	21.29	18.03	3.26016	3.26316	1220.004	2.25472	2.04E-05	3.27E+06	0.02489	0.05612	-3.57187
1913	79.3	42.9	4.78	-10	12.7	19.87	16.7	3.17463	3.17763	1499.275	1.83473	2.51E-05	2.66E+06	0.03759	0.06897	-6.56523
1915	79.2	42	6.62	-40	15.5	22.75	19.39	3.35884	3.36184	933.543	2.94659	1.56E-05	4.27E+06	0.01457	0.04294	-0.118
1916	77.2	43	5.96	-25	14.5	21.8	18.5	3.29305	3.29605	1120.258	2.45548	1.87E-05	3.56E+06	0.02099	0.05153	-2.42058
1923	77.5	41	5.37	-20	13.6	20.87	17.64	3.23384	3.23684	1302.866	2.11132	2.18E-05	3.06E+06	0.02839	0.05993	-4.49291
1923	77.5	41	5.76	-20	14.2	21.5	18.22	3.27332	3.27632	1179.594	2.33196	1.97E-05	3.38E+06	0.02327	0.05426	-3.11136
1926	75	43	5.37	-15	13.6	20.87	17.64	3.23384	3.23684	1302.866	2.11132	2.18E-05	3.06E+06	0.02839	0.05993	-4.49291
1927	75.2	41.2	4.97	-15	13	20.21	17.02	3.19437	3.19737	1432.272	1.92056	2.40E-05	2.78E+06	0.0343	0.06588	-5.87446
1928	78.5	43.5	5.57	-20	13.9	21.19	17.93	3.25358	3.25658	1240.464	2.21753	2.07E-05	3.22E+06	0.02573	0.05706	-3.80213
1928	77.3	42.8	4.58	-15	12.4	19.52	16.37	3.15489	3.15789	1567.811	1.75453	2.62E-05	2.54E+06	0.0411	0.07212	-7.25601
1930	78.7	43	5.63	1	14	21.29	18.03	3.26016	3.26316	1220.004	2.25472	2.04E-05	3.27E+06	0.02489	0.05612	-3.57187
1932	78.1	42.8	4.97	1	13	20.21	17.02	3.19437	3.19737	1432.272	1.92056	2.40E-05	2.78E+06	0.0343	0.06588	-5.87446
1932	78.2	42.8	4.97	1	13	20.21	17.02	3.19437	3.19737	1432.272	1.92056	2.40E-05	2.78E+06	0.0343	0.06588	-5.87446
1933	79.6	41.8	5.63	1	14	21.29	18.03	3.26016	3.26316	1220.004	2.25472	2.04E-05	3.27E+06	0.02489	0.05612	-3.57187
1934	75.6	42	5.63	1	14	21.29	18.03	3.26016	3.26316	1220.004	2.25472	2.04E-05	3.27E+06	0.02489	0.05612	-3.57187
1935	77.5	43.1	5.63	1	14	21.29	18.03	3.26016	3.26316	1220.004	2.25472	2.04E-05	3.27E+06	0.02489	0.05612	-3.57187

