

УДК 550.348 (574)

Н.Н. МИХАЙЛОВА¹, Н.Н. ПОЛЕШКО²

ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ В СЕЙСМОАКТИВНЫХ РЕГИОНАХ КАЗАХСТАНА

Қазақстанның сейсмоактивті аймақтары мен шекаралық аудандарындағы механизм параметрлері ошағының өзгерістеріне зерттеу жүргізілді. Қатты жер сілкінісін қалыптастыру процесімен байланысты параметрлерінің уақытта ерекшеліктері анықталды.

Проведено исследование изменений параметров механизмов очагов для сейсмоактивных территорий Казахстана и приграничных районов, выявлены особенности временного хода параметров, связанные с процессами формирования сильных землетрясений.

The research of changes of parameters of focal mechanisms for seismoactive of territories of Kazakhstan and frontier areas is carried out, the features of a temporary course of parameters formations, connected to processes, of strong earthquakes are revealed.

В последние десятилетия существенно увеличилось количество определений механизмов очагов землетрясений на территории Казахстана и пограничных с ним государств. Повысилась точность определений в связи с вводом в действие новых цифровых сейсмических станций и переходом на компьютерную обработку данных. Но до последнего времени в изучаемом районе Северного Тянь-Шаня практически отсутствуют детальные исследования временных изменений в параметрах механизмов очагов, которые чрезвычайно важны для понимания геодинамических процессов во всем регионе в целом и в зонах подготовки сильных землетрясений в частности.

Настоящая работа посвящена исследованию изменений параметров механизмов очагов для сейсмоактивных территорий Казахстана и приграничных районов в течение длительного периода, выявлению особенностей временного хода, связанного с процессами формирования сильных землетрясений.

Характеристика используемых материалов

В последнее десятилетие в связи с вводом в эксплуатацию новой цифровой сети станций На-

ционального ядерного центра Республики Казахстан существенно расширились границы территории, для которой существует возможность получения надежного решения фокальных механизмов происшедших землетрясений. До 2000-го года все определения механизмов в течение 30 лет проводились на основе ручных построений на так называемой сетке Вульфа [1], с 2000 года решения получают машинным способом. Для этого в СОМЭ МОН РК используется программа определения механизмов очагов Масаки Накамуры [2], позволяющая корректно оценивать точность вычисления параметров.

В настоящее время сводный каталог механизмов очагов содержит более 9000 событий, в диапазоне энергетических классов 6-17, происшедших на территории, ограниченной координатами 40°-56° с. ш., 45°-90° в. д., за период наблюдений с 1964 по 2005 г.г. Именно наличие такого материала позволяет провести анализ временных вариаций параметров сеймотектонической деформации среды. Все выводы анализа относятся к верхней части литосферы, а именно к диапазону глубин 0-30 км, которому соответствуют глубины практически всех очагов землетрясений рассматриваемых районов.

¹ Казахстан. 071100, г. Курчатов, ВКО, площадка «Меридиан» Институт геофизических исследований НЯЦ РК.

² Казахстан. 050060, г. Алматы, пр. Аль-Фараби, 75-а Институт сейсмологии.

Таблица 1. Распределение числа механизмов очагов землетрясений по энергетическим классам

№	Координаты (φ, λ)	Число землетрясений	Энергетический класс												
			6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	≥16	
1-3	41°30'-46°00' 75°00'-82°00'		1107	3759	2430	1027	442	140	59	18	8	5			
4	46°00'-49°00' 78°30'-85°30'				11	12	10	6	4	3	2		1	1	
5	41°30'-43°00' 72°30'-75°00'		79	286	153	83	95	52	15	5	1	0	0	1	

Конфигурацией и количеством сейсмических станций в наблюдательных сетях, а также самой сейсмической активностью, обусловлена различная представительность данных о механизмах очагов в изучаемых районах.

