

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ
РЕСПУБЛИКИ
КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ - СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР
ПРОЕКТНО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ**

**Прогноз и предупреждение
тектонических горных ударов и
землетрясений:**

**измерение деформаций, остаточных и действующих
напряжений в горных породах**

**Материалы
Международного симпозиума**

**Forecast and prevention of tectonic rock bursts and
earthquakes: measurement of deformations, residual and
actual stresses in rocks**

Materials of International Symposium

Первый Международный симпозиум

First International Symposium

21-23 сентября, 2016

г. Бишкек

УДК 622.02; 622.831.32; 550.34;539.3

ББК 26.21

П 78

Национальная академия наук Кыргызской Республики (НАН КР)
Кыргызско - Российский - Славянский университет (КРСУ)
Институт геомеханики и освоения недр (ИГиОН)
Проектно исследовательский центр недропользования (ПИЦН)

П 78 Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений: измерение деформаций, остаточных и действующих напряжений в горных породах. Материалы Первого Международного симпозиума, г. Бишкек, 21–23 сентября 2016 г. Б.: НАН КР, 2016. – 262 с.

ISBN 978-9967-19-410-6

В сборнике материалов Международного симпозиума «Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений: измерение деформаций, остаточных и действующих напряжений в горных породах» представлены научные статьи, нацеленные на поиск новых научных решений в области снижения риска природных и техногенных катастроф, обеспечение безопасности жизнедеятельности людей живущих в сейсмоактивных регионах.

Технический редактор: Тажибаев К.Т.

П 1804030000-16

УДК 622.02; 622.831.32; 550.34;539.3

ISBN 978-9967-19-410-6

ББК 26.21

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ИНФОРМАТИВНЫЕ ПРИЗНАКИ ПОДГОТОВКИ ГОРНЫХ УДАРОВ ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ГЛУБОКИХ ШАХТАХ <i>Хачай О.А., Хачай О.Ю.</i>	4
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ 2D СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЛЯ В СЛОИСТО БЛОКОВОЙ СРЕДЕ С АНОМАЛЬНО НАПРЯЖЕННЫМ ИЕРАРХИЧЕСКИМ ВКЛЮЧЕНИЕМ <i>Хачай О.А., Хачай А.Ю.</i>	10
SEISMIC RISK ASSESSMENT AND MITIGATION IN CENTRAL ASIA <i>Stefano Parolai, Kevin Fleming</i>	15
АКУСТОПОЛЯРИСКОПИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАЛЕОНАПРЯЖЕНИЙ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ <i>Горбачев Ф.Ф.</i>	16
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗА И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ГОРНЫХ УДАРОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ <i>Тажиббаев К. Т.</i>	25
НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНО- ТЕКТОНИЧЕСКИХ УДАРОВ И ТЕХНОГЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА РУДНИКАХ РОССИИ <i>Ловчиков А.В.</i>	38
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ <i>Коваленко М.Д., Меньшова И.В.</i>	51

СЛОЖНОНАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛАГИОГРАНИТОВ КРИВОРОЖСКОЙ СВЕРХГЛУБОКОЙ СКВАЖИНЫ В ЗОНАХ ТЕРМОБАРИЧЕСКОГО РАЗУПЛОТНЕНИЯ <i>Корчин В.А., Карнаухова Е.Е.</i>	130
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В КРАЕВЫХ ЧАСТЯХ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНОГО СКАЛЬНОГО МАССИВА <i>Асанов В.А., Токсаров В.Н., Бельтюков Н.Л., Ударцев А.А.</i>	140
УПРУГОЕ И НЕУПРУГОЕ ПОВЕДЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ТРЕХОСНОМ СЖАТИИ <i>Рычков Б.А., Комарцов Н.М., Кулагина М.А.</i>	148
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ЭФФЕКТОВ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ САМОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ <i>Мороз А.И.</i>	156
КАНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 19 ИЮЛЯ 2011г., КЫРГЫЗСТАН <i>Камчыбеков М.П., Егембердиева К.А., Чаримов Т.А., Камчыбеков Ы.П.</i>	167
СРАВНЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕГИОНА АЛАЙ-КАШГАР (ЮЖНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ) С СОЛНЕЧНОЙ ЦИКЛИЧНОСТЬЮ <i>Мамыров Э., Маханькова В.А., Кыдырова Л.Ш.</i>	174
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ОТКЛИКА ЛИТОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ В ПЕРИОДЫ АКТИВИЗАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ <i>Салихов Н.М., Пак Г.Д., Крякунова О.Н., Николаевский Н.Н., Цепякина И.Л.</i>	180
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДРАБАТЫВАЕМОГО МАССИВА ² <i>Барышников В.Д., Барышников Д.В., Гахова Л.Н.</i>	189