1935	75.9	42.6	4.97	1	13	20.21	17.02	3.19437	3.19737
1936	77.2	42.8	4.97	1	13	20.21	17.02	3.19437	3.19737
1937	78.4	41.2	4.97	1	13	20.21	17.02	3.19437	3.19737
1937	78.7	41.3	4.97	1	13	20.21	17.02	3.19437	3.19737
1938	75.8	42.7	6.29	1	15	22.28	18.96	3.32595	3.32895
1939	76.5	41.3	5.63	1	14	21.29	18.03	3.26016	3.26316
1940	77.2	41.9	5.63	1	14	21.29	18.03	3.26016	3.26316
1940	79.4	44.6	4.97	1	13	20.21	17.02	3.19437	3.19737
1940	79.6	44.6	5.3	1	13.5	20.76	17.54	3.22726	3.23026
1944	79	41	5.63	1	14	21.29	18.03	3.26016	3.26316
1945	77.5	42.9	5.63	1	14	21.29	18.03	3.26016	3.26316
1946	76	42	4.97	1	13	20.21	17.02	3.19437	3.19737
1946	78.8	41.1	5.63	1	14	21.29	18.03	3.26016	3.26316
1947	76	41.5	4.97	1	13	20.21	17.02	3.19437	3.19737
1947	79	41.3	4.97	1	13	20.21	17.02	3.19437	3.19737
1950	78	45	5.63	1	14	21.29	18.03	3.26016	3.26316
1958	78.3	41	5.63	1	14	21.29	18.03	3.26016	3.26316
1958	75	41.6	4.97	1	13	20.21	17.02	3.19437	3.19737
1959	80	42	5.63	1	14	21.29	18.03	3.26016	3.26316
1960	77.5	43.65	4.97	1	13	20.21	17.02	3.19437	3.19737
1962	78.83	44.72	4.64	1	12.5	19.64	16.48	3.16147	3.16447
1964	78.85	44.27	5.3	1	13.5	20.76	17.54	3.22726	3.23026
1965	79.25	41.73	6.29	1	15	22.28	18.96	3.32595	3.32895
1965	75.03	41.55	4.64	1	12.5	19.64	16.48	3.16147	3.16447
1965	77.53	41.9	5.04	1	13.1	20.32	17.12	3.20095	3.20395
1967	79.48	42.27	4.97	1	13	20.21	17.02	3.19437	3.19737
1968	75.05	41.22	4.45	1	12.2	19.29	16.15	3.14174	3.14474
1968	78.17	44.5	4.58	1	12.4	19.52	16.37	3.15489	3.15789
1969	79.3	41.5	6.29	-20	15	22.28	18.96	3.32595	3.32895
1970	78.8	42.47	6.29	1	15	22.28	18.96	3.32595	3.32895
1971	79.02	41.45	5.43	1	13.7	20.98	17.74	3.24042	3.24342
1971	79.05	41.47	5.37	1	13.6	20.87	17.64	3.23384	3.23684
1971	79.08	41.42	4.97	1	13	20.21	17.02	3.19437	3.19737
1971	79.15	41.5	5.11	1	13.2	20.43	17.23	3.20753	3.21053
1971	79.1	41.45	5.5	1	13.8	21.08	17.83	3.247	3.25
1971	79.12	41.52	5.76	1	14.2	21.5	18.22	3.27332	3.27632
1971	79.22	41.55	4.45	1	12.2	19.29	16.15	3.14174	3.14474
1971	79.23	41.53	5.37	1	13.6	20.87	17.64	3.23384	3.23684
1971	79.13	41.43	5.37	1	13.6	20.87	17.64	3.23384	3.23684
1971	79.12	41.42	4.45	1	12.2	19.29	16.15	3.14174	3.14474
1974	78.25	43.88	4.45	1	12.2	19.29	16.15	3.14174	3.14474
1974	75.38	42.28	4.64	1	12.5	19.64	16.48	3.16147	3.16447
1975	78.78	43.17	4.71	-23	12.6	19.76	16.59	3.16805	3.17105
1978	79.67	41.98	5.57	1	13.9	21.19	17.93	3.25358	3.25658
1978	78.58	42.87	6.29	-15	15	22.28	18.96	3.32595	3.32895
1978	78.53	42.87	4.51	-20	12.3	19.41	16.26	3.14832	3.15132
1978	75.3	41.27	4.58	1	12.4	19.52	16.37	3.15489	3.15789
1978	79.4	41.65	4.71	1	12.6	19.76	16.59	3.16805	3.17105

