

- при установке закладочных пакетов вразбежку

$$m_{\text{эф}} = m_i - \frac{a_i d_i H_{\Pi} K_y}{(a_i + b_i)(d_i + c_i)}; \quad (2)$$

- при установке закладочных пакетов в шахматном порядке

$$m_{\text{эф}} = m_i - \frac{2a_i d_i H_{\Pi} K_y}{(a_i + b_i)(d_i + c_i)}, \quad (3)$$

где m_i – мощность пласта, м; K_y – коэффициент усадки пород закладочного материала; a_i – ширина пакета, м; H_{Π} – высота закладочного пакета, м; b_i – расстояние между соседними рядами пакетов, м; d_i – длина пакета, м; c_i – расстояние между соседними пакетами параллельно забою, м.

При сплошной закладке выработанного пространства величина b_i будет равна 0.

В результате установлены закономерности изменения эффективной мощности пласта от его вынимаемой мощности, габаритов и плотности установки закладочных пакетов, а также от коэффициента усадки закладочного материала, позволяющие обосновывать схемы установки закладочных пакетов в выработанных пространствах и таким образом наиболее рационально решать проблему безотходного, экологически безопасного производства, связанного с использованием пустых пород в качестве закладочного материала.

A.B. Kopilov, A.E. Harlamov, E.A. Mashintsev

SOLVING ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF MINING WITH USING COMPLEX ANALYZING RATIONAL MINING TECHNOLOGY

Questions of solving of environmental problems for mining with using complex analyzing rational mining technology are considered.

Key words: environmental safety industry, mining technologies, effective capacity.

Почено 24.11.11

УДК 624.131.431.2.433-047.43

С.В. Семашко, канд. геол.-минер. наук, доц., (4872) 35-20-41

(Россия, Тула, ТулГУ)

ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРИСТОСТИ И ПРОНИЦАЕМОСТИ В НИЖНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ В ОЧАГОВОЙ ЗОНЕ РАЧИНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 29.04.91 г.

На основании определений добротности литосферы в очаговой зоне Рачинского землетрясения проведены оценки значений и распределения пористости и проницаемости в интервале глубин 20...120 км.

Ключевые слова: добротность, пористость, проницаемость, распределение пористости по глубине, Земная кора, верхняя мантия.

Оценка распределения пористости в Земной коре и верхней мантии в очаговой зоне Рачинского землетрясения (29.04.1991 г., $M \approx 7,0$) стала возможной благодаря результатам специализированной обработки сейсмограмм, полученных при регистрации близких афтершоков (< 35 км) [1]. Одним из наиболее значимых результатов этой обработки следует признать количественную оценку поглощения поперечных волн в интервале глубин от 20 до 130 км. Оценка поглощения проведена на основе использования добротности – параметра, который характеризует потери энергии поперечных волн при их распространении в Земной коре и мантии. Анализ распределения добротности в исследованном объеме земной коры и верхней мантии позволил установить, что большей части очаговой зоны соответствует пониженное поглощение [1]. Области высокого поглощения представляют ряд сравнительно мелких фрагментов, которые выстраиваются в три субпараллельные полосы шириной в несколько километров. Эти полосы весьма похожи на следы левостороннего ряда кулис, ориентированных в северо-западном направлении» [1].

Распределение добротности по глубине в узких полосах (соответствующих кулисам) и вмещающих их породах рассмотрено на примере двух профилей. Первый профиль (А-А') проходит через эпицентр Рачинского землетрясения и двух афтершоков с $M > 6,0$, а другой (Б-Б') расположен на западном участке очаговой зоны. Для перехода от значений добротности к количественной оценке пористости воспользуемся соотношением [2]

$$f = 47,1 \cdot \left(\frac{1}{Q} \right)^{\frac{2}{3}}, \% . \quad (1)$$

Оценку модуля Юнга и проницаемости проведем, используя соотношение [3]

$$E = \frac{\sigma [3(1 - 2\nu)]}{f} \text{ и } K = 65,6 \left(\frac{T}{E} \right)^2, \quad (2)$$

где E – модуль Юнга; σ – эффективное всестороннее давление; ν – коэффициент Пуассона; f – пористость; K – проницаемость.