Слабые землетрясения ($K < 9$) составляют 75% всего каталога, землетрясения средней силы ($K = 9-11$) всего 22%, и только 3% всех событий имеют класс более 12. Известно, что данные по сильным землетрясениям несут более надежную информацию в отношении действующей системы региональных напряжений. Однако по статистике слабых событий, как показали предыдущие исследования, также достаточно уверенно можно получать основные закономерности в картине напряженно-деформированного состояния.

Если считать представительным классом энергии относительно механизмов очагов тот, для которого механизмы определяются без пропуска, то в целом для исследуемого региона таким классом является $K_{min} = 10$ (точнее, $K_{min} = 9,6$). Поэтому во всех исследованиях мы старались проводить сравнение результатов, полученных при статистическом анализе механизмов слабых толчков с расчетами по представительным событиям.

Для каждой зоны рассчитывались параметры сейсмотектонической деформации (СТД). Понятие СТД базируется на представлениях о деформациях макроскопических объемов горных масс. Расчет производится на информационной основе базы данных SEISMO, созданный в СОМЭ МОН РК. Для расчетов СТД используется программа Соболевой О.В., Вахидовой З.М. [3]. В результате расчетов построены графики временных вариаций для следующих параметров тензора сейсмотектонической деформации:

1 - азимутов и углов выхода осей напряжений сжатия и растяжения;

2 - коэффициента Лодэ-Надаи μ , характеризующего вид сейсмотектонической деформации (значения μ находятся в пределах от -1 до +1);

3 - коэффициента интенсивности СТД χ , отражающего соответствие среднего механизма совокупности индивидуальных.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотрим отдельно вариации различных параметров СТД с 1980 по 2005 г.г. для исследуемых сейсмотектонических зон.

Изменения параметра χ . Интенсивность СТД χ при значениях менее 0,2 означает, что надежность полученных решений низка [4], анализ таких данных оказывается неэффективным. На рис. 1 представлены графики временного хода значений χ для пяти зон в трех энергетических диапазонах, которые сопровождаются графиками изменений количества использованных землетрясений. Несмотря на довольно значительные вариации, за исключением небольших периодов времени, полученный нами коэффициент интенсивности выше 0,2 для всех районов во всех энергетических диапазонах. Это доказывает, что данные каталога механизмов очагов не только сильных, но и слабых землетрясений можно использовать для анализа.

Как видно из рис. 2, значения коэффициента χ существенно меняются во времени, особенно в нижнем энергетическом диапазоне. Для событий с $K \geq 9,6$ уровень параметра выше, чем для слабых. Это можно интерпретировать, с одной стороны, как повышение упорядоченности процесса деформации при переходе к большим энергиям, а с другой стороны, как повышение точности определений механизмов землетрясений больших энергетических классов.

Существуют отличия и в характере кривых для разных энергетических диапазонов. В хребтах Терской Алатау, Джунгарии, Каратауском

