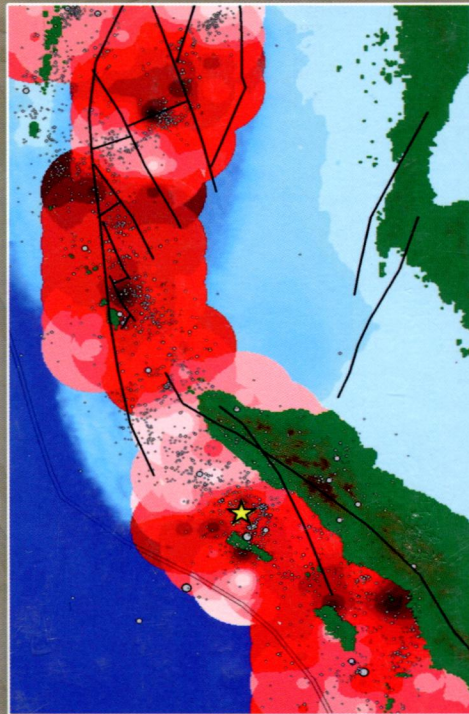


Ю.Л. РЕБЕЦКИЙ

Тектонические напряжения и прочность природных массивов



ИКЦ «АКАДЕМКНИГА»

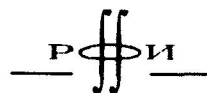
Ю.Л. РЕБЕЦКИЙ

**Тектонические
напряжения и прочность
природных
массивов**



МОСКВА
ИКЦ «АКАДЕМКНИГА»
2007

УДК 551.21.3
ББК 26.324
Р 31



Издание осуществлено при поддержке Российского
фонда фундаментальных исследований
по проекту № 02-05-78026

Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность природных горных массивов. Научное издание/ — М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. — 406 с.: ил.

ISBN 978-5-94628-200-0

В книге представлено активно развивающееся в рамках наук о Земле направление по исследованию параметров напряженно-деформированного состояния, эффективной прочности и механических свойств массивов хрупких горных пород в условиях их естественного залегания. Дано описание разработанного автором метода катакластического анализа разрывных нарушений и выполненных на его основе схем тектонических напряжений для земной коры ряда сейсмоактивных регионов и афтершоковых областей Спитакского, Нордриджского и Суматранского землетрясений.

Для геологов-тектонистов, сейсмологов, геофизиков.

ISBN 978-5-94628-200-0

© Ю.Л. Ребецкий, 2007

© ИКЦ «Академкнига», 2007

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	7
Глава 1. БАЗИС АНАЛИЗА ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ	11
1.1. ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ	11
1.1.1. Напряжения	11
1.1.2. Деформация и вращение	22
1.1.3. Основные положения теории пластичности	27
1.1.4. Теория поля в континуальной механике	40
1.2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ	41
1.2.1. Прочность хрупких горных пород	42
1.2.2. Дилатансия горных пород	51
1.3. ПАРАМЕТРЫ ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ	55
1.3.1. Тензорные параметры очага землетрясения	56
1.3.2. Скалярные параметры очага землетрясения	58
Глава 2. РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПОДХОДЫ	67
2.1. ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ПОЛЕВОЙ ТЕКТОНОФИЗИКИ В ТЕРМИНАХ МЕХАНИКИ	68
2.1.1. Сколовые трещины — тензодатчики деформаций и напряжений ..	68
2.1.2. Остаточные деформации и область упругой разгрузки скола	71
2.2. ОБЗОР МЕТОДОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ГЛАВНЫХ ОСЕЙ ТЕНЗОРОВ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ И КВАЗИПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПО СОВОКУПНОСТЯМ СКОЛОВЫХ ТРЕЩИН	78
2.2.1. Методы структурного анализа	79
2.2.2. Методы дислокационного анализа	84
2.2.3. Методы расчета тензора квазипластических деформаций	92
2.3. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЕЛИЧИН НАПРЯЖЕНИЙ В ХРУПКОЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ	95
2.3.1. Оценка предельных напряжений в земной коре на основе закона Дж. Байерли	95
2.3.2. Методы оценки величин напряжений на основе данных о величинах напряжений, снимаемых в очаге землетрясения	103

2.3.3.	Метод Ж.Анжелъе для расчета величин напряжений по данным палеорекострукции осей напряжений	111
Глава 3. МЕТОД КАТАКЛАСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СОВОКУПНОСТЕЙ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ		
		115
3.1.	ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДА	115
3.1.1.	Модель процесса квазипластического деформирования трещиноватых горных массивов	116
3.1.2.	Модель среды	120
3.1.3.	Упругие и разрывные остаточные деформации	121
3.1.4.	Энергетические положения метода	124
3.2.	РАСЧЕТ ОРИЕНТАЦИИ ГЛАВНЫХ ОСЕЙ И КОЭФФИЦИЕНТА ВИДА ТЕНЗОРА ПРИРАЩЕНИЙ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ	127
3.2.1.	Кумулятивная область упругой разгрузки для совокупности сколовых трещин	128
3.2.2.	Тензор приращений сейсмотектонических деформаций	132
3.3.	КРИТЕРИИ ФОРМИРОВАНИЯ ОДНОРОДНЫХ ВЫБОРОК СКДТ	133
3.3.1.	Однородные выборки сколовых трещин	133
3.3.2.	Критерий монотонности упругопластического деформирования	136
3.3.3.	Критерий диссипации энергии на каждом сколе	139
3.3.4.	Обсуждение	141
3.4.	РАСЧЕТ ОРИЕНТАЦИИ ГЛАВНЫХ ОСЕЙ И КОЭФФИЦИЕНТА ВИДА ТЕНЗОРА НАПРЯЖЕНИЙ	142
3.4.1.	Энергетические критерии метода и возможные состояния для тензоров макронапряжений и приращений сейсмотектонических деформаций	143
3.4.2.	Критерий монотонности упругопластического деформирования и определение возможных состояний для тензора макронапряжений	145
3.4.3.	Использование положения о максимальной диссипации для нахождения ориентации главных осей искомого тензора напряжений	146
3.5.	РАСЧЕТ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН НАПРЯЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛОЖЕНИЙ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ	148
3.5.1.	Предел прочности горных пород и сопротивление сухого трения разрывов и трещин	148
3.5.2.	Круговая диаграмма Мора и области допустимого положения трещин хрупкого скола	151
3.5.3.	Определение относительных значений p^* и τ	154
3.5.4.	Выделение плоскости разрыва в очаге землетрясения	157
3.6.	РАСЧЕТ ВЕЛИЧИН НАПРЯЖЕНИЙ И ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГОРНЫХ МАССИВОВ	166
3.6.1.	Метод совместного расчета p и τ по результатам первого этапа реконструкции напряжений	166