Значения эффективного всестороннего давления найдем, используя соотношение [4]

$$\sigma = P - aP, \quad (3)$$

где P – литостатическое давление, обусловленное весом вышележащих пород; a – коэффициент, изменение которого находится в пределах 0,85...0,95 [4].

Результаты оценки изменения с глубиной пористости, модуля Юнга и проницаемости на профилях А-А' и Б-Б' (за исключением зон кулис)

приведены в табл. 1 и 2. Оценки изменения с глубиной пористости, модуля Юнга и проницаемости в зонах кулис, расположенных в пределах профилей А-А' и Б-Б,' приведены в табл. 3 и 4.

Отметим, что расчет эффективного всестороннего давления на разных глубинах (значение которого необходимо для проведения оценок с использованием соотношений (1), (2) и (3)) проводился при объемном весе одного кубического метра пород, принятом постоянным и равным 2700 кг во всем исследованном интервале глубин.

Согласно [4] примем, что в рассматриваемых интервалах глубин проницаемость при процессах:

- метасоматоза находится в пределах от $6,3 \cdot 10^{-18}$ до $7,9 \cdot 10^{-16}$ м²;
- контактового метаморфизма – от $1 \cdot 10^{-19}$ до $4 \cdot 10^{-17}$ м²;
- регионального метаморфизма – от $1,8 \cdot 10^{-21}$ до $3,55 \cdot 10^{-18}$ м².

В соответствии с результатами расчетов, представленных в табл. 1 – 4, нижняя часть Земной коры (от 20 км до границы Мохо) в рассматриваемом районе по значениям проницаемости соответствует зонам контактового и регионального метаморфизма (фоновый метаморфизм).

Таблица 1

**Оценки пористости, проницаемости и модуля Юнга
(профиль А-А')**

Н, км	f, %	E ₁ , н/м ²	E ₂ , н/м ²	K ₁ , м ²	K ₂ , м ²	Примечание
20 45	0,8	5,1·10 ⁹ 1,1·10 ¹⁰	1,5·10 ¹⁰ 3,4·10 ¹⁰	2,6·10 ⁻¹⁸ 5,2·10 ⁻¹⁹	2,8·10 ⁻¹⁹ 5,8·10 ⁻²⁰	Земная кора (нижняя часть) Контактный и региональный метаморфизм
45 60	6,4	1,4·10 ⁹ 1,9·10 ⁹	4,2·10 ⁹ 5,7·10 ⁹	3,3·10 ⁻¹⁷ 1,8·10 ⁻¹⁷	3,7·10 ⁻¹⁸ 2,0·10 ⁻¹⁸	Верхняя мантия Метасоматические процессы
60 80	0,5	2,4·10 ¹⁰ 3,2·10 ¹⁰	7,3·10 ¹⁰ 9,7·10 ¹⁰	1,1·10 ⁻¹⁹ 6,2·10 ⁻²⁰	1,2·10 ⁻²⁰ 6,9·10 ⁻²¹	- Региональный метаморфизм
80 130	3,1	5,2·10 ⁹ 8,5·10 ⁹	1,6·10 ¹⁰ 2,6·10 ¹⁰	2,4·10 ⁻¹⁸ 9,0·10 ⁻¹⁹	2,7·10 ⁻¹⁹ 1,0·10 ⁻¹⁹	- Контактный и региональный метаморфизм