² Работа выполнена при финансовой поддержке АК «АЛРОСА»

УПРУГОЕ И НЕУПРУГОЕ ПОВЕДЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ТРЕХОСНОМ СЖАТИИ

Рычков Б.А., Комарцов Н.М., Кулагина М.А.

*Кыргызско-Российский Славянский университет, Бишкек, Кыргызстан,
rychkovba@mail.ru, komartsovnm@mail.ru, kulagina@krsu.edu.kg*

ELASTIC AND INELASTIC BEHAVIOR OF ROCKS UNDER TRIAXIAL COMPRESSION

Rychkov B.A., Komartsov N.M., Kulagina M.A.

*Kyrgyz-Russian Slavic university, Bishkek, Kyrgyzstan,
rychkovba@mail.ru, komartsovnm@mail.ru, kulagina@krsu.edu.kg*

Горные породы на определенной глубине в массиве находятся в полуразрушенном состоянии под действием неравномерных объемных давлений. Такое состояние в лабораторных условиях моделируется неравномерным трехосным сжатием цилиндрических образцов горных пород. При этом получают так называемую полную диаграмму «напряжение-деформация», которая отражает деформацию до предела прочности – это «восходящая» ветвь диаграммы (напряжение постоянно растёт) – затем следует «нисходящая» ветвь, когда деформация растёт (при понижении напряжения), но сохраняется несущая способность образца вплоть до предела остаточной прочности, при достижении которой образец разделяется на отдельные части.

В данной работе рассмотрена восходящая ветвь указанной диаграммы на примере диорита и перидотита. Соответствующие экспериментальные данные получены (путём оцифровки) из графиков, представленных в монографии [1].

Программа испытаний представляла вначале всестороннее (гидростатическое) давление образца до определенной величины, а затем увеличение осевого давления при постоянном достигнутом равномерном боковом давлении. На представленных в монографии [1] графиках отражены только приращения осевой деформации при соответствующем приращении осевого напряжения.

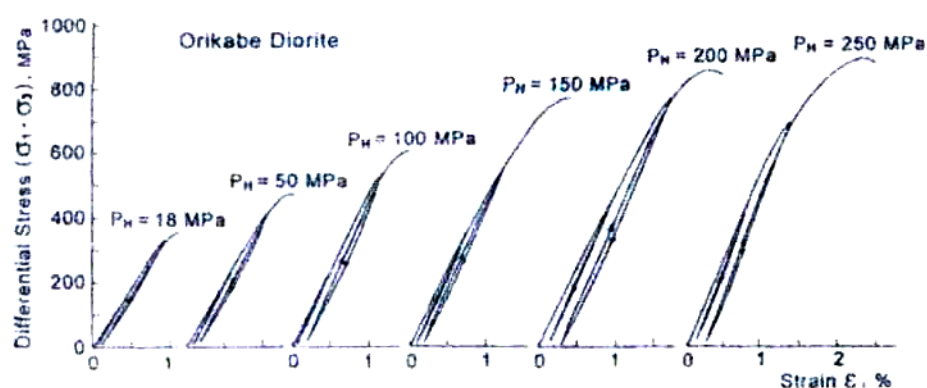


Рис. 1. Экспериментальные зависимости приращения напряжений - приращения деформаций для Orikabe Diorite.