1432.272	1.92056	2.40E-05	2.78E+06	0.0343	0.06588	-5.87446
1432.272	1.92056	2.40E-05	2.78E+06	0.0343	0.06588	-5.87446
1432.272	1.92056	2.40E-05	2.78E+06	0.0343	0.06588	-5.87446
1432.272	1.92056	2.40E-05	2.78E+06	0.0343	0.06588	-5.87446
1024.771	2.68428	1.71E-05	3.89E+06	0.01756	0.04714	-1.26929
1220.004	2.25472	2.04E-05	3.27E+06	0.02489	0.05612	-3.57187
1220.004	2.25472	2.04E-05	3.27E+06	0.02489	0.05612	-3.57187
1432.272	1.92056	2.40E-05	2.78E+06	0.0343	0.06588	-5.87446
1324.009	2.07761	2.21E-05	3.01E+06	0.02931	0.0609	-4.72317
1220.004	2.25472	2.04E-05	3.27E+06	0.02489	0.05612	-3.57187
1220.004	2.25472	2.04E-05	3.27E+06	0.02489	0.05612	-3.57187
1432.272	1.92056	2.40E-05	2.78E+06	0.0343	0.06588	-5.87446
1220.004	2.25472	2.04E-05	3.27E+06	0.02489	0.05612	-3.57187
1432.272	1.92056	2.40E-05	2.78E+06	0.0343	0.06588	-5.87446
1432.272	1.92056	2.40E-05	2.78E+06	0.0343	0.06588	-5.87446
1220.004	2.25472	2.04E-05	3.27E+06	0.02489	0.05612	-3.57187
1432.272	1.92056	2.40E-05	2.78E+06	0.0343	0.06588	-5.87446
1220.004	2.25472	2.04E-05	3.27E+06	0.02489	0.05612	-3.57187
1432.272	1.92056	2.40E-05	2.78E+06	0.0343	0.06588	-5.87446
1220.004	2.25472	2.04E-05	3.27E+06	0.02489	0.05612	-3.57187
1432.272	1.92056	2.40E-05	2.78E+06	0.0343	0.06588	-5.87446
1544.795	1.78067	2.58E-05	2.58E+06	0.03991	0.07106	-7.02575
1324.009	2.07761	2.21E-05	3.01E+06	0.02931	0.0609	-4.72317
1024.771	2.68428	1.71E-05	3.89E+06	0.01756	0.04714	-1.26929
1544.795	1.78067	2.58E-05	2.58E+06	0.03991	0.07106	-7.02575
1410.279	1.95051	2.36E-05	2.83E+06	0.03326	0.06487	-5.6442
1432.272	1.92056	2.40E-05	2.78E+06	0.0343	0.06588	-5.87446
1614.353	1.70394	2.70E-05	2.47E+06	0.04358	0.07426	-7.71653
1567.811	1.75453	2.62E-05	2.54E+06	0.0411	0.07212	-7.25601
1024.771	2.68428	1.71E-05	3.89E+06	0.01756	0.04714	-1.26929
1024.771	2.68428	1.71E-05	3.89E+06	0.01756	0.04714	-1.26929
1281.896	2.14586	2.14E-05	3.11E+06	0.02748	0.05897	-4.26265
1302.866	2.11132	2.18E-05	3.06E+06	0.02839	0.05993	-4.49291
1432.272	1.92056	2.40E-05	2.78E+06	0.0343	0.06588	-5.87446
1388.456	1.98117	2.32E-05	2.87E+06	0.03224	0.06387	-5.41394
1261.094	2.18125	2.11E-05	3.16E+06	0.02659	0.05801	-4.03239
1179.594	2.33196	1.97E-05	3.38E+06	0.02327	0.05426	-3.11136
1614.353	1.70394	2.70E-05	2.47E+06	0.04358	0.07426	-7.71653
1302.866	2.11132	2.18E-05	3.06E+06	0.02839	0.05993	-4.49291
1302.866	2.11132	2.18E-05	3.06E+06	0.02839	0.05993	-4.49291
1614.353	1.70394	2.70E-05	2.47E+06	0.04358	0.07426	-7.71653
1614.353	1.70394	2.70E-05	2.47E+06	0.04358	0.07426	-7.71653
1544.795	1.78067	2.58E-05	2.58E+06	0.03991	0.07106	-7.02575
1521.95	1.8074	2.55E-05	2.62E+06	0.03874	0.07001	-6.79549
1240.464	2.21753	2.07E-05	3.22E+06	0.02573	0.05706	-3.80213
1024.771	2.68428	1.71E-05	3.89E+06	0.01756	0.04714	-1.26929
1590.997	1.72896	2.66E-05	2.51E+06	0.04233	0.07319	-7.48627
1567.811	1.75453	2.62E-05	2.54E+06	0.0411	0.07212	-7.25601
1521.95	1.8074	2.55E-05	2.62E+06	0.03874	0.07001	-6.79549