Таблица 2

**Оценки пористости, проницаемости и модуля Юнга
(профиль Б - Б')**

Н, км	f, %	E ₁ , н/м ²	E ₂ , н/м ²	K ₁ , м ²	K ₂ , м ²	Примечание
20 30	0,8	5,1·10 ⁹ 7,7·10 ⁹	1,5·10 ¹⁰ 2,3·10 ¹⁰	2,6·10 ⁻¹⁸ 1,1·10 ⁻¹⁸	2,8·10 ⁻¹⁹ 1,2·10 ⁻¹⁹	Земная кора (нижняя часть) Контактный и региональный метаморфизм
30 45	2,1	2,9·10 ⁹ 4,6·10 ⁹	8,8·10 ⁹ 1,4·10 ¹⁰	7,6·10 ⁻¹⁸ 3,0·10 ⁻¹⁸	8,5·10 ⁻¹⁹ 3,4·10 ⁻¹⁹	- Контактный и региональный метаморфизм
45 100	0,5	1,8·10 ¹⁰ 4,1·10 ¹⁰	5,4·10 ¹⁰ 1,2·10 ¹¹	2,0·10 ⁻¹⁹ 4,0·10 ⁻²⁰	2,2·10 ⁻²⁰ 4,4·10 ⁻²¹	Верхняя мантия Региональный метаморфизм
100 130	4,9	4,1·10 ⁹ 5,4·10 ⁹	1,2·10 ¹⁰ 1,6·10 ¹⁰	3,8·10 ⁻¹⁸ 2,3·10 ⁻¹⁸	4,3·10 ⁻¹⁹ 2,5·10 ⁻¹⁹	- Контактный и региональный метаморфизм

При этом в зонах кулис могут протекать метасоматические процессы.

Таблица 3
Оценки пористости, проницаемости и модуля Юнга
в зоне кулис (профиль А-А')

Н км	f %	E_1 н/м ²	E_2 н/м ²	K_1 м ²	K_2 м ²	Примечание
20 45	4,0	$1,0 \cdot 10^9$ $2,3 \cdot 10^9$	$3,0 \cdot 10^9$ $6,8 \cdot 10^9$	$6,4 \cdot 10^{-17}$ $1,3 \cdot 10^{-17}$	$7,4 \cdot 10^{-18}$ $1,4 \cdot 10^{-18}$	Земная кора (нижняя часть) Метасоматические процессы. Контактный и ре- гиональный мета- морфизм
45 55	0,8	$1,1 \cdot 10^{10}$ $1,4 \cdot 10^{10}$	$3,4 \cdot 10^{10}$ $4,2 \cdot 10^{10}$	$5,2 \cdot 10^{-19}$ $3,4 \cdot 10^{-19}$	$5,8 \cdot 10^{-20}$ $3,8 \cdot 10^{-20}$	Верхняя мантия Контактный и ре- гиональный мета- морфизм
55 85	3,1	$3,6 \cdot 10^9$ $5,6 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^{10}$ $1,7 \cdot 10^{10}$	$5,1 \cdot 10^{-18}$ $2,1 \cdot 10^{-18}$	$5,7 \cdot 10^{-19}$ $2,4 \cdot 10^{-19}$	- Контактный и ре- гиональный мета- морфизм
85 120	0,5	$3,5 \cdot 10^{10}$ $9,9 \cdot 10^{10}$	$1,0 \cdot 10^{11}$ $1,5 \cdot 10^{11}$	$5,5 \cdot 10^{-20}$ $2,8 \cdot 10^{-20}$	$6,1 \cdot 10^{-21}$ $3,1 \cdot 10^{-21}$	- Региональный мета- морфизм

Таблица 4
Оценки пористости, проницаемости и модуля Юнга
в зоне кулис (профиль Б - Б')