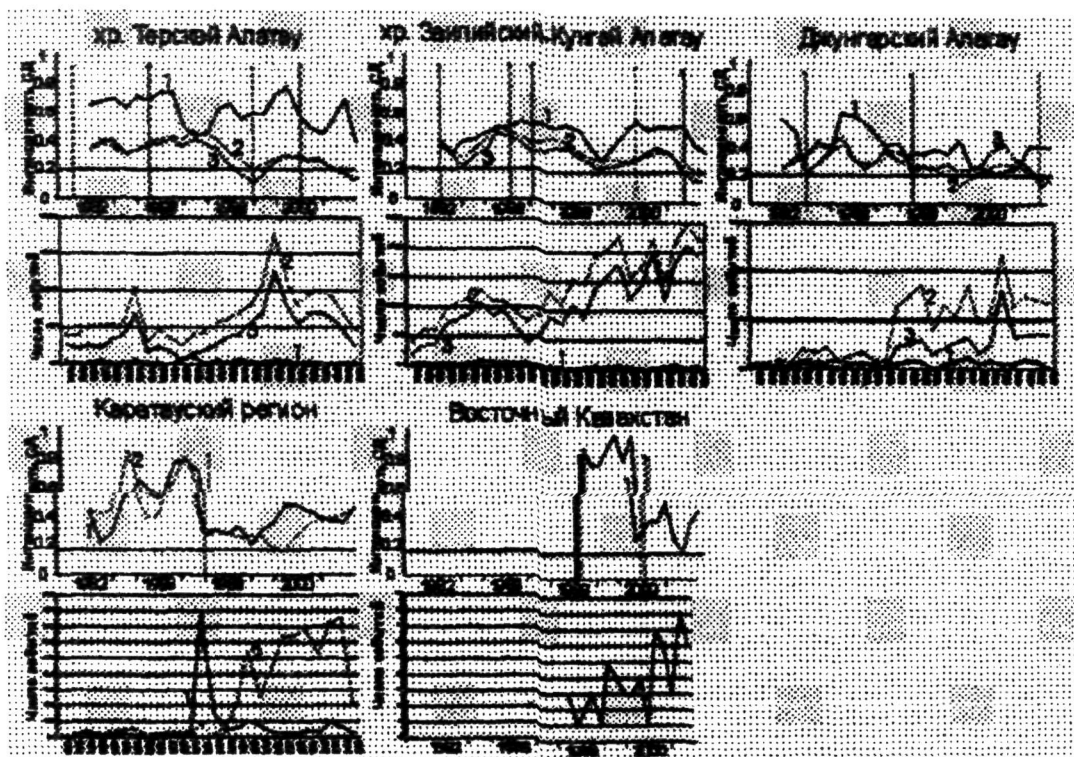


Рис. 1 Графики коэффициента интенсивности СТД и количества землетрясений:
1) $K \geq 9,6$; 2) $7,6 \leq K \leq 9,5$; 3) $K \leq 7,5$

регионе графики разных энергетических диапазонов сдвинуты по фазе, в некоторые периоды времени находятся даже в противофазе. В хребтах Заилийский и Кунгей Алатау вариации параметра χ всегда происходят синхронно как для слабых, так и для сильных землетрясений.

Изменения параметра μ . Анализ коэффициента интенсивности СТД необходимо проводить совместно с коэффициентом Лодэ-Надаи μ . Существует определенная связь этих параметров: максимальное значение $\chi=1$ возможно только при $\mu=0$; $\chi=0,5$ при $\mu=\pm 1$. Разобьем все значения μ на три класса: $-0,3 \leq \mu \leq +0,3$; $\mu \geq 0,3$; $\mu \leq -0,3$. Первый случай соответствует деформированному состоянию сдвигового типа (в механическом смысле), второй – одноосному сжатию, третий – одноосному растяжению. На рис. 2 представлены графики изменения значений коэффициента μ , из которых следует, что вид деформированного состояния может существенно изменяться.

В отдельные периоды времени графики разных энергетических диапазонов изменяются в противофазе. Отметим такую особенность: наиболее сильные землетрясения происходят в моменты между периодами асинхронности, когда

графики для разных энергий землетрясений сближаются и характеризуют деформированное состояние как сдвиговое в хр. Жунгарском Алатау и Каратауском регионе, а в хр. Северного Тянь-Шаня как надвиговое.

В настоящее время для территорий хребтов Заилийский, Кунгей и Терской Алатау во всем энергетическом диапазоне тип деформированного состояния сдвиго-надвиговый, а в Каратаусском районе и Джунгарии по землетрясениям с $K \geq 9,6$ отмечен переход к сдвиго-сбросовому типу. Таким образом, в соседних районах отмечается различие в типах деформирования.

