

УДК 550.348(574.3)

О МЕХАНИЗМАХ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

¹⁾Михайлова Н.Н., ²⁾Полешко Н.Н.¹⁾Институт геофизических исследований, Казахстан, Курчатов, Казахстан²⁾Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция МОН РК, Алматы, Казахстан

Впервые систематизированы и обобщены сведения о механизмах очагов сильных землетрясений Восточного Казахстана за 90-е годы и более слабых землетрясений за последние годы, решения по которым получены с использованием данных новых станций НЯЦ РК. Определены направления осей главных действующих напряжений и наиболее вероятные плоскости подвижек. Рассмотрено пространственное положение очагов землетрясений, характеризующихся различными типами движений. Полученные новые данные имеют важное значение как для понимания геодинамических процессов, происходящих в Восточном Казахстане, так и для их соотнесения с общей ситуацией по сеймотектонической деформации всего региона Центральной Азии.

В течение трёх последних десятилетий в Казахстане проводятся массовые определения механизмов очагов землетрясений [2 - 6]. При этом используется стандартная методика А.В.Введенской, базирующаяся на знаках первых движений в Р-волне для построения стереограммы механизма очага, определения ориентации трёх главных осей напряжений и положения двух равновероятных нодальных плоскостей [1].

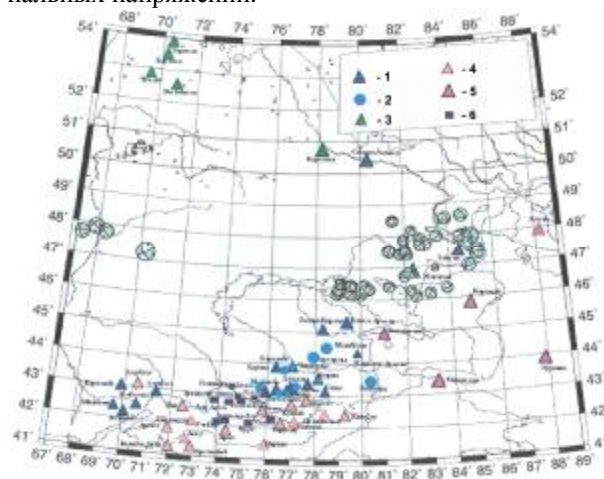
В [2] впервые обобщены результаты массового определения механизмов очагов землетрясений Казахстана, произошедших с 1975 г. по 1987 г. В [3] дана характеристика сеймотектонической деформации по результатам анализа механизмов очагов. Выполненные исследования относятся к ограниченной территории Северного Тянь-Шаня и частично Джунгарии, поскольку именно здесь происходит основная масса землетрясений и здесь сконцентрирована сеть сейсмических станций СОМЭ МОН РК.

С развитием системы наблюдений в других районах Казахстана, в частности, сети станций Национального ядерного центра РК на севере и востоке Республики, появилась возможность изучения сейсмичности и определения механизмов очагов в Центральном и Восточном Казахстане. В [4] впервые даны сведения о механизмах очагов землетрясений Центрального Казахстана, в [5] приведены новые сведения о сейсмическом режиме Восточного Казахстана по данным сейсмической группы PS23-Маканчи. Показано распределение очагов в пределах Восточного Казахстана на новом энергетическом уровне, определены параметры повторяемости событий, сделаны выводы о достаточно высоком уровне сейсмической опасности.

В настоящей статье представлены результаты определения механизмов очагов землетрясений Восточного Казахстана, произошедших за период 1990 – 2002 гг. Первыми событиями в этом районе, для которых были изучены механизмы очагов, стали два землетрясения в районе озера Зайсан с магнитудой $M_s = 6,6$ и $M_s = 6,1$. Именно потому, что землетрясения были очень сильными, удалось собрать данные о знаках первых вступлений по большому числу станций разных сетей наблюдений, располо-

женных в Казахстане, Кыргызстане, России, Китае. В определении механизмов первого и второго сильных зайсанских землетрясений участвовали данные 124 и 89 станций, соответственно.

