

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*

*Юнга пропорционален поверхностной энергии и обратно пропорционален корню квадратному из проницаемости горных пород.*

*Ключевые слова: вода, водные растворы, кристаллические породы, проницаемость, поверхностная энергия, модуль Юнга.*

Изучение флюидных систем Земной коры, определение их роли в геодинамических процессах различного масштаба и генезиса остается одним из основных направлений развития теоретической и практической геологии. Вездесущность воды в Земной коре отмечена В. И. Вернадским [1] в первой половине XX века: «.. **все твердое вещество земной коры проникнуто, как губка, тончайшей сетью волосных водных растворов, образующихся и восстанавливающихся стихийно и необратимо**». В настоящее время наличие флюидных систем на глубинах более 4...6 км. определяют, в основном, по результатам комплексной интерпретации сейсмических и геоэлектрических методов. При этом в земной коре выделяют сейсмические волноводы, электропроводящие зоны, участки повышенного поглощения сейсмических волн. Реальность существования глубинных флюидов в кристаллических породах фундамента на глубинах до 12 км подтверждают результаты исследований бурового раствора и керна глубоких и сверхглубоких скважин. Комплексные исследования, проведенные на основе материалов проводки Кольской сверхглубокой скважины, позволили установить не только наличие поровых вод, но и изменения их состава и концентраций во всем вскрытом 12 км разрезе [2]. При этом выявлено крайне неравномерное, «струйное» распределение концентраций элементов по глубине – высокие концентрации (в десятки, сотни раз превышающие фоновые значения) элементов чередуются с фоновыми значениями. Очевидно, что неравномерность распределения поровых растворов и их концентраций в исследуемом разрезе отражает как различия в условиях формирования и сохранности поровых растворов, так и различия в емкостно-фильтрационных свойствах пород. Отметим, что авторами работы [2] установлено, что в нижней части разреза средний уровень концентраций возрастает с глубиной в два – три раза и «.. наблюдается отчетливая связь величины концентрации элементов в поровых растворах с пористостью и прочностью пород. При этом содержание элементов растет в интервалах, где пористость повышается, а прочность понижается». Такое поведение прочностных характеристик свойственно водонасыщенным кристаллическим горным породам, находящимся в атмосферных условиях и имеющих значения пористости около одного процента. Уменьшение прочностных характеристик пород при насыщении флюидами определенного состава отмечено и при экспериментальных исследованиях, проведенных в условиях высоких температур и давлений. Поэтому наблюдаемые изменения пористости и прочностных характеристик горных пород в земных недрах позволяют предполагать, что уменьшение прочностных свойств в значительной мере обусловлено присутствием «водных растворов», о существо-

вании которых задолго до реализации программы сверхглубокого бурения писал В.И. Вернадский.

Следовательно, предположение авторов позволяет в качестве основных факторов, определяющих прочностные характеристики глубинных зон земной коры, рассматривать наличие, или отсутствие водных растворов, пористость и проницаемость горных пород.

В настоящее время наиболее обоснованные оценки проницаемости пород земной коры до границы Мохо проведены на основе [3]:

- экспериментальных определений проницаемости на образцах горных пород при высоких температурах и давлениях;
- термического моделирования и анализа метаморфических потоков.

В результате теоретического и экспериментального изучения связи проницаемости с геометрическими характеристиками и распределением трещин и микротрещин в кристаллических породах, получен ряд соотношений, позволяющих проводить количественные оценки проницаемости, используя количественные характеристики пустотного пространства. В эти соотношения обычно входят такие параметры как раскрытие и длина трещин, их количество, а также различные коэффициенты, учитывающие: распределение трещин и микротрещин и их геометрические характеристики, реологические характеристики флюидов и т.п.

Что общего на уровне физико-механических представлений между процессами деформации, разрушения и проницаемости горных пород в условиях глубинных зон? Один из наиболее очевидных ответов – участие в этих процессах микротрещин.

Известно, что трещины и микротрещины в кристаллических горных породах являются одним из проявлений процесса разрушения. В свою очередь, разрушение твердого тела связано с деформациями, поскольку разрушение происходит тогда, когда упругие деформации в определенной части твердого тела достигают некоего предела упругости, превышение которого приводит к необратимой деформации – разрушению. При этом и упругие деформации горных пород, и их максимальные (предельные) значения зависят от минерального состава, геометрических и количественных характеристик пустотного пространства горных пород.

Следовательно, пустотное пространство горных пород оказывается задействованным и при перемещении флюидов, и при упругих деформациях горных пород.