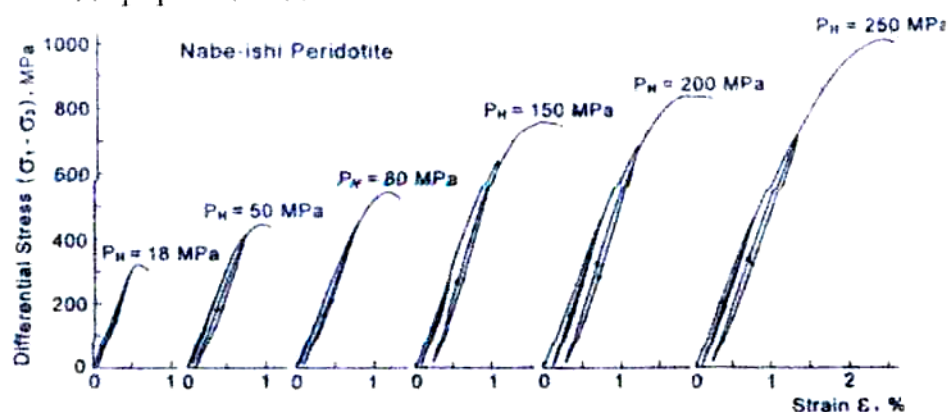


Рис. 2. Экспериментальные зависимости приращения напряжений - приращения деформаций для Nabe-ishi Peridotite.

Диаграммы, приведенные на рис. 1, 2, оцифрованы и представлены в виде соответствующих табличных значений приращения напряжения и приращения деформации. Оцифровка графиков была

проведена с помощью программы «ChartReader». Как было проверено автором эксперимента в исходном состоянии диорит и перидотит представляют собой изотропный материал. Поэтому для определения упругих констант такого материала правомерно использовать закон Гука в

$$\text{следующем виде: } \varepsilon_1 = \frac{1}{E} [\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)], \quad (1)$$

где E - модуль Юнга, ν - коэффициент Пуассона.

Характеризуя вид напряженного состояния параметром

$$c = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \quad (\sigma_1 - \text{осевое напряжение, } \sigma_2 = \sigma_3 - \text{напряжение от бокового}$$

давления, $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$), формулу (1) можно представить в виде:

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E} [1 - 2c\nu]. \quad (2)$$

Из полученных вышеуказанных табличных значений $\Delta\sigma_1$ и $\Delta\varepsilon_1$ для диорита выбраны их значения при трех видах напряженного состояния, а именно при $c=0,49$; $c=0,29$; $c=0,23$, при всех осуществленных в опыте боковых давлениях. Эти зависимости $\Delta\varepsilon_1(\Delta\sigma_1)$ представлены на рис. 3.

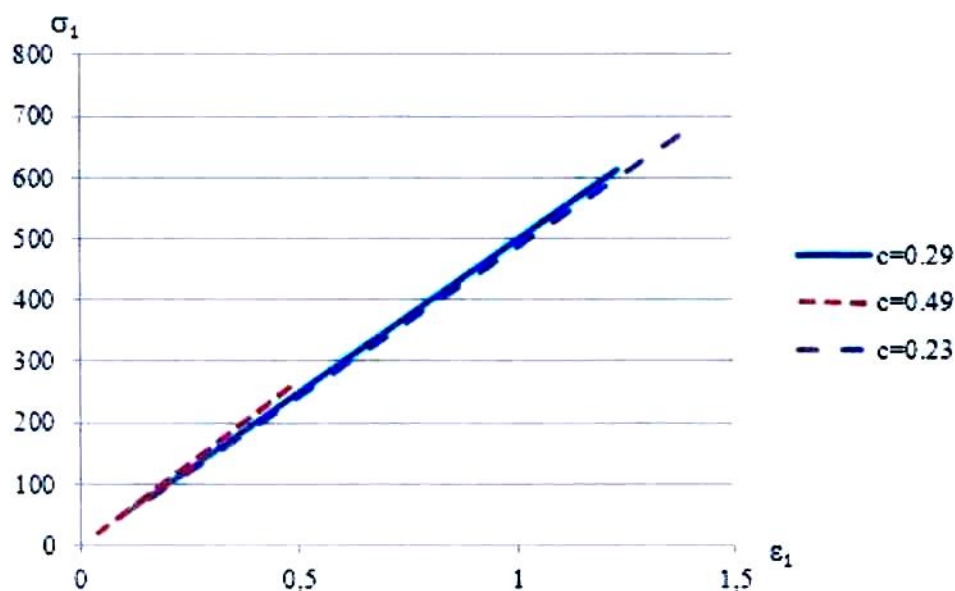


Рис. 3. Графики зависимости $\Delta\varepsilon_1(\Delta\sigma_1)$ при трех видах напряженного состояния для диорита.