Для более слабых землетрясений возможность определений механизмов появилась с открытием станций НЯЦ РК. Удалось снизить порог энергетического класса землетрясений, используемых для определения механизмов очагов, до $K=9$. На рисунке 1 дан обзор стереограмм решений механизмов очагов землетрясений и показано расположение станций, данные которых были использованы для их получения. Расчёты проведены с применением программы Масаки Накамура [7]. Механизмы очагов определены в общей сложности для 41 землетрясения с $K \geq 9$. В таблице 1 приведены параметры механизмов только наиболее сильных землетрясений Восточного Казахстана - с $K > 12$, поскольку именно по механизмам сильных землетрясений можно наиболее достоверно судить о системе главных региональных напряжений.



1 – аналоговые сейсмические станции СОМЭ МОН РК ; 2 – цифровые сейсмические станции СОМЭ МОН РК ; 3 – сейсмические группы НЯЦ РК ; 4 – сейсмические станции Кыргызстана, 5 – сейсмические станции СУАР КНР, 6 – станции системы KNET

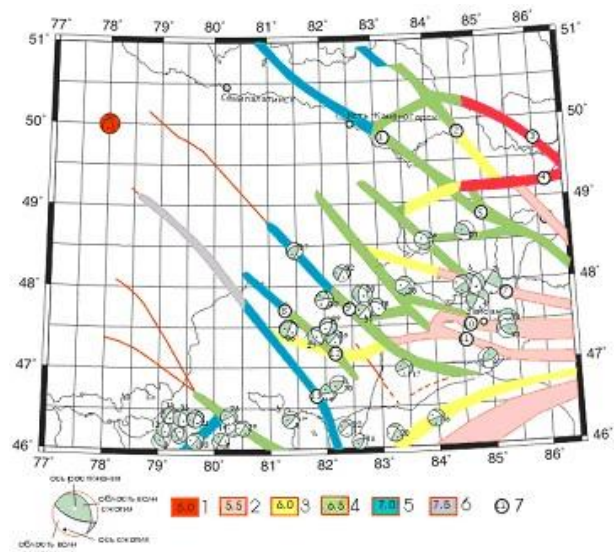
Рисунок 1. Схема расположения сейсмических станций и очагов землетрясений, для которых определены механизмы

Таблица 1. Параметры механизмов очагов землетрясений Восточного Казахстана с $K > 12$

№	K	P		T		N		1 плоскость		2 плоскость	
		Azm ^o	Pl ^o	Azm ^o	Pl ^o	Azm ^o	Pl ^o	Str/ Dip /Slip	Str/ Dip/ Slip	Str/ Dip/ Slip	Str/ Dip/ Slip
3	16,8	159/1	69/10	252/80		25/83/7	294/84/174				
4	15,8	155/11	248/18	38/77		203/84/22	109/68/17				
5	13,5	154/49	258/12	0/36		17/68/-49	133/45/-147				
6	13,8	130/3	38/57	224/33		13/51/47	250/5/132				
13	12,9	4/6	100/55	270/34		64/60/50	304/49/138				
18	12,2	116/65	223/7	316/26		108/44/-124	334/34/-42				
21	12,6	202/4	297/61	119/29		267/55/53	141/49/130				
23	13,6	142/68	251/5	338/22		1/55/-64	140/43/-122				
27	12,2	120/83	232/4	320/7		134/41/-99	326/49/-81				
28	12,0	276/51	168/16	67/35		231/69/-128	117/43/-33				
40	12,5	212/38	319/21	72/45		182/47/-165	82/79/-43				

Примечание: номера в первом столбце соответствуют номерам землетрясений на рисунке 2; P, T, N - оси напряжений сжатия, растяжения, промежуточного; Azm^o Pl^o - азимут и угол с горизонталью, характеризующие ориентацию осей напряжений; Str, Dip – азимут и угол падения с горизонталью, характеризующие ориентацию двух нодальных плоскостей; Slip - угол скольжения, характеризующий вектор первого движения.

На рисунке 2 стереограммы механизмов очагов наложены на карту сейсмогенерирующих зон района [8].