3.6.2.	Оценка всестороннего давления на основе уравнений равновесия пологих оболочек и результатов первых двух этапов реконструкции	171
3.6.3.	Оценка параметров прочности массивов горных пород	174
Глава 4.	ТЕКТОНИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ СЕЙСМОАКТИВНЫХ РЕГИОНОВ	181
4.1.	ВОСТОЧНОЕ СРЕДИЗЕМНОМОРЬЕ	182
4.1.1.	Исходные сейсмологические данные	182
4.1.2.	Первый этап реконструкции	185
4.1.3.	Второй и третий этапы реконструкции	195
4.2.	АРАВИЙСКИЙ СИНТАКСИС	201
4.2.1.	Исходные сейсмологические данные	203
4.2.2.	Первый этап реконструкции	210
4.2.3.	Второй и третий этапы реконструкции	210
4.3.	ЮЖНАЯ ЧАСТЬ ЦЕНТРАЛЬНО-ИРАНСКОЙ ПЛИТЫ	216
4.3.1.	Тектоника региона и исходные сейсмологические данные	216
4.3.2.	Первый этап реконструкции	220
4.3.3.	Второй и третий этапы реконструкции	225
4.4.	СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ УЧАСТОК ТИХООКЕАНСКОЙ СЕЙСМОАКТИВНОЙ ОБЛАСТИ	231
4.4.1.	Исходные сейсмологические данные	231
4.4.2.	Первый этап реконструкции	233
4.4.3.	Второй и третий этапы реконструкции	238
4.5.	ЗЕМНАЯ КОРА ЮЖНЫХ КУРИЛ И ЯПОНИИ	242
4.5.1.	Исходные сейсмологические данные	242
4.5.2.	Первый этап реконструкции	244
4.5.3.	Второй и третий этапы реконструкции	249
4.6.	НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АФТЕРШОКОВОЙ ОБЛАСТИ СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 1988 г.	254
4.6.1.	Исходные сейсмологические данные	254
4.6.2.	Первый этап реконструкции	257
4.6.3.	Второй и третий этапы реконструкции	261
4.7.	НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АФТЕРШОКОВОЙ ОБЛАСТИ НОРДРИДЖСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 1994 г.	265
4.7.1.	Исходные сейсмологические данные	265
4.7.2.	Первый этап реконструкции	269
4.7.3.	Второй и третий этапы реконструкции	274
4.8.	НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАПАДНОГО ФЛАНГА ЗОНДСКОЙ ДУГИ ДО КАТАСТРОФИЧЕСКОГО СУМАТРАНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 26.12.2004	280
4.8.1.	Исходные сейсмологические данные	280
4.8.2.	Первый этап реконструкции	285
4.8.3.	Второй и третий этап реконструкции	291

Глава 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ О НАПРЯЖЕНИЯХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ	303
5.1. ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	303
5.1.1. Расчет напряжений, снимаемых в очагах землетрясений	304
5.1.2. Энергия, снимаемая в области очага землетрясений	314
5.1.3. Энергия сейсмического излучения	319
5.2. СЕЙСМОРАЙОНИРОВАНИЕ ПО ДАННЫМ О НАПРЯЖЕНИЯХ	323
5.2.1. Оценка сейсмического риска существующих разломных систем	325
5.2.2. Районирование сейсмоопасных областей по параметрам очага ожидаемого землетрясения	331
5.2.3. О взаимосвязи принципов сейсморайонирования с моделью очага землетрясения	341
5.3. МОДЕЛЬ ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ	344
5.3.1. Модели области подготовки землетрясения	345
5.3.2. Параметры природных напряжений и модели очага землетрясения	347
5.3.3. О факторах структурно-метаморфических преобразований разломных зон	353
5.3.4. Модель процесса хрупкого разрушения и области метастабильного состояния	359
5.4. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТРЕЩИНОВАТЫХ МАССИВОВ	361
5.4.1. Условия континуальной текучести	361
5.4.2. Диаграмма нагружения и разгрузки	374
5.4.3. Влияние вида напряженного состояния на условия нагружения	379
5.4.4. Оценка модуля пластического сдвига	382
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	384
ABSTRACT	389
ЛИТЕРАТУРА	394