

УДК 550.348(574.3)

О МЕХАНИЗМАХ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА

¹⁾Михайлова Н.Н., ²⁾Полешко Н.Н.¹⁾Институт геофизических исследований НЯЦ РК, г. Курчатов²⁾Институт сейсмологии МОН РК, г. Алматы

В [2-4] приведены первые сведения, полученные специалистами Института геофизических исследований НЯЦ РК, о землетрясениях в так называемых “асейсмичных” районах Казахстана. Центральный Казахстан относится к таким районам, о существовании в которых сейсмически активных зон до последнего времени не было известно. С вводом в действие сети станций НЯЦ РК, здесь зарегистрирован ряд землетрясений с магнитудой m_b до 5,0. В статье впервые определены механизмы очагов для двух сейсмоактивных зон Центрального Казахстана, установлены характеристики напряженно-деформированного состояния этого района, которые сопоставлены с параметрами сеймотектонической деформации Северного Тянь-Шаня и Джунгарии. Полученные результаты важны для понимания протекания геодинамических процессов на обширной территории Центральной Азии.

Территория Центрального Казахстана традиционно считается асейсмичной. До последнего времени, согласно существующим каталогам землетрясений Казахстана, начиная с исторических времён, здесь не отмечено ни одного землетрясения. По ныне действующей в Казахстане карте сейсмического районирования, включённой в «Строительные нормы и правила РК» [1] этот район также отнесён к асейсмичным, где сейсмические воздействия выше 5 баллов по шкале MSK – 64 не ожидаются.

Взгляд на сейсмическую опасность этого района радикально изменился после произошедшего в августе 2001 г землетрясения с магнитудой $M_s = 5,0$, которое было названо Шалгинским по названию ближайшего к эпицентру населённого пункта, где зарегистрированы сейсмические колебания интенсивностью 6 баллов. Землетрясение было детально изучено специалистами ИГИ НЯЦ РК. Были проведены макросейсмическое обследование, инструментальная регистрация афтершоков, сопоставлены и проанализированы решения в отношении параметров гипоцентра по результатам обработки данных различными Центрами. Результатам комплексного изучения Шалгинского землетрясения посвящена работа [2].

Ретроспективный анализ цифровых записей станций ИГИ НЯЦ РК, начавших работу в составе НЯЦ РК с 1994 г, позволил выявить ещё ряд землетрясений в асейсмичных районах Казахстана, в том числе и в Центральном Казахстане. Этому вопросу был посвящён ряд работ [3-5]. Составлен каталог событий в «асейсмичных» районах Казахстана, который постоянно пополняется новыми данными.

По мировым данным, представленным в сейсмологических бюллетенях Международных центров (ISC, PIDC, IDC, GSRAS) было обнаружено ещё несколько событий в различных районах Казахстана, не считавшихся ранее сейсмичными. Таким образом, внимание сейсмологов было привлечено к этим новым, ранее неизвестным районам, где происходят активные геодинамические процессы, про-

являющиеся в виде серии довольно значительных землетрясений с магнитудой, достигающей 8.

Предыдущие публикации по землетрясениям в Центральном Казахстане [2-5] имели целью показать, что здесь происходят землетрясения, их очаги приурочены к определенным геологическим структурам района. Так, в Центральном Казахстане были выделены две основные зоны генерации землетрясений - Жезказганская и Шалгинская. В Жезказганской зоне с 1994 г зарегистрировано три землетрясения энергетического класса, равного и превышающего 11,0 (магнитуда более 4). Все они ощущались в ряде населенных пунктов вблизи г. Жезказган. В Шалгинской зоне зарегистрировано одно землетрясение с магнитудой $M_s = 5,0$ (по данным ИС МОН РК - $M_s = 5,4$) и шесть афтершоков.

В настоящей работе впервые определены механизмы очагов землетрясений в Центральном Казахстане и сделаны выводы о характере сеймотектонической деформации. Землетрясения рассматриваются в двух вышеупомянутых зонах.