1-6 сейсмopotенциал сейсмогенерирующих зон Тарбагатай-Алтайского района в значениях возможных магнитуд [8], 7 - номер зоны

Рисунок 2. Стереограммы механизмов очагов землетрясений

Все наиболее сильные очаги связаны с Северо-Зайсанской, Южно-Саурской, Тарбогатой и Калба-Чингизской сейсмогенерирующими зонами, в которых возможно возникновение землетрясений с $M = 6 - 7$. Сильнейшие Зайсанские землетрясения 14 июня и 3 августа 1990 г. произошли в Северо-Зайсанской сейсмогенерирующей зоне, которая протягивается по северному берегу озера Зайсан и связана с Западно – Калбинским глубинным разломом, имеющим северо-западное простирание. Для очагов этих землетрясений характерен сдвиг по обеим нодальным плоскостям, одна из которых имеет северо-восточное, а другая - северо-западное простирание. Оси напряжений сжатия и растяжения близгоризонтальны с близмеридиональной ориентацией сжатия и близширотной - растяжения. С привлечением дру-

гих независимых данных о макросейсмическом поле и пространственном распределении очагов афтершоков было выдвинуто предположение, что разрыв произошел по плоскости северо-западного простирания и имел характер правостороннего сдвига. В этой же зоне находится эпицентр афтершока, произошедшего 27 сентября 1990 г. (№ 5, таблицы 1). Его механизм определен по данным 30 станций. Одна из плоскостей имеет северо-западное простирание и падение на юго-запад под углом 45° , тип подвижки по этой плоскости - сдвиго-сброс. По более крутой близмеридиональной плоскости произошел сброс с небольшой сдвиговой компонентой.

Установлено, что подавляющее большинство землетрясений, очаги которых расположены между Северо-Зайсанской, Северо-Саурской, Тарбогатой и Калба-Чингизской сейсмогенерирующими зонами, имеют одну из плоскостей северо-западного простирания, по которой произошел либо сдвиг, либо сдвиг с небольшой сбросовой компонентой. По второй, крутой плоскости, подвижка - сбросо-сдвиг с преобладанием вертикальной компоненты. Лишь в нескольких очагах, в том числе у землетрясения с $K = 13,6$ (№ 23 таблицы 1), по обеим плоскостям тип подвижки - сброс с небольшой сдвиговой компонентой. В очагах землетрясений 2002 г. (№ 40 и № 41 таблицы 1) вместо плоскости, ориентированной на северо-запад, появляется близмеридиональная плоскость с подвижкой сдвиго-сбросового типа. Такие же типы механизмов очагов наблюдаются и у землетрясений Восточно-Джунгарской сейсмогенерирующей зоны, хотя здесь отмечены толчки только средней силы с $K = 9-10$.

Совершенно другой тип механизма наблюдается в очаге землетрясения, произошедшего 19 августа 1991 г. с $K = 13,8$ (№ 6 таблицы 1). Эпицентр очага приурочен к южной границе Южно-Саурской зоны. Плоскости разрыва ориентированы на северо-восток, вкрест простирания основных разломов. Подвижка по обеим плоскостям определена как взброс, сдвиговая составляющая очень незначитель-

на. Взбросовая подвижка наблюдается также и в очаге землетрясения с $K = 12,6$ (№ 21 таблицы 1), эпицентр которого расположен севернее озера Зайсан. Одна из плоскостей простирается на северо-запад, другая - близширотная и согласуется с простираемостью зоны, к которой приурочен эпицентр. Взбросовый тип подвижек характерен и для ряда других слабых землетрясений Восточного Казахстана: их эпицентры заключены между Восточно-Джунгарской на юго-западе и Северо-Саурской и Тарбагатайской зонами на северо-востоке. Одна из плоскостей для этих очагов ориентирована на северо-запад, и подвижка по этой плоскости - сдвиговая. Другая плоскость - крутопадающая, по которой произошла вертикальная подвижка.