Совместное исследование поведения параметров χ и μ показывает их различное изменение в разных регионах. Так, в зонах 1 и 2 в обоих параметрах для нижнего энергетического диапазона отмечен отрицательный тренд, сопровождаемый нарастанием общего количества землетрясений. Это говорит о разупорядоченности индивидуальных механизмов в общем ансамбле. Сильные землетрясения происходят при наиболее высоких значениях μ , после сильного события происходит смена типа деформирования среды. На графиках χ после сильнейших землетря-

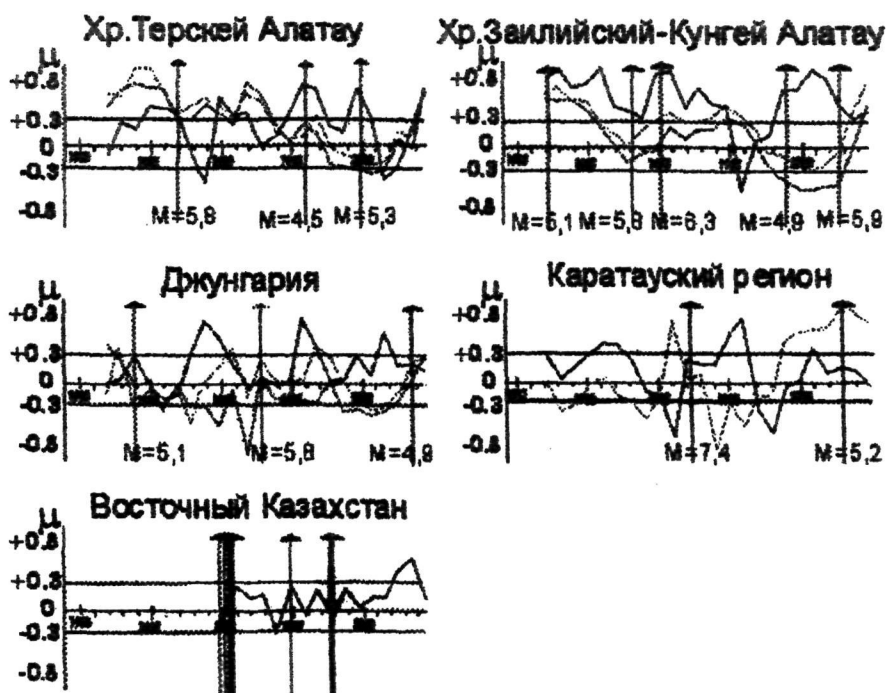


Рис. 2 Графики вариаций коэффициента Лоде-Надаи (μ):
 1) $K \geq 9,6$; 2) $7,6 \leq K \leq 9,5$; 3) $K \leq 7,5$

сений наблюдается понижение значений для всех диапазонов энергии. То есть, в условиях подготовки сильного землетрясения происходит упорядочивание действующих в разных очагах напряжений, нарастает внутренняя согласованность механизмов. После толчка поле напряжений меняется, по-разному реагируют на снятие напряжений разломы различных рангов, для слабых и сильных толчков индивидуальные механизмы характеризуются низкой внутренней согласованностью.

В Джунгарии изменения χ вызваны вариациями μ и не отражают изменений напряженного состояния в среде. Только в 1984 г. и 1993 г. снижение χ для событий с $K \geq 9,5$ сопровождалось синхронным снижением μ , т.е. нарастала разупорядоченность механизмов очагов. Именно в эти годы происходят наиболее сильные землетрясения с $M = 5,1$ и $5,8$.

Оси главных напряжений. Итак, уже по анализу вариаций χ и μ можно отметить, что поле региональных тектонических напряжений во времени меняется. Важно исследовать ориентацию главных осей напряжений, как важнейшего элемента для реконструкции СТД. Для оси сжатия во всех регионах, во всех энергетических и временных диапазонах преобладающим является

близмеридианальное с небольшим отклонением на запад и близгоризонтальное положение оси напряжений сжатия. Однако и для этой устойчивой оси отмечаются вариации во времени, имеющие свои специфические особенности в разных регионах. Так в районах Северного Тянь-Шаня отклонения от близмеридианального направления осей незначительны во всех диапазонах энергии. В районах Восточного Казахстана наблюдается разворот оси с востока к западу, а также значительные вариации угла выхода оси сжатия от близгоризонтального до близвертикального в период 2000-2004 годы. Ось растяжения не так устойчива как ось сжатия, особенно по углу выхода. В настоящее время значения угла выхода оси растяжения по сильным землетрясениям в регионах 1, 2, 3 и 5 приближаются к горизонтальным. Это свидетельствует о смене режима напряжений и переходе от преобладания сжатий к сдвигам.