Н, км	f, %	E_1 , н/м ²	E_2 , н/м ²	K_1 , м ²	K_2 , м ²	Примечание
20 30	4,9	$8,3 \cdot 10^8$ $1,3 \cdot 10^9$	$2,5 \cdot 10^9$ $3,8 \cdot 10^9$	$9,6 \cdot 10^{-17}$ $4,2 \cdot 10^{-17}$	$1,1 \cdot 10^{-17}$ $4,6 \cdot 10^{-18}$	Земная кора (нижняя часть) Метасоматические процессы
30 45	0,5	$1,2 \cdot 10^{10}$ $1,8 \cdot 10^{10}$	$3,7 \cdot 10^{10}$ $5,4 \cdot 10^{10}$	$4,3 \cdot 10^{-19}$ $2,0 \cdot 10^{-19}$	$4,8 \cdot 10^{-20}$ $2,2 \cdot 10^{-20}$	- Контактный и ре- гиональный мета- морфизм
45 60	2,8	$3,2 \cdot 10^9$ $4,3 \cdot 10^9$	$9,6 \cdot 10^9$ $1,3 \cdot 10^{10}$	$6,3 \cdot 10^{-18}$ $3,5 \cdot 10^{-18}$	$7,1 \cdot 10^{-19}$ $3,9 \cdot 10^{-19}$	Верхняя мантия Контактный и ре- гиональный мета- морфизм
60 70	0,5	$2,4 \cdot 10^{10}$ $2,8 \cdot 10^{10}$	$7,3 \cdot 10^{10}$ $8,5 \cdot 10^{10}$	$1,1 \cdot 10^{-19}$ $8,2 \cdot 10^{-20}$	$1,2 \cdot 10^{-20}$ $9,1 \cdot 10^{-21}$	- Региональный мета- морфизм
70 110	2,9	$4,9 \cdot 10^9$ $7,7 \cdot 10^9$	$1,5 \cdot 10^{10}$ $2,3 \cdot 10^{10}$	$2,7 \cdot 10^{-18}$ $1,1 \cdot 10^{-18}$	$3,1 \cdot 10^{-19}$ $1,2 \cdot 10^{-19}$	- Контактный и ре- гиональный мета- морфизм

В верхней мантии только в самой верхней части (45...60 км) полученные значения проницаемости соответствуют зонам метасоматоза. Ос-

тальная часть верхней мантии соответствует зоне регионального метаморфизма.

Следовательно, участок литосферы на глубинах от 20 до 120 км, включающий в себя очаговую зону Рачинского землетрясения, может рассматриваться как зона проявления регионального и контактового метаморфизма. При этом в нижней коре и до глубины 60 км в верхней мантии могут протекать метасоматические процессы, приуроченные к зонам разуплотненных пород (повышенных значений пористости и проницаемости).

Список литературы

1. Семашко С.В. Динамические процессы и пористость в литосфере. Изв. ТулГУ. Геоинформационные технологии в решении региональных проблем. 2005. Вып. 2. С. 122-127.

2. Семашко С.В. Оценка изменений напряженного состояния глубинных зон земной коры при современных геодинамических процессах// Изв. ТулГУ. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2006. Вып. 8. С. 87-91.

3. Шмонов В.М., Витовтова В.М., Жариков А.В.. Флюидная проницаемость земной коры. М: Научный мир, 2002. 216 с.

S.V. Semashko

EVALUATING POROSITY AND PERMEABILITY DISTRIBUTION IN THE BOTTOM OF EARTH'S CRUST AND UPPER MANTLE OF RACHINSKIY EARTHQUAKE (29.4.1991) FOCAL ZONE

Evaluations of porosity and permeability values and distribution at depth interval of 20 ... 120 km with using the Q-factor of lithosphere in Rachinskiy earthquake focal zone were gotten.

Key words: Q-factor, porosity, permeability, porosity distribution by depth, Earth's crust, upper mantle.

Получено 24.11.11

УДК 624.131.431.2-047.43

С.В. Семашко, канд. геол.-минер. наук, доц., (4872) 35-20-41
(Россия, Тула, ТулГУ)

ОЦЕНКИ ПРОНИЦАЕМОСТИ И МОДУЛЯ ЮНГА В НИЗКОПОРИСТЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОДАХ ФУНДАМЕНТА

Установлены соотношения между проницаемостью, поверхностной энергией и модулем Юнга горных пород. Из анализа этих соотношений следует, что модуль