Как видно из этого рисунка при указанных видах напряженного состояния зависимость $\Delta\varepsilon_1(\Delta\sigma_1)$ является линейной. Это дает основание формулу (2) представить через соответствующие приращения (при фиксированном виде напряженного состояния):

$$\Delta\varepsilon_1 = \frac{\Delta\sigma_1}{E} [1 - 2c\nu]. \quad (3)$$

Рассматривая попарно диаграммы $\Delta\varepsilon_1(\Delta\sigma_1)$, при двух из выбранных значений параметра c , определим модуль Юнга E и коэффициент Пуассона ν . В монографии [1] введен только один параметр, характеризующий упругую деформацию, а именно, утверждается, что

$$\Delta\varepsilon_1 = \varepsilon_1 - \varepsilon_1^* = \frac{\sigma_1 - \sigma_1^*}{E_{np}}, \quad (4)$$

где ε_1^* и σ_1^* соответственно осевая деформация и осевое напряжение, достигнутые при предварительном гидростатическом давлении, а E_{np} считается модулем Юнга. Поскольку это не так, то в отличие от первоисточника этот модуль мы обозначили с нижним индексом, т.е. это на самом деле некоторый приведенный модуль. Если сравнить формулу (2) и (3), то указанный приведенный модуль выражается через действительный модуль Юнга и коэффициент Пуассона.

$$E_{np} = \frac{E}{1 - 2c\nu}. \quad (5)$$

Из последней формулы видно, что модуль E_{np} является переменной величиной, зависящей от вида напряженного состояния и от достигаемой упругой деформации. Действительно, в эксперименте получены следующие значения модуля E_{np} , представленные на рис. 4 для всех боковых давлений.

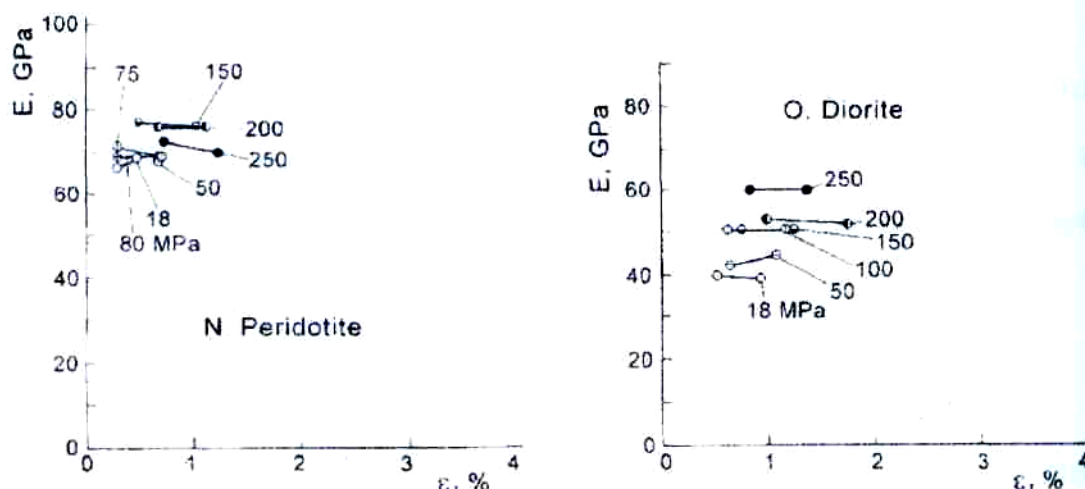


Рис. 4. Зависимость приведенного модуля упругости от приращения деформации.

Если рассмотреть диаграммы $\Delta \varepsilon_1(\Delta \sigma_1)$, представленные на рис. 1,2, то можно убедиться, что деформация $\Delta \varepsilon_1=1\%$ при малых боковых давлениях достигается за пределами упругости. Анализ зависимости (5) показал, что в пределах упругости величина $E_{пр}$ незначительно зависит от уровня $\Delta \varepsilon_1$, поэтому для сравнения выбрана деформация $\Delta \varepsilon_1=0,8\%$ и определено значение $E_{пр}$ по формуле (5). Результат сравнения представлен в таблице 1.

Табл. 1. Значения приведенного модуля Юнга для Диорита

	P=18M	P=50M	P=100M	P=150M	P=200M	P=250M
	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
Эксперимент	39344	43060	50273	50273	-	59891
Расчет	45971,7	45961,7 6	48368,72	49680,02	50665,71	51268,74

Расчетные значения $E_{пр}$ от экспериментально найденных отличаются в пределах погрешности определения данной величины.