Детальное рассмотрение всей совокупности параметров СТД позволило выявить некоторые общие закономерности:

1. Сильному землетрясению соответствует ситуация с различным типом напряженно-деформированного состояния среды в пограничных районах;

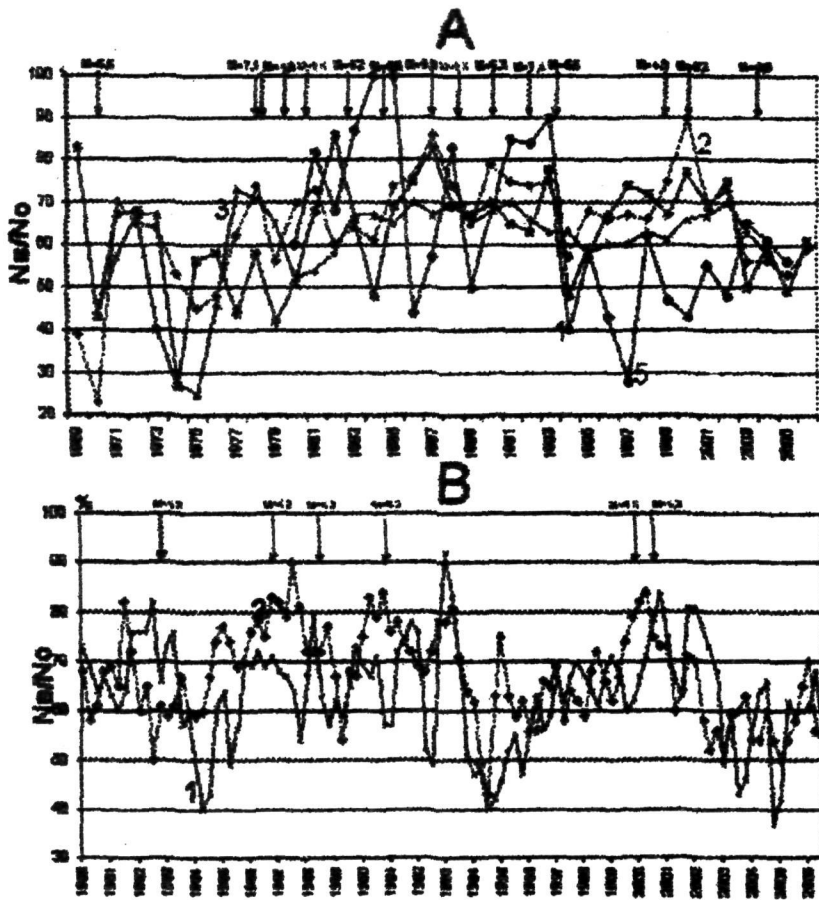


Рис. 3. Графики изменения N_v/N_o хребтов Заилийский - Кунгей Алатау (1), Терской Алатау (2), Джунгарии (3), Каратауского района (5), для двух периодов осреднения: А - 12 месяцев, В - 6 месяцев

2. Для разных районов характерен свой тип напряженно-деформированного состояния, на фоне которого происходит главное событие. Так, в хребтах Заилийский, Кунгей, Терской Алатау сильные землетрясения происходят на фоне взбросовых и взбросо-сдвиговых деформаций среды. В Джунгарии и Каратаусском районе – фоновыми являются сдвиговые деформации;

3. В период, предшествующий сильному событию, происходит упорядочивание системы напряжений во всех энергетических уровнях землетрясений, о чем свидетельствует рост значений коэффициента интенсивности СТД. После событий наблюдается перестройка системы напряжений, разупорядоченность индивидуальных механизмов.