Предельные значения упругих деформаций могут быть охарактеризованы одним (или несколькими) деформационными модулями – сдвига, Юнга, объемным модулем. Рассмотрим возможность установления количественных соотношений между модулем Юнга и проницаемостью горных пород.

Количественные оценки проницаемости ( $K$ ) кристаллических горных пород с трещинным типом пористости могут быть проведены с использованием соотношения [4]

$$K = n \cdot b^3 \cdot T, \quad (1)$$

где  $n$  – численный коэффициент, равный 0,5 при произвольной ориентации трещин;  $b$  – среднее раскрытие трещин;  $T$  – количество трещин на 1 м.

Воспользуемся выведенными ранее соотношениями [5]

$$T_s = 1,57 \cdot 10^2 \cdot C \cdot E \cdot f, \quad (2)$$

где  $T_s$  – поверхностная энергия;  $C$  – полудлина трещины;  $E$  – модуль Юнга;  $f$  – пористость [6]

$$K = 0,41 \cdot 10^{-6} \cdot (l/N_0)^2 \cdot [f/(l-f)]^3, \quad (3)$$

где  $K$  – проницаемость;  $N_0$  – количество трещин на 1 см;  $f$  – пористость.

Полудлину трещины определим через среднее раскрытие трещин, для этого воспользуемся соотношением [6]:

$$b/l = 0,2 \cdot f^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

где  $b$  – среднее раскрытие трещин,  $l$  – длина трещины  $f$  – пористость.

После подстановки в соотношение (1) среднего раскрытия трещин, получим

$$b = 25,6 \cdot T_s / (E \cdot f^{1/2}), \quad (5)$$

после подстановки (4) в (2) и подстановки вместо  $T_s$  его выражения через  $N_0$ , с использованием соотношения (3), в результате получим, что проницаемость, поверхностная энергия и модуль Юнга связаны между собой соотношением

$$K = 65,6 \cdot (T_s / E)^2. \quad (6)$$

Из соотношения (6) легко получить выражение модуля Юнга через поверхностную энергию и проницаемость:

$$E = 8,1 \cdot T_s / K^{1/2}. \quad (7)$$

После подстановки в (5) выражения модуля Юнга из (7) получим

$$b = 3,16 \cdot (K / f)^{1/2}. \quad (8)$$

После подстановки в (4) выражения раскрытия трещин из (8) получим

$$l = 15,8 \cdot K^{1/2} / f. \quad (9)$$

Количество трещин  $N_0$  определим, считая, что значение проницаемости, определенное из выражения (3), равно значению проницаемости, определенному из выражения (6):

$$N_0 = 7,91 \cdot 10^{-5} \cdot (E/T_s) \cdot [f/(1-f)]^{3/2}. \quad (10)$$

Следовательно, соотношения (6) и (7) позволяют проводить оценку:

- проницаемости, используя определения (или предположения о значении) модуля Юнга и поверхностной энергии:
- оценку модуля Юнга, используя определения (или предположения о значении) проницаемости и поверхностной энергии.

### Список литературы

1. Вернадский В.И. Очерки геохимии. М.: Наука, 1983. 422 с.
2. Шмонов В.М., Витовтова В.М., Жариков А.В. Флюидная проницаемость пород Земной коры. М.: Научный Мир, 2002. 216 с.
3. Ромм Е.С. Фильтрационные свойства трещиноватых горных пород. М.: Недра, 1966, 279 с.
4. Семашко С.В. Микротрещиноватость и геодинамическая энергия. Изв. ТулГУ. Геоинформационные технологии в решении региональных проблем. 2005. Вып. 2. 212 с.

*S.V. Semashko*

#### *EVALUATING PERMEABILITY AND YOUNG MODULUS AT POOR-POROUS CRYSTAL ROCKS OF FOUNDATION*

*Relations between permeability, surface energy and Young modulus of rocks were ascertained. These relations show, that Young modulus is proportional to surface energy and inversely proportional to square root from rock permeability.*

*Key words: water, water solution, crystal rock, permeability, surface energy, Young modulus.*

Получено 24.11.11

УДК 624.131.431.2

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

### СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ФЛЮИДОВ В ЗЕМНОЙ КОРЕ

*Установлено, что в частях земной коры континентального типа, задействованных в метасоматических и метаморфических процессах, значения модуля Юнга уменьшаются в несколько раз (от 2,4 до 7,8), по сравнению с незадействованными в этих процессах частями земной коры.*

*Ключевые слова: флюиды, пористость, проницаемость, вертикальная составляющая скорости фильтрации, зоны повышенной проницаемости, сейсмические исследования, добротность, модуль Юнга, очаговая зона землетрясения, вмещающие породы, метасоматические и метаморфические процессы, изменения модуля Юнга.*