Расчетные значения модуля Юнга E и коэффициента Пуассона ν приведены в таблице 2.

Табл. 2.

Материал	E	ν
Диорит	43208,6 МПа	0,22
Перидотит	54474,74 МПа	0,249

Предел упругости определяется согласно методики [2], по которой угловой коэффициент первоначального линейного участка изменялся на 20%, проводилась касательная к кривой деформирования с новым угловым коэффициентом, и за предел упругости бралось напряжение в точке касания. Расчетные значения пределов упругости приведены в таблице 3.

Табл. 3. Значения пределов упругости σ^y , МПа

	P=50 МПа	P=150 МПа	P=200 МПа	P=250 МПа
Диорит	433	649	786	822
Перидотит	420	636	670	795

Неупругую деформацию будем искать в виде (как предложено в [3]):

$$\begin{aligned}\Gamma_1 &= \varepsilon_1 - \frac{\sigma_1}{E}(1 - 2\nu) = (1 - \lambda) \frac{1}{k} \left[\frac{\sigma_1}{\sigma_{1y}} - 1 \right]^\alpha, \\ \Gamma_2 &= -\varepsilon_1 - \frac{\sigma_1}{E}[c - \nu(1 + c)] = -\left(\frac{1}{2} + \lambda\right) \frac{1}{k} \left[\frac{\sigma_1}{\sigma_{1y}} - 1 \right]^\alpha,\end{aligned}\tag{6}$$

где Γ_1 , Γ_2 – главные пластические деформации, λ – коэффициент разрыхления, k – масштабный коэффициент, α – коэффициент, учитывающий кривизну кривой упрочнения.

В формуле (6) учтено, что полная неупругая деформация составляется из чисто пластической Γ_1^{np} (не вызывающей изменение объема тела) и деформации разрыхления Γ_1^{∂} , которая согласно гипотезе

Новожилова В.В. о всестороннем распространении разрыхления [4], принимается в виде:

$$\Gamma_1^{\partial} = \Gamma_2^{\partial} = \Gamma_3^{\partial} = -\lambda \Gamma_1^{nl} \quad (7)$$

Обработка представленных диаграмм деформаций, согласно зависимостей (6), доставляет следующие значения введенных параметров материала: для перидотита $\alpha=2,3$; $k=4,5$; для диорита $\alpha=1,8$; $k=0,147/$

Изменение коэффициента разрыхления представлено на рис.5; при этом учтено, что при $c=1/3$ разрыхление (как установлено А.Н.Ставрогиным) исчезает.

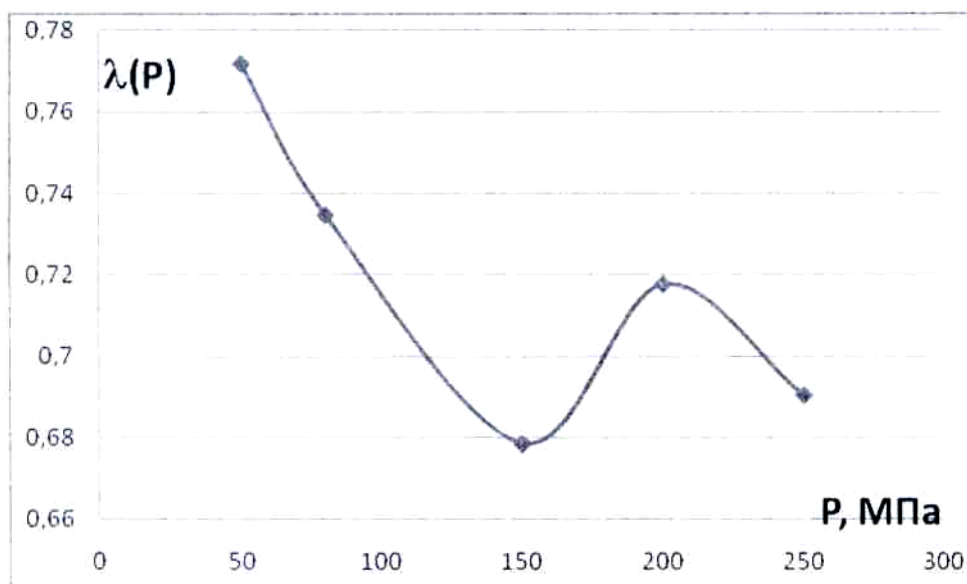


Рис.5. Зависимость коэффициента разрыхления λ от величины бокового давления P

На рис. 6 представлены графики экспериментальных и расчетных кривых полной деформации для Перидотита.