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1979	77.4	41.98	5.17	-25	13.3	20.54	17.33	3.21411	3.21711	1366.803	2.01256	2.29E-05	2.92E+06	0.03124	0.06287	-5.18368
1979	79.05	42.15	4.71	1	12.6	19.76	16.59	3.16805	3.17105	1521.95	1.8074	2.55E-05	2.62E+06	0.03874	0.07001	-6.79549
1979	77	45	5.63	-40	14	21.29	18.03	3.26016	3.26316	1220.004	2.25472	2.04E-05	3.27E+06	0.02489	0.05612	-3.57187
1980	75.07	41.17	4.58	1	12.4	19.52	16.37	3.15489	3.15789	1567.811	1.75453	2.62E-05	2.54E+06	0.0411	0.07212	-7.25601
1980	77.5	41.77	5.37	-20	13.6	20.87	17.64	3.23384	3.23684	1302.866	2.11132	2.18E-05	3.06E+06	0.02839	0.05993	-4.49291
1980	79.13	44.27	4.58	-10	12.4	19.52	16.37	3.15489	3.15789	1567.811	1.75453	2.62E-05	2.54E+06	0.0411	0.07212	-7.25601
1982	79.8	43.05	4.38	1	12.1	19.17	16.03	3.13516	3.13816	1637.88	1.67947	2.74E-05	2.44E+06	0.04486	0.07534	-7.94678
1982	77.37	42.87	5.43	-18	13.7	20.98	17.74	3.24042	3.24342	1281.896	2.14586	2.14E-05	3.11E+06	0.02748	0.05897	-4.26265
1983	79.15	42.75	4.38	1	12.1	19.17	16.03	3.13516	3.13816	1637.88	1.67947	2.74E-05	2.44E+06	0.04486	0.07534	-7.94678
1983	77.42	42.02	4.78	-25	12.7	19.87	16.7	3.17463	3.17763	1499.275	1.83473	2.51E-05	2.66E+06	0.03759	0.06897	-6.56523
1984	79.42	44.1	5.5	-40	13.8	21.08	17.83	3.247	3.25	1261.094	2.18125	2.11E-05	3.16E+06	0.02659	0.05801	-4.03239
1984	79.32	44.25	4.38	1	12.1	19.17	16.03	3.13516	3.13816	1637.88	1.67947	2.74E-05	2.44E+06	0.04486	0.07534	-7.94678
1986	77.38	43.1	4.78	-18	12.7	19.87	16.7	3.17463	3.17763	1499.275	1.83473	2.51E-05	2.66E+06	0.03759	0.06897	-6.56523
1986	78.2	44	4.78	-20	12.7	19.87	16.7	3.17463	3.17763	1499.275	1.83473	2.51E-05	2.66E+06	0.03759	0.06897	-6.56523
1986	78.18	43.88	4.58	-10	12.4	19.52	16.37	3.15489	3.15789	1567.811	1.75453	2.62E-05	2.54E+06	0.0411	0.07212	-7.25601
1986	78.6	41.03	4.45	1	12.2	19.29	16.15	3.14174	3.14474	1614.353	1.70394	2.70E-05	2.47E+06	0.04358	0.07426	-7.71653
1986	78	43.28	4.58	-13	12.4	19.52	16.37	3.15489	3.15789	1567.811	1.75453	2.62E-05	2.54E+06	0.0411	0.07212	-7.25601
1986	77	41.78	4.45	-10	12.2	19.29	16.15	3.14174	3.14474	1614.353	1.70394	2.70E-05	2.47E+06	0.04358	0.07426	-7.71653
1987	79.17	41.4	6.49	1	15.3	22.56	19.22	3.34568	3.34868	969.523	2.83724	1.62E-05	4.11E+06	0.01572	0.0446	-0.57851
1987	79.18	41.45	5.04	1	13.1	20.32	17.12	3.20095	3.20395	1410.279	1.95051	2.36E-05	2.83E+06	0.03326	0.06487	-5.6442
1987	79.17	41.42	4.84	1	12.8	19.99	16.8	3.18121	3.18421	1476.77	1.86269	2.47E-05	2.70E+06	0.03647	0.06793	-6.33497
1988	79.63	44.57	4.51	1	12.3	19.41	16.26	3.14832	3.15132	1590.997	1.72896	2.66E-05	2.51E+06	0.04233	0.07319	-7.48627
1988	77.42	43	5.24	-15	13.4	20.65	17.43	3.22068	3.22368	1345.32	2.04469	2.25E-05	2.96E+06	0.03027	0.06188	-4.95342
1990	76.83	42.92	4.45	-13	12.2	19.29	16.15	3.14174	3.14474	1614.353	1.70394	2.70E-05	2.47E+06	0.04358	0.07426	-7.71653