**МЕХАНИЗМ ОЧАГА ШАЛГИНСКОГО
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ**

Эпицентр Шалгинского землетрясения располагается в северной части Бурунтауского антиклинория, входящего в северо-восточное Прибалхашское крыло Чу-Илийского мегантиклинория. Структура Бурунтауского антиклинория разбита разрывными нарушениями различной ориентировки. Выделяется несколько систем разломов. Первая – генеральная система северо-западного простирания (Жалаир-Найманский, Атасу-Балхашский, Шалгинский и др.). Вторая – поперечная система разломов северо-восточного простирания. Эпицентр главного толчка находился с северной стороны поперечного разлома, с которым связаны и эпицентры афтершоков [2]. Параметры главного толчка этого землетрясения, по данным Центра данных ИГИ НЯЦ РК, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры Шалгинского землетрясения

Дата	Время в очаге	Широта, N	Долгота, E	Глубина, км	M _s	MPV	K
22.08.01	15.57.57.7	47,20	70,20	19	5,0	5,4	13,2

Для определения механизма очага использованы сведения о направлениях (знаке) первых движений в продольных волнах.

В качестве исходного материала были привлечены данные сейсмических станций сети НЯЦ РК, сейсмологической опытно – методической экспедиции ИС МОН РК (СОМЭ ИС МОН РК), опытно – методической сейсмологической экспедиции ИС НАН КР (ОМСЭ ИС НАН КР), а также ряда российских и мировых станций, опубликованные в сейсмологических бюллетенях Центра сейсмической информации Геофизической службы РАН. По станциям НЯЦ РК использованы цифровые записи событий, по станциям других служб знаки первых движений определялись по аналоговым фото-записям. Всего определено 47 знаков первых вступлений Р-волн, из них 32 знака снято непосредственно с сейсмограмм. Расчёт параметров механизма очага землетрясения проводился по программе Масаки Накамура [6]. Распределение наблюдаемых знаков позволило получить два равновероятных варианта решения задачи, степень согласованности используемых знаков в которых практически одинакова – она составляет 80%, а разброс значений определяемых параметров не превышает 16°. В таблице 2 приведены возможные вариации значения центрального угла, характеризующие точность определения основных параметров механизма очага Шалгинского землетрясения - угла выхода осей напряжения и полюсов плоскостей разрыва.

Таблица 2. Точность определения основных параметров механизма очага Шалгинского землетрясения

Параметр	Центральный угол
Ось сжатия (P)	6°
Ось растяжения (T)	16°
Промежуточная ось (N)	0°
Ось А (пл. 2)	14°
Ось В (пл. 1)	4°

В таблице 3 приведены результаты определения самих параметров механизма очага Шалгинского землетрясения: осей (сжатия P, растяжения T, промежуточной N), плоскости разрыва (азимут простирания Str, угол падения Dip, угол скольжения Slip).

Таблица 3. Параметры механизма очага Шалгинского землетрясения

N	P		T		N		1 плоскость			2 плоскость		
	Azm°	Pl°	Azm°	Pl°	Azm°	Pl°	Str	Dip	Slip	Str	Dip	Slip
1	191	0	101	65	281	25	78	50	57	305	50	124
2	16	19	112	16	239	64	244	88	-25	336	64	-178

На рисунке 1 показаны стереограммы механизма очага, полученные в двух вариантах – а, б.

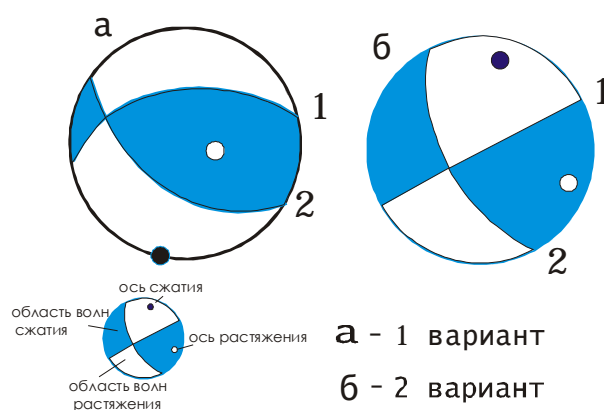


Рисунок 1. Стереограммы механизма очага землетрясения 22.08.2001 г.