Как видно из графиков, достигнуто достаточно хорошее совпадение экспериментальных и расчетных данных. Для диорита имеет место такая же картина.

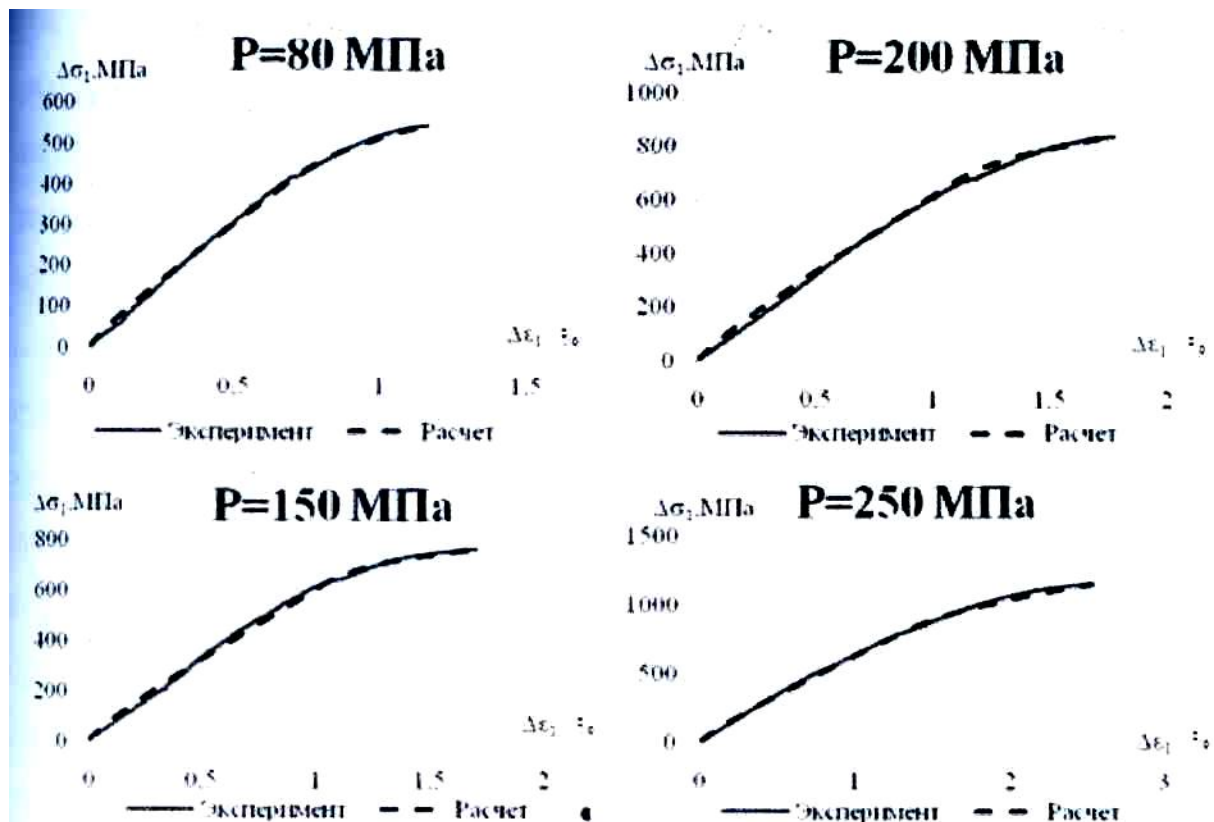


Рис. 6. Расчетно-экспериментальные диаграммы деформирования при различных боковых давлениях для Перидотита.

Литература:

1. Mogi Kiyoo, Experimental rock mechanics AK Leiden, The Netherlands, 2007 – 380 с.
2. Ильюшин А.А., Огибалов П.М. Упруго-пластические деформации полых цилиндров/ Изд-во МГУ,-1960, 226с.
3. Рычков Б.А. О деформационном упрочнении горных пород//Изв. РАН. МТТ.-1999-№2- с.115-124.
4. Новожилов В.В. О пластическом разрыхлении // ПММ, 1965/ Т. 29. No4. С. 75 – 83.