1990	78.88	44.72	4.84	1	12.8	19.99	16.8	3.18121	3.18421	1476.77	1.86269	2.47E-05	2.70E+06	0.03647	0.06793	-6.33497
1990	77.93	42.93	6.03	-18	14.6	21.9	18.6	3.29963	3.30263	1100.82	2.49884	1.84E-05	3.62E+06	0.02026	0.05064	-2.19032
1993	75.9	41.33	4.58	1	12.4	19.52	16.37	3.15489	3.15789	1567.811	1.75453	2.62E-05	2.54E+06	0.0411	0.07212	-7.25601
1993	78.77	44.82	6.29	-20	15	22.28	18.96	3.32595	3.32895	1024.771	2.68428	1.71E-05	3.89E+06	0.01756	0.04714	-1.26929
1996	77.45	41.95	5.11	-5	13.2	20.43	17.23	3.20753	3.21053	1388.456	1.98117	2.32E-05	2.87E+06	0.03224	0.06387	-5.41394
1996	78.13	42.8	4.45	-18	12.2	19.29	16.15	3.14174	3.14474	1614.353	1.70394	2.70E-05	2.47E+06	0.04358	0.07426	-7.71653
1996	77.98	43	4.38	-13	12.1	19.17	16.03	3.13516	3.13816	1637.88	1.67947	2.74E-05	2.44E+06	0.04486	0.07534	-7.94678
1997	75.77	41.33	4.64	1	12.5	19.64	16.48	3.16147	3.16447	1544.795	1.78067	2.58E-05	2.58E+06	0.03991	0.07106	-7.02575
1997	79.63	41.92	5.04	1	13.1	20.32	17.12	3.20095	3.20395	1410.279	1.95051	2.36E-05	2.83E+06	0.03326	0.06487	-5.6442
1997	79.8	44.78	4.38	-18	12.1	19.17	16.03	3.13516	3.13816	1637.88	1.67947	2.74E-05	2.44E+06	0.04486	0.07534	-7.94678
1998	75.5	41.35	5.3	1	13.5	20.76	17.54	3.22726	3.23026	1324.009	2.07761	2.21E-05	3.01E+06	0.02931	0.0609	-4.72317
1998	77.72	41.5	4.71	1	12.6	19.76	16.59	3.16805	3.17105	1521.95	1.8074	2.55E-05	2.62E+06	0.03874	0.07001	-6.79549
1999	76.58	41.3	4.84	1	12.8	19.99	16.8	3.18121	3.18421	1476.77	1.86269	2.47E-05	2.70E+06	0.03647	0.06793	-6.33497
1999	76.27	42.68	4.71	-15	12.6	19.76	16.59	3.16805	3.17105	1521.95	1.8074	2.55E-05	2.62E+06	0.03874	0.07001	-6.79549
2000	77.05	42.2	4.71	1	12.6	19.76	16.59	3.16805	3.17105	1521.95	1.8074	2.55E-05	2.62E+06	0.03874	0.07001	-6.79549
2001	79.08	42.15	4.38	1	12.1	19.17	16.03	3.13516	3.13816	1637.88	1.67947	2.74E-05	2.44E+06	0.04486	0.07534	-7.94678
2004	75.25	42.47	4.38	-8	12.1	19.17	16.03	3.13516	3.13816	1637.88	1.67947	2.74E-05	2.44E+06	0.04486	0.07534	-7.94678
2005	79	41.87	4.38	-25	12.1	19.17	16.03	3.13516	3.13816	1637.88	1.67947	2.74E-05	2.44E+06	0.04486	0.07534	-7.94678
2005	79.18	41.8	5.83	-5	14.3	21.6	18.32	3.2799	3.28289	1159.645	2.37208	1.94E-05	3.44E+06	0.02249	0.05334	-2.8811
2005	79.18	41.67	4.97	-30	13	20.21	17.02	3.19437	3.19737	1432.272	1.92056	2.40E-05	2.78E+06	0.0343	0.06588	-5.87446
2005	78.68	41.53	4.91	-5	12.9	20.1	16.91	3.18779	3.19079	1454.436	1.89129	2.43E-05	2.74E+06	0.03537	0.0669	-6.10472
2006	78.55	44.27	4.38	-10	12.1	19.17	16.03	3.13516	3.13816	1637.88	1.67947	2.74E-05	2.44E+06	0.04486	0.07534	-7.94678
2006	75.33	42.57	4.64	-15	12.5	19.64	16.48	3.16147	3.16447	1544.795	1.78067	2.58E-05	2.58E+06	0.03991	0.07106	-7.02575
2006	76.07	42.02	5.57	-10	13.9	21.19	17.93	3.25358	3.25658	1240.464	2.21753	2.07E-05	3.22E+06	0.02573	0.05706	-3.80213