На рисунке 3 представлено распределение изучаемых очагов Восточного Казахстана по типам подвижек. Для дислокаций в очагах характерно преобладание сдвиговой подвижки со слабой сбросовой или взбросовой компонентой - сдвиго-взбросы и сдвиго-сбросы.

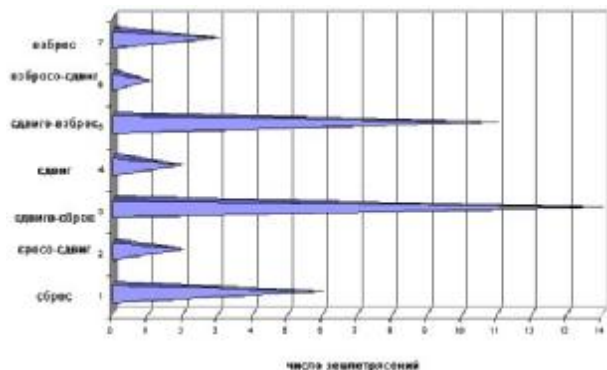
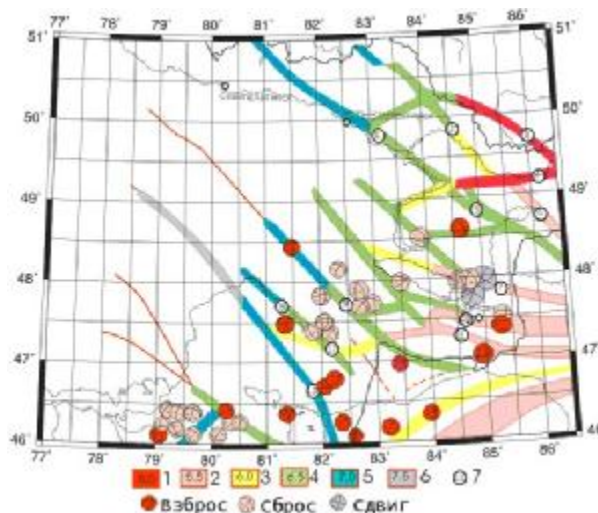


Рисунок 3. Гистограмма основных типов механизмов землетрясений Восточного Казахстана

В большинстве очагов присутствует плоскость северо-западного простираения, в том числе и у сильнейших очагов Зайсанских землетрясений 1990 г. Поскольку в большинстве очагов ориентировка одной нодальной плоскости и характер дислокации по ней совпадают с параметрами, определёнными для землетрясения 1990 г., можно предположить, что именно плоскость этого направления является наиболее вероятной из двух равновероятных для большинства очагов Восточного Казахстана, т.е. разрывы в очагах происходят по плоскостям северо-западного простираения и характеризуются сдвиго-сбросами.

Для изучения закономерностей распределения очагов с разными типами подвижек в пространстве проведена их градация по трем основным группам - взбросы, сбросы и сдвиги. Ко взбросам отнесены все очаги, где присутствует взбросовая компонента по одной из плоскостей (взбросо-сдвиг, сдвиго-взброс, взброс). Аналогично отнесение очагов к сбросам. К сдвигам отнесены очаги, у которых отмечен чистый сдвиг по обеим компонентам. Распределение землетрясений разных типов подвижек по площади пока-

зано на рисунке 4, из которого виден его неслучайный характер. Выделяются две зоны преобладания очагов сбросового типа, обрамлённые «взбросовыми» очагами. Одна зона, назовём её Зайсанской, находится северо-восточней Южно-Саурской (11), Тарбагатайской (12) и Калба – Чингизской (8) зон. Вторая – юго-западнее Восточно – Джунгарской зоны. Между ними располагается зона взбросов, представленная землетрясениями в основном средней силы с $K = 9 - 10$. Наиболее сильные землетрясения взбросового типа с $K = 13,8; 12,9; 12,6$ произошли на границе зон с разными типами движений.