Первый вариант (рисунок 1а). В очаге землетрясения произошел взброс с незначительной сдвиговой составляющей по обеим возможным плоскостям разрыва.

Второй вариант (рисунок 1б). В очаге землетрясения произошел сдвиг.

В обоих вариантах, несмотря на различие характера подвижки в очаге, не наблюдается подобие в ориентации нодальных плоскостей и осей напряжений, Первая плоскость имеет северо-восточное простирание и падение, в первом варианте 50° на юго-восток, а во втором - вертикальное, Простирание второй плоскости – северо-западное. Падение лежащего крыла на северо-восток под углом 50° и 60°.

Оси напряжений сжатия в обоих случаях близгоризонтальны и ориентированы близмеридионально, с небольшим отклонением на северо-восток от меридиана.

Оси напряжений растяжения имеют близширотное простирание при различных углах наклона к горизонту: в первом варианте довольно крутое, во втором – близгоризонтальное.

Для выбора из двух возможных плоскостей разрыва наиболее вероятной были привлечены дополнительные сведения об очаге землетрясения. Во-первых, по макросейсмическим данным была построена карта изосейст землетрясения. Эллипсы изосейст, как следует из [2], вытянуты в северо-восточном направлении, что может свидетельствовать о происшедшем разрыве в очаге, который распространялся именно в этом направлении. Азимут большой оси эллипса изосейст может варьировать в силу малого количества обследованных пунктов в диапазоне 50°–65°. Эпицентры афтершоков Шалгинского землетрясения также вытянуты в цепочку северо-восточного направления (Az=70°). В [2] сделано предположение о приуроченности очага главного

толчка к поперечному разлому северо-восточного направления. Для выяснения вопроса о наиболее вероятном механизме очага и действующей плоскости разрыва на рисунке 2 объединены все имеющиеся сведения об очаге Шалгинского землетрясения - об азимутах большой оси эллипса изосейст, эпицентрах афтершоков, нодальных плоскостях.

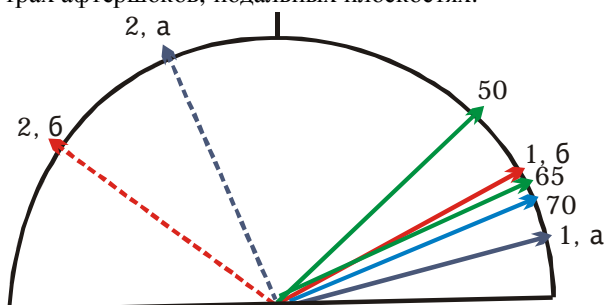


Рисунок 2. Сводные данные об азимутах большой оси эллипса изосейст, эпицентрах афтершоков, нодальных плоскостей в решениях механизмов очагов Шалгинского землетрясения

Здесь: 1а и 2а - азимут первой и второй плоскостей разрыва из варианта решения, приведенного на рисунке 1а, 1б и 2б – азимут тех же плоскостей из второго варианта решения, приведенного на рисунке 1б, зеленые стрелки - диапазон азимутов плоскости разрыва по макросейсмике, синяя стрелка - азимут плоскости разрыва по афтершокам. Из рисунка видно, что разнородные сведения, характеризующие процесс разрывообразования в очаге Шалгинского землетрясения, тяготеют к северо-восточному простиранию плоскости разрыва по азимуту приблизительно 244о (обратный азимут 64о). Таким образом, наиболее вероятно, что движение в очаге произошло вдоль плоскости I б (рисунок 1). Плоскость крутопадающая, по этой плоскости проявился левосторонний сдвиг. Напряжения в районе очага, которые могут вызвать такой разрыв, должны быть близгоризонтальными. При этом, напряжения сжатия направлены близмеридионально, а напряжения растяжения – близшироотно.