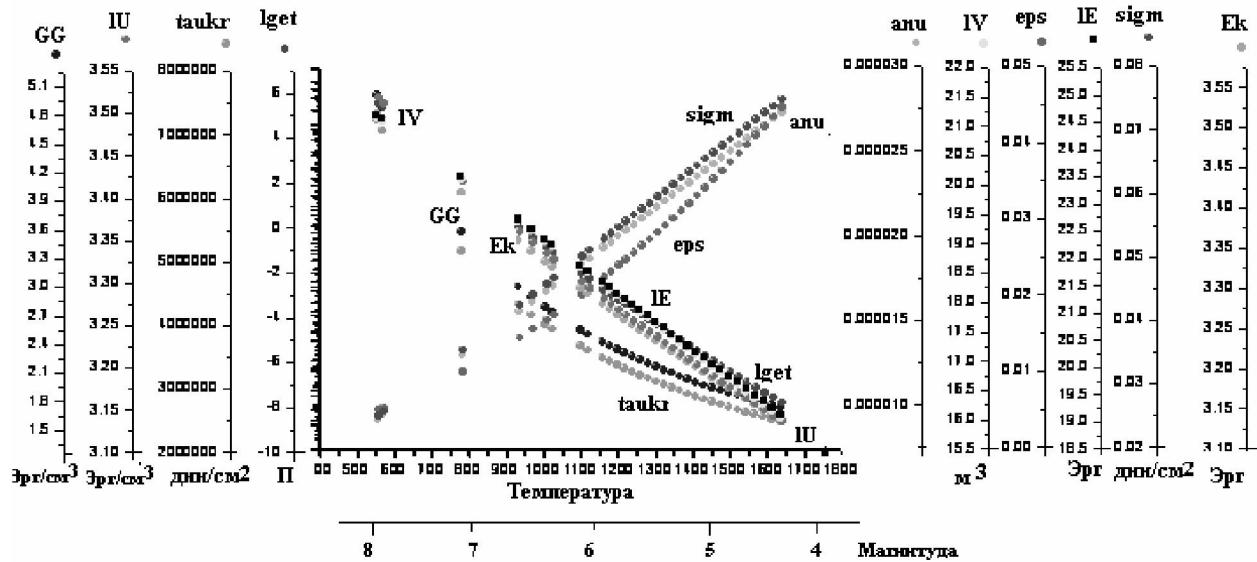


Рис. 3. Соотношение физических параметров очагов землетрясений с $K \geq 12.1$ ($N=135$)

для территории $41-45^{\circ}\text{N}$, $75-80^{\circ}\text{E}$ с 1800-2007 гг

IE – логарифм энергии сейсмических волн; lget – логарифм вязкости; GG – объемный модуль упругости; taukr – эффективные касательные напряжения; anu – коэффиц. теплового объемного расширения; eps – деформация объема; sigm – эффект нормальное напряжение; IU – логарифм плотности потенциальной энергии; IV - логарифм критического объема очага; Ek – удельная энергия формы очага от $T(\text{K})$ температуры

дования. В каждом очаге с $K \geq 12.1$ рассчитаны численные значения параметров (таблица 1). Сейсмические события с температурами более 1800 градусов в очагах и магнитудами, не превышающими $M \leq 3.0$, как можно видеть из таблицы 1, отсутствуют.

Далее анализируются численные соотношения физических параметров в очагах землетрясений с $K \geq 12.1$ ($N=135$) (Рис.3). Как можно видеть из диаграммы увеличение значений β_n (anu) с ростом температур вызвано тем, что ориентировки максимального теплового расширения и максимальной сжимаемости обычно близки [2]. Параметры логарифма энергии IE и логарифма объема IV линейно зависят от температуры. С ростом температуры T эти параметры IE и IV уменьшаются и соответственно - падает магнитуда. Это же можно сказать и о логарифме плотности потенциальной энергии IU , линейно зависящем от температуры .

Одновременно изменение температуры и давления в единице объема приводит к частичному взаимному ослаблению их воздействия, что определяет параметр β_n (anu), как среднее значение коэффициента термоупругого изменения объема.

Изменение деформации e (eps), объемного модуля упругости GG и нормальной компоненты эффективных напряжений γ (sigm) в очаге землетрясений определяются по уравнениям (1.1-1.10) [1,2] с подстановкой полученных значений anu и соответствующих температур $T(\text{K})$. Деформация объема рассчитывается по уравнению (обозначения переменных на диаграмме рис.3): $\text{eps} \sim \text{anu} * T(\text{K}) / [T(\text{K})] / (7733\text{K})^2$. Объемный модуль упругости GG определяется по уравнению: $\text{GG} \sim k / V * \text{anu} \sim (1.38 * 10^{-16} \text{Эрг}/\text{К}) / (3 * 10^{-23} \text{см}^3 * \text{anu} \text{K}^{-1})$, где k – постоянная Больцмана: $k = 1.38 * 10^{-16} \text{Эрг}/\text{К}$; $V = 3 * 10^{-23}$ – объем, приходящийся на один атом [2]. В результате прогрева частицы тела очага подвергаются действию нормальной компоненты эффективных (внутренних) напряжений: $\text{sigm} \sim \text{eps} * \text{GG}$. Далее выполнялось последовательное вычисление физических параметров по методике расчета.

Анализ результатов. Получены численные соотношения реологических и термодинамических параметров, которые характеризуют физические условия среды в земной коре, когда происходят сильные землетрясения.