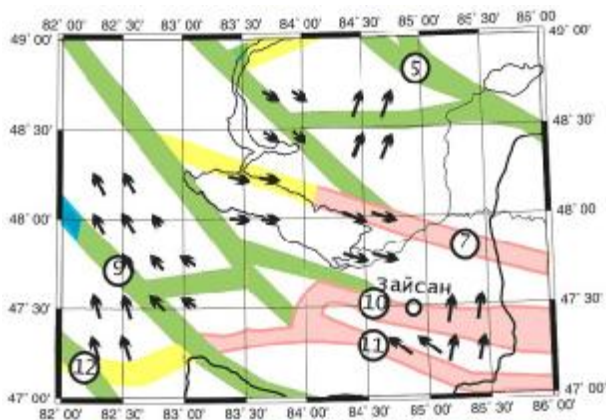


1 - 6 сейсмopotенциал сейсмopotенерирующих зон Тарбагатай-Алайского района в значениях возможных магнитуд [8], 7 - номер сейсмopotенерирующей зоны

Рисунок 4. Эпицентры землетрясений с разными типами механизмов очагов

Наличие зон с разными типами подвижек свидетельствует о том, что в них действуют разные системы напряжений. На границах таких зон наиболее вероятно возникновение сильных землетрясений. Принимая во внимание сейсмopotенциал сейсмopotенерирующих зон, их магнитуда может достигать $M_s = 6,0 - 7,5$.

На рисунке 5 показаны направления осей напряжения сжатия Тарбагатай – Алтайского района, полученные в результате расчёта тензора сейсмотектонической деформации по ячейкам $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. Чётко видна неоднородность в направлении осей. Обычно направление осей напряжений сжатия очень устойчиво и отражает региональное поле действующих напряжений. В этом районе видно, что существует локальная область, не согласующаяся с региональным полем напряжений. Возможно, что причиной этого нарушения явились процессы подготовки сильнейшего Алтайского землетрясения 27 сентября 2003 г. с $M_s = 7,3$, произошедшего вблизи этой области. Интересно будет представлять исследование здесь поля напряжений спустя несколько лет.



В кружках - номер сейсмогенерирующей зоны (согласно рисунка 2)

Рисунок 5. Направление осей напряжений сжатия Тарбагатай-Алтайского района

После получения достаточно полной информации о действующих напряжениях в районе Восточного Казахстана появилась возможность рассмотреть полную картину распределения региональных напряжений на всей территории Казахстана. На рисунке 6 приведена карта направления осей напряжений сжатия. Для Северного Тянь-Шаня, Джунгарии и Восточного Казахстана представлены направления оси Р тензора сеймотектонической деформации, рассчитанные по ячейкам размером $2^{\circ} \times 2^{\circ}$. Это было возможно, поскольку имелось достаточное количество событий для проведения подобных расчётов. Для Центрального Казахстана показаны непосредственные данные по имеющимся механизмам очагов [4].

Как можно видеть из рисунка 6, в Восточном Казахстане направление осей напряжения сжатия характеризуется северо-западным направлением. Угол отклонения от меридиана составляет порядка 40° . В Центральном Казахстане оси напряжения сжатия отклонены от меридиана к востоку. Таким образом, с переходом от Северного Тянь-Шаня к более северным районам происходит изменение картины

действующих региональных тектонических напряжений, что находит отражение в отклонении осей от близмеридионального направления к западу в Восточном Казахстане и востоку в Центральном Казахстане. На фоне регионального поля существуют локальные области, где наблюдаются развороты осей вплоть до близширотного направления. В этих областях характерно преобладание растягивающих напряжений над сжимающими, что определяет другую ориентировку плоскостей подвижек и типы движений в очагах.