МЕХАНИЗМЫ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЖЕЗКАЗГАНСКОЙ ЗОНЫ

Выявленные очаги в Жезказганской зоне расположены очень компактно. Среди исследователей существует предположение о провоцировании сейсмической активности в этом районе интенсивными разработками полезных ископаемых, многочисленными карьерными взрывами, проводимыми здесь в течение десятков лет, Однако здесь имеет место и естественная активность. Район отличается сложной тектонической ситуацией. Все очаги землетрясений приурочены к границе Улутауского мегосинклиория с Жезказганским синклинием и связаны с зоной пересечения разнонаправленных региональных разломов.

Механизмы очагов построены для трёх самых сильных землетрясений, из числа зарегистрирован-

ных в последние годы. Основные параметры этих землетрясений по данным Центра данных ИГИ НЯЦ РК приведены в таблице 4.

Таблица 4. Основные параметры землетрясений Жезказганской зоны

Дата	Время в очаге	Широта, N	Долгота, E	Глубина, км	MPV	K
01.08.1994	04.15.39,7	47,83	67,45	20	4,6	12,2
23.06.1996	04.15.39,7	47,91	67,57	0-5	4,2	11,0
09.09.2002	18.28.26,7 22.26.59,7	47,87	67,41	0	4,1	11,6

Поскольку рассматриваемые землетрясения по энергии слабее Шалгинского, то вполне естественно, что количество определенных знаков первых движений для каждого из них существенно меньше. Знаки определялись, как и в случае Шалгинского землетрясения, по аналоговым сейсмограммам СОМЭ ИС МОН, по цифровым записям станций ИГИ НЯЦ РК, дополнялись знаками из бюллетеней ЦСИ ГС РАН по станциям России. Отмечено, что на одних и тех же станциях наблюдений, знаки первых движений абсолютно одинаковы для всех трёх событий. Степень согласованности наблюдаемых знаков составляет 89% для землетрясений 1994 и 2002 гг. и 80% для землетрясения 1996 г. Механизмы очагов 1996 г и 2002 г определены достаточно точно - разброс значений параметров не превышает 5° и 7° (таблица 5). Количество исходных знаков 15 и 18, соответственно.

Решение механизма землетрясения 1994 г получено только по девяти знакам первых движений довольно слабой интенсивности. Вариации параметров в решении механизма очагов землетрясений довольно значительны – от 9° до 22° (таблица 5).

Таблица 5. Точность определения параметров механизма очагов землетрясений в Жезказганской зоне

Параметры	Центральный угол		
	1994 г.	1996 г.	2002 г.
Ось сжатия (P)	20°	0°	3°
Ось растяжения (T)	11°	2°	7°
Промежуточная ось (N)	22°	5°	7°
Ось А (пл.2)	9°	2°	5°
Ось В (пл.1)	14°	4°	5°

Полученные с использованием той же программы [6] решения механизма очага землетрясений представлены на рисунке 3 и в таблице 6.

Можно отметить, что полученные решения подобны. Это может свидетельствовать о единой системе напряжений, в которых формируются очаги Жезказганской зоны. Характер подвижек в очагах этих землетрясений определён как сдвиго-взброс по обоим нодальным плоскостям, со значительным преобладанием сдвиговой компоненты. Азимут простирания первой плоскости имеет северо-западное направление, которое варьирует от близмеридионального (событие № 3 из таблицы 4) до 319° (событие № 2 из той же таблицы). Угол падения плоскости изменяется от 48° до 71°. Направление осей

напряжения сжатия близгоризонтальное. Для землетрясений № 1 и № 3 оси ориентированы на юго-запад и близмеридионально, а для землетрясения № 2 - отклонены от меридиана на 42° к северо-востоку. Ориентация напряжений растяжения – от близширотного до 139° на юго-восток. Угол наклона к горизонту изменяется от 32°-до 45°.

На рисунок 4 вынесены механизмы очагов всех исследуемых землетрясений Центрального Казахстана.

Видно, что механизмы очагов обеих зон очень похожи. Можно сделать выводы, что во всём регионе Центрального Казахстана существует единая система напряжений. Направления плоскостей совпадают с имеющими место генеральными разломами, а также с поперечными разломами [2]. Одна из nodальных плоскостей этих землетрясений ориентирована на север, северо-запад и довольно круто падает на восток, северо-восток. Вторая из плоскостей простирания также круто падает на юг, юго-восток. Во всех очагах имеет место сдвиг, в некоторых из них, с незначительной взбросовой компонентной.