С увеличением значения температуры T , коэффициента теплового объемного расширения

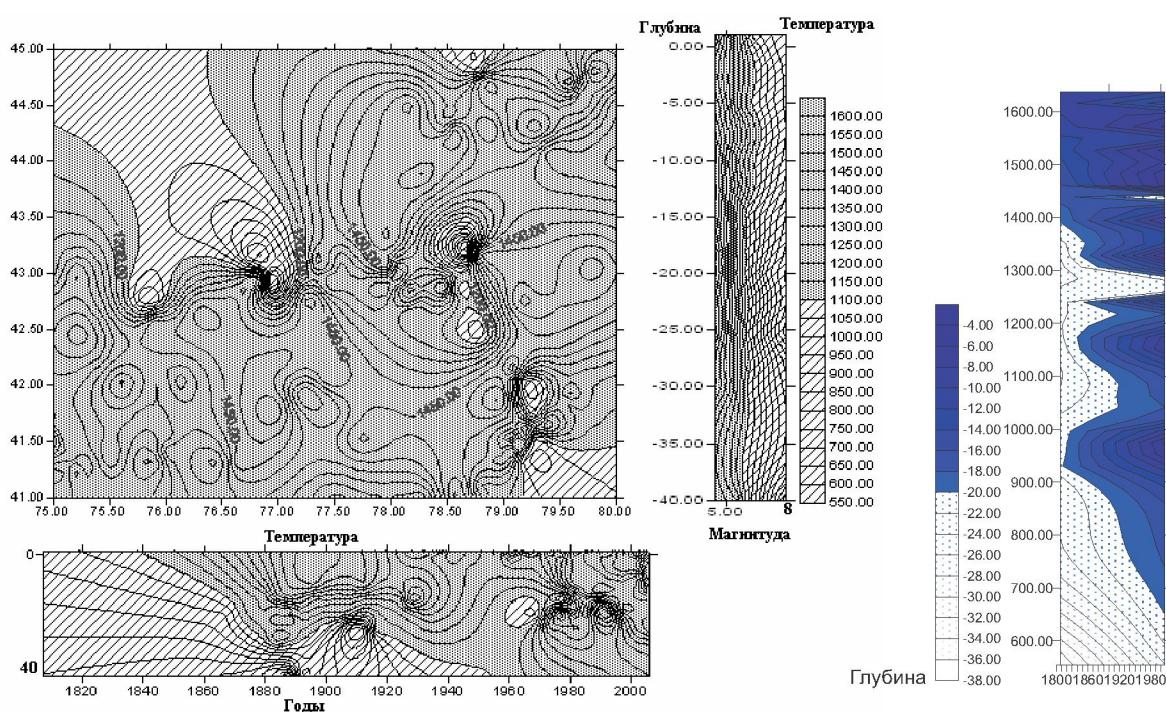


Рис. 4. Распределение температуры по глубине, по времени и по площади сейсмоактивного региона $41\text{--}45^{\circ}\text{N}$, $75\text{--}80^{\circ}\text{E}$, для землетрясений с $K \geq 12.1$ ($N=135$) с 1800-2007 гг.

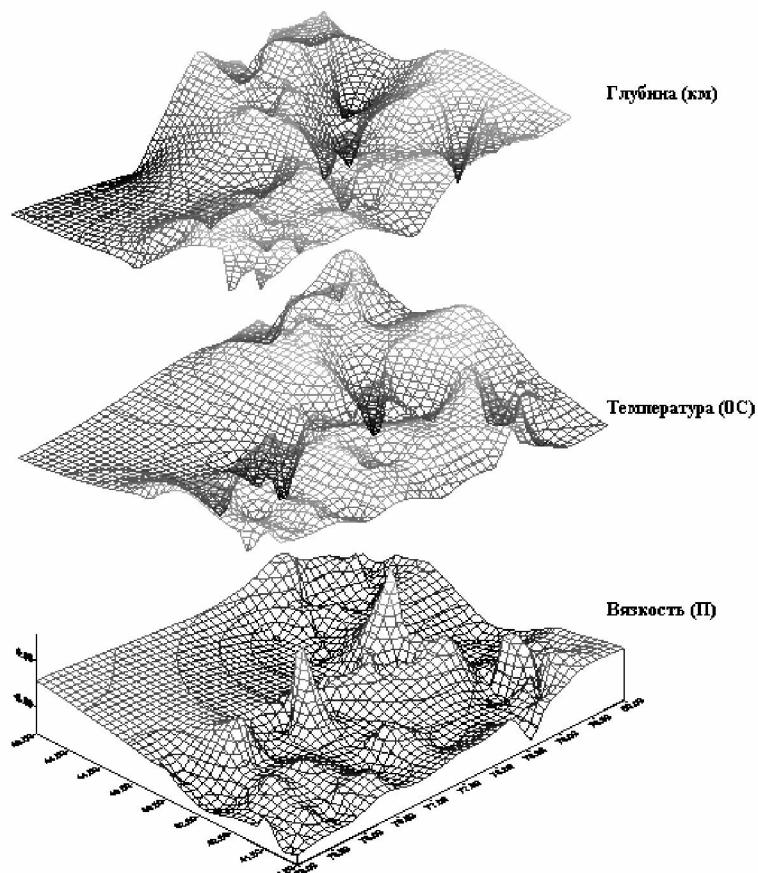


Рис. 5. Объемное распределение некоторых физических параметров в очагах землетрясений: глубины, температуры, вязкости на регионе $41\text{--}45^{\circ}\text{N}$, $75\text{--}80^{\circ}\text{E}$ для землетрясений с $K \geq 12.1$ с 1800-2007 гг.