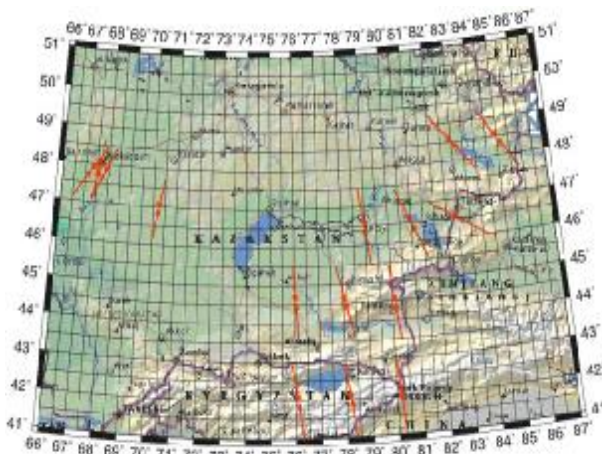


Рисунок 6. Карта направлений осей напряжения сжатия для территории Казахстана

Представленные результаты о механизмах очагов в Восточной части Казахстана и выводы в отношении поля сеймотектонической деформации будут уточняться и дополняться по мере получения новых экспериментальных данных по сейсмическим событиям в этом районе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Введенская А.В. Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций. - М. - 1969. - С. 47 - 66.
2. Михайлова Н.Н., Власова А.А. и др. Каталог землетрясений Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий (в 2^х томах). - Алма-Ата: Наука. - 1990.
3. Михайлова Н.Н., Власова А.А. Поле сеймотектонической деформации и параметры разрыво-образования на Северном Тянь-Шане//Изв. АН Каз ССР, серия геологическая. - 1991. - № 4. - С. 87 - 92.
4. Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. О механизмах очагов землетрясений Центрального Казахстана// Вестник/НЯЦ РК. - Курчатов: НЯЦ РК, 2003. - Вып. 2. - С. 100 - 105.
5. Михайлова Н.Н., Вольф Н.А., Синёва З.И. Сейсмичность районов, окружающих новые сейсмические группы Маканчи и Каратау//Вестник НЯЦ РК. - Курчатов: НЯЦ РК, 2003. - Вып. 2. - С. 94 - 99.
6. Нурмагамбетов А., Сыдыков А., Тимуш А.В., Михайлова Н.Н. и др. Зайсанское землетрясение 14 июня 1990 г.//Землетрясения в СССР в 1990г.- М.: ОИФЗРАН, 1996. - С. 54 - 60.
7. 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.
8. Курскеев А.К., Тимуш А.В., Шацкилов В.И., Сыдыков А. и др. Сейсмическое районирование Республики Казахстан. - Алматы. - 2000. - 220 с.

ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАННЫҢ ЖЕРСІЛКІНУЛЕР ОШАҚТАРЫНЫҢ МЕХАНИЗМДЕРІ ТУРАЛЫ

¹⁾Михайлова Н.Н., ²⁾Полешко Н.Н.

¹⁾*ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

²⁾*ҚР БҒМ Тәжірибелі-әдістемелік сейсмологиялық экспедициясы, Алматы, Қазақстан*

Алғашқы рет Шығыс Қазақстандағы жерсілкінулер ошақтарының механизмдері туралы мағлұматтар топтастырылған. Әрекеттегі бас кернеулері біліктерінің бағыттары және жылжыуының ең ықтимал жазықтары анықталған. Қозғалыстарының әр түрлеріндегі жерсілкінулер ошақтарының кеңістік жайы қаралған. Алынған жаңа деректер Шығыс Қазақстанда өтіп жатқан геодинамикалық процесстерін ұғыну үшін де, және оларды Орта Азияның барлық аймағындағы сейсмодектоникалық деформация бойынша жалпы жағдайымен қатынасын белгілеу үшін маңызды болып келеді.

EARTHQUAKE SOURCES MECHANISMS OF EASTERN KAZAKHSTAN

¹⁾N.N. Mikhailova, ²⁾N.N. Poleshko

¹⁾*Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

²⁾*Seismologic scientific-methodical expedition MES RK, Almaty, Kazakhstan*

For the first time data on mechanisms of strong earthquakes sources in Eastern Kazakhstan in 90's and weaker ones for the last years were arranged. Interpretation results were obtained by means of obtained data from NNC RK stations. Main active tensions axis directions and mostly probable plane sharing were determined. Spatial location of earthquake sources with different types of motions was reviewed. New data were obtained that had important value as for understanding of geodynamic process in Eastern Kazakhstan and as for their correlation with general situation on seismotectonic deformation of the whole Central Asia region.