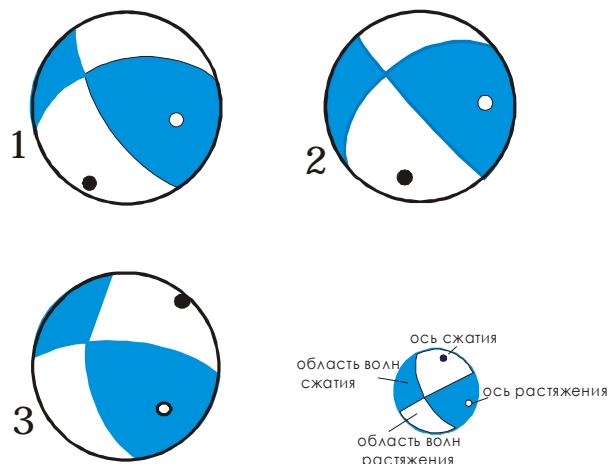


Рисунок 3. Стереогаммы механизма очагов землетрясений 1994, 1996, 2002 гг. (номера соответствуют таблице 6)

Таблица 6. Параметры механизма очагов землетрясений в Жезказганской зоне

N	Год землетрясения	P		T		N		1 плоскость			2 плоскость		
		Azm°	Pl°	Azm°	Pl°	Azm°	Pl°	Str	Dip	Slip	Str	Dip	Slip
1	1994	206	13	102	45	308	42	328	70	136	75	48	27
2	1996	193	25	86	32	313	47	319	86	138	52	48	6
3	2002	42	9	139	38	301	50	354	57	158	96	71	36

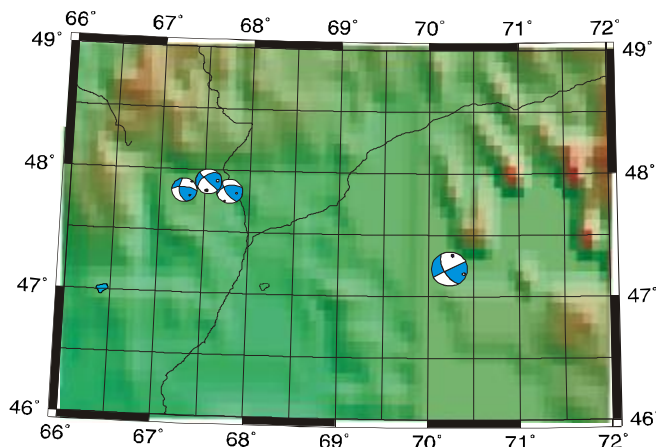


Рисунок 3. Эпицентры землетрясений в Центральном Казахстане с результатами определения механизма очагов

СРАВНЕНИЕ УСЛОВИЙ СЕЙМОТЕКТОНИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНОВ КАЗАХСТАНА

Итак, впервые для Центрального Казахстана получены данные о системе напряжений, приводящих к сейсмическим явлениям в этом регионе. Представляло интерес провести сопоставление полученных результатов с известными данными для других районов Казахстана.

В [7,8] довольно подробно были изучены характеристики сеймотектонической деформации и параметры разрывообразования на Северном Тянь-Шане и в Джунгарии. К настоящему времени накоплен очень представительный статистический мате-

риал по механизмам очагов более чем 7000 землетрясений для юга и юго-востока Казахстана и прилегающих районов Кыргызстана (Северный Тянь – Шань, Южная Джунгария).

При проведении сравнения за направление оси сжатия для районов юго-востока Казахстана и прилегающих территорий Кыргызстана взято рассчитанное направление оси P - тензора сеймотектонической деформации (СТД). Расчёт тензора проводился по ячейкам размером 2°x2°. На рисунке 5 приведена карта, на которую вынесены направления оси P - тензора СТД и направления осей напряжений сжатия для землетрясений Центрального Казахстана.