anu , деформации объема eps и нормальных эффективных напряжений sigm уменьшаются величины магнитуд M , вязкости lget , объемного модуля упругости GG и касательных эффективных напряжений taukr (Рис.3). В результате все рассчитанные термодинамические параметры и соответствующие им магнитуды можно разделить на две группы.

К первой группе можно отнести очаги землетрясений с магнитудами $5.0 \leq M \leq 8.2$, температурами в очагах в нашем случае $554 \leq T^{\circ}\text{C} \leq 1410$, энергией сейсмических волн $10^{20.32} \leq E \leq 10^{24.67}$ Эрг, логарифмом вязкости $-5.64 \cdot 10^{20} \leq \text{lget} \leq -5.4 \cdot 10^{25}$ пузаз, объемным модулем упругости $1.96 \cdot 10^{11} \leq \text{GG} \leq 4.95 \cdot 10^{11}$ дин/см², касательными эффективными напряжениями $2.83 \cdot 10^6 \leq \text{taukr} \leq 7.19 \cdot 10^6$ дин/см², нормальными эффективными напряжениями $2.5 \cdot 10^9 \leq \text{sigm} \leq 6.5 \cdot 10^9$ дин/см², деформацией объема $5.15 \cdot 10^{-3} \leq \text{eps} \leq 3.32 \cdot 10^{-2}$, коэффициентом теплового объемного расширения (точнее, коэффициентом термоупругого изменения объема) $9.28 \cdot 10^{-6} \leq \text{anu} \leq 2.36 \cdot 10^{-5}$ К. Эта группа физических параметров характеризует относительно **упругую** часть земной коры.

Ко второй группе относятся землетрясения с магнитудами в выделенном регионе $4.38 \leq M \leq 4.97$, температурами в очагах $1432 \leq T^{\circ}\text{C} \leq 1637$, энергией сейсмических волн $10^{19.17} \leq E \leq 10^{20.21}$ Эрг, логарифмом вязкости $-7.95 \cdot 10^{20} \leq \text{lgett} \leq -5.87 \cdot 10^{16}$ пузаз, объемным модулем упругости $1.68 \cdot 10^{11} \leq \text{GG} \leq 1.92 \cdot 10^{11}$ дин/см², касательными эффективными напряжениями $2.44 \cdot 10^6 \leq \text{taukr} \leq 2.78 \cdot 10^6$ дин/см², эффективными нормальными напряжениями $0.0659 \cdot 10^9 \leq \text{sigm} \leq 0.075 \cdot 10^9$ дин/см², деформацией объема $3.43 \cdot 10^{-2} \leq \text{eps} \leq 4.48 \cdot 10^{-2}$, коэффициентом теплового

объемного расширения $2.4 \cdot 10^{-5} \leq \text{anu} \leq 2.74 \cdot 10^{-5}$ К⁻¹. Соответственно эта группа характеризует **упруго-вязкую** часть земной коры.

Помимо плоскостного представления взаимосвязи температуры с глубиной и магнитудой на рис.4, построены объемные распределения температуры, вязкости и глубины на регионе исследования (рис.5). Как можно видеть на рисунке 5, выделяются зоны с низкими показателями температуры и высокими значениями вязкости в виде пиков.

Таким образом, применение расчетных формул (1.1-1.10) из [2] дало возможность построить карты и графики распределения температуры по глубине по времени, по площади, по объему вязкости и температуры сейсмоактивного региона Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий, установить характер проявления сейсмической активности на разных уровнях земной коры с учетом сейсмичности, физического состояния и геологического строения региона. По соотношению полученных значений термодинамических и реологических параметров установлены группы физических параметров, характеризующих относительно **упругую** часть земной коры и соответственно - группу, характеризующую **упруго-вязкую** часть земной коры указанного региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курскеев А.К. Землетрясения и сейсмическая безопасность Казахстана.-Алматы.-2004.-504с.
2. Тулиани Л.И. Сейсмичность и сейсмическая опасность: на основе термодинамических и геологических параметров тектоносферы.-М.: Научный мир.-1999.-216 с.
3. Тулиани Л.И. О связи сейсмичности с физическими параметрами тектоносферы // Доклады Академии Наук.-1996.-Т.350, N 6, с.824-827.