Изменение относительного количества землетрясений разных типов механизмов

В ряде экспериментальных работ на образцах, в теоретических исследованиях и наблюде-

ниях за землетрясениями сделаны выводы о согласованном изменении динамических и кинематических характеристик сейсмических волн, параметров режима с параметрами механизмов очагов и характеристик напряженно-деформированного состояния в различных стадиях подготовки сильных землетрясений.

Здесь исследован очень информативный параметр N_v/N_o , характеризующий относительное число землетрясений с положительной вертикальной компонентой движения в очаге к общему числу землетрясений. Вариации этого параметра рассмотрены для 1, 2, 3 и 5 зоны Северного Тянь-Шаня и Джунгарии за 1969-2005 гг. На рис. 3А показаны изменения годовых значений N_v/N_o . При значительных вариациях можно выделить три основных периода за исследуемый 36 летний срок. Первый относится к 1970-1978 гг. низкие значения параметра на уровне 50% не сопровождаются сильными землетрясениями. Период 1978-1992 г.г. – период повышенных

значений отношения N_b/N_o (на уровне 70%) и период высокой активности сильных землетрясений. С 1993 г. период низких значений N_b/N_o , сейсмическая активность сильных событий также низкая.

Детальный анализ показывает, что на общем высоком фоновом значении N_b/N_o перед сильным землетрясением в очаговой зоне наблюдается рост этого параметра, а в пограничной с ней обычно, наоборот, уменьшение его значений. Особенно хорошо это видно при исследовании короткопериодных вариаций N_b/N_o (рис. 3В). Изменения значений N_b/N_o для хр. Терский Алатау и хр. Заилийский - Кунгей Алатау в противофазе создает впечатление, что имеет место прохождение деформационной волны в меридиональном направлении. Когда на юге от Иссык-Куля нарастают напряжения сжатия, на севере они, наоборот, уменьшаются.

Отличается высокая степень корреляции в долговременных изменениях механизмов очагов N_b/N_o с величинами отношения скоростей продольных и поперечных волн V_p/V_s , угловой частоты очаговых спектров f_0 , количеством прошедших землетрясений с $K > 10$. В период нарастания землетрясений с $K > 10$ наблюдается увеличение взбросовых типов задвижек, уменьшение V_p/V_s . Наблюдаемые процессы можно объяснить в рамках теории лавинно-неустойчивого трещинообразования.

К 2005 г. по данным механизмов очагов в рассматриваемых регионах имело место стабильное напряженно-деформированное состояние среды. Однако уже в 2006 г. наблюдается увеличение количества взбросовых типов подвижек. В локальных подзонах также установилось равновесие напряженно-деформированного состояния. Во всех подзонах, начиная с 1999 г. наблюдается спад параметра N_b/N_o от значений $(N_b/N_o)_{\max} = 80\%$ в центральной части хребтов Заилийский и Кунгей Алатау до самого низкого (48%). В то же время на западе в пограничной зоне Киргизского хребта этот параметр растет. Считаем, что в настоящее время происходит перестройка системы напряжений на Северном Тянь-Шане.

ЛИТЕРАТУРА

1. Введенская А.В. Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций. М., 1969. С. 47-66.
2. Masaki Nakamura. Determination of focal mechanism solution using initial motion polarity of P and S waves. // Physics of the Earth and Planetary Interiors, 130 (2002). P.17-29
3. Соболева О.В., Бибарсова Д.Г., Вахидова З.Н. Расчет параметров сеймотектонической деформации. Деп. В ВИНИТИ, №5402-81, 1981.
4. Юнга С.Л. и др. Вопросы точности определения механизмов очагов коровых землетрясений и сеймотектонические деформации Средней Азии и Казахстана // Землетрясения Средней Азии и Казахстана в 1980 году. Душанбе. 1982. С.12-16.