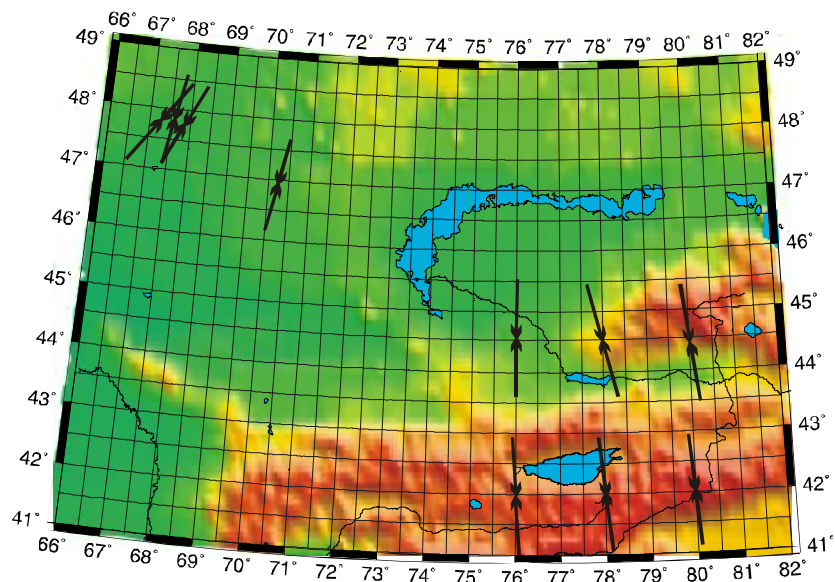


Рисунок 3. Карта осей напряжения сжатия

Выше уже отмечалось, что для Северного Тянь-Шаня и Джунгарии характерно устойчивое близмеридиональное направление оси напряжений сжатия, как по всей территории, так и во времени, а также для разных энергетических и глубинных диапазонов. Угол её наклона к горизонту составляет 0° - 10° , что свидетельствует о близгоризонтальном сжатии. Данные, полученные для Центрального Казахстана, по двум исследованным зонам показывают, что направления осей сжатия также близгоризонтальны (3° - 25° к горизонту), но они отклонены от меридиана на угол от 13° до 42° . Можно сказать, что все землетрясения в Центральном Казахстане произошли в условиях действующих в районе напряжений сжатия север - северо-восточного направления.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Благодаря тому, что в последние годы начала действовать новая цифровая сеть станций НЯЦ РК, появилась возможность совместного использования данных этой и других сейсмологических сетей, действующих на территории Казахстана, а также благодаря привлечению данных, получаемых станциями Кыргызстана и России, удалось дополнить полученные ранее сведения о сейсмичности Центрального Казахстана очень важной информацией о механизмах очагов произошедших землетрясений. Получены совершенно новые результаты о системе напряжений в этом регионе. По ряду характеристик ситуация в Центральном Казахстане подобна Северному Тянь-Шаню и Джунгарии. Так, действующие напряжения сжатия близгоризонтальны и незначительно отклонены от меридиана. Если говорить о величинах напряжений

сжатия, то, по - видимому, на Тянь-Шане они больше, чем в Центральном Казахстане, поскольку большинство землетрясений с магнитудой $M > 4$ там имеет тип подвижек со значительной взбросовой компонентной (взбросы, взбросо-сдвиги). Здесь же все подвижки характеризуются сдвигом (либо незначительной взбросовой компонентной). Конечно, для уверенных выводов имеющаяся статистика пока недостаточна. Однако то, что все исследованные землетрясения в Центральном Казахстане имеют однотипные решения механизма очагов, говорит о достаточно надёжной базе для интерпретации. Следует подчеркнуть, что анализировались только сильные события, с магнитудой $M > 4$, которые несут достоверную информацию о действующей региональной системе напряжений, поскольку их очаги приурочены к главным региональным разломам, в то время как слабые землетрясения могут снимать локальные напряжения, характерные лишь для области, ближайшей к их эпицентру.

Полученный материал даёт важную информацию для построения геодинамической модели огромного региона. Наряду с имеющимися богатыми данными по геологии и тектонике Центрального Казахстана, новыми данными о сейсмичности, данными последних лет по глобальному позиционному зондированию больших территорий, материалы по сеймотектоническому деформированию, полученные на основе механизмов очагов землетрясений, позволят переосмыслить происходящие в Центральном Казахстане процессы и перейти к качественно новым представлениям о сейсмической опасности данного региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. СН и П РК В.1.2-4.48. Строительство в сейсмических районах/Комитет по жилищной и строительной политике Министерства энергетики, индустрии и торговли РК. - Алматы, 1998, - 39с.
2. Михайлова Н.Н., Неделков А.И., Соколова И.Н., Казаков Е.Н., Беляшов А.В. Шалгинское землетрясение в Центральном Казахстане 22.08. 2001 г//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2002. - Вып. 2. - С. 78-87.
3. Михайлова Н.Н., Неделков А.И., Соколова И.Н. О сейсмических событиях в малоактивных и асейсмичных районах Казахстана//Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов.- Воронеж, 2001. - С. 131-133.
4. Михайлова Н.Н. Новые данные о землетрясениях в «асейсмичных» районах Казахстана и карта сейсмического районирования//Исследования сейсмостойкости сооружений и конструкций/Труды Каз НИИССА, 2000. - Вып. 20(30). - С. 80-88.
5. N.N. Mikhailova, A.V. Belyashov Earthquakes in Central Kazakhstan – new view on seismic hazard in the region //Volumes of Abstracts of Symposium on Seismology/Earthquake Hazard Assessment and Risk Management. Kathmandu. Nepal, 2002. - С. 112-113.
6. Masaki Nakamura. Determination of focal mechanism solution using initial motion polarity of P and S waves//Physics of the Earth and Planetary Interiors, – 2002. - № 130. – Pp. 17-29.
7. Михайлова Н.Н., Власова А.А. Поле сейсмостектонической деформации и параметры разрывообразования на Северном Тянь-Шане//Изв. АН Каз ССР. Сер. геол., – 1991. - № 4 - С. 87-92.
8. Михайлова Н.Н. Сейсмическая опасность в количественных параметрах сильных движений грунта: Автореферат дисс. докт. физ.-мат. наук. – М., 1996. - 48 с.

ОРТАЛЫҚ ҚАЗАҚСТАНДА ЖЕР СІЛКІНУЛЕР ОШАҚТАРЫНЫҢ МЕХАНИЗМЫ ТУРАЛЫ

¹Михайлова Н.Н., ²Полешко Н.Н.

¹ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов қ
²ҚР БҒМ Сейсмология институты, Алматы қ

Қазақстанның «асейсмкалық» аталатын аудандарында жер сілкінулер туралы ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институтының мамандары алған бірінші мағлұматтар келтірілген [2-4]. Орталық Қазақстан, сейсмикалық белсенді зоналар болуы туралы қазіргі уақытқа дейін мәлімсіз болған аудандарға жатады. ҚР ҰЯО станциялары жүйесі пайдалнуға енгізілген соң осында магнитудасы 5,0 бір қатар жер сілкінулер тіркелген. Бұл ауданның сейсмикалық күйінің сипаттамалары белгіленген. Алынған нәтижелер Орта Азияның аумағында геодинамикалық процесстері өту туралы түсінік алуға маңызды.

ABOUT MECHANISMS OF EARTHQUAKE FOCUSES OF CENTRAL KAZAKHSTAN

¹N.N. Mikhailova, ² N.N. Poleshko

¹Institute of Geophysical Research NNC RK
²Institute of Seismology MES RK

In [2-4] first information about earthquakes in so-called “aseismatic” regions of Kazakhstan obtained by the IGR NNC RK specialists were published. Until recently central Kazakhstan was not in part of seismically active regions of Republic. With putting into operation the NNC RK station network, a number of earthquakes with magnitude up to 5,0 were registered. In the present work focus mechanisms for two seismically active zones of central Kazakhstan were determined for the first time. Mode of deformation characteristics of this region which compared with seismotectonic deformation parameters of Northern Tien-Shan and Djungary were established. Obtained results are very important for understanding the geodynamic processes on vast territory of Central Asia.