

УДК 550.348(511:66)

СЕЙСМИЧНОСТЬ И ХАРАКТЕР НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В СЛАБОСЕЙСМИЧНЫХ РАЙОНАХ КАЗАХСТАНА

Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Приводятся результаты исследования территории Казахского щита, считавшейся ранее асейсмичной. Установлено, что здесь регулярно происходят землетрясения с магнитудой до 5 и более, эпицентры которых расположены по периметру Центрального свода с группировкой в три основные зоны в узлах пересечения основных разломов: Изучение фокальных механизмов землетрясений показало, что сейсмичность Казахского щита в целом обусловлена единой системой напряжений, характеризуемой региональным субгоризонтальным сжатием в северо-западном направлении.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении почти полувековой истории развития детальных сейсмических исследований в Казахстане основное внимание сейсмологов было сосредоточено на сейсмоактивных районах юга и юго-востока страны. Изучению сейсмичности, сейсмического режима, сейсмической опасности в этих районах посвящено большое количество статей и монографий. Остальная территория страны долгое время оставалась «белым пятном» в отношении ее сейсмической активности. Существовало представление, что эта территория является асейсмичной, здесь не могут происходить землетрясения, вызывающие сотрясения с интенсивностью 6 и более баллов. Этот взгляд на сейсмичность нашел отражение и в картах общего сейсмического районирования (ОСР), являющихся составной частью Строительных Норм и Правил (СНиП), на которых сейсмоопасные зоны сосредоточены только в районах южного, юго-восточного и восточного Казахстана. Такому положению способствовали, во-первых, расположение сейсмических станций Казахстана, сосредоточенных в основном в районах Северного Тянь-Шаня и Джунгарии, во-вторых, недоступность в предыдущие годы материалов Международных центров данных, отсутствие доступа через Интернет к архивам глобальных сетей наблюдений.

В последние десятилетия ситуация начала изменяться. Поворотным моментом в изучении сейсмичности с более полным охватом всей территории Казахстана послужило создание в 90-х годах прошлого столетия новой сети современных цифровых станций Института геофизических исследований (ИГИ), входящих в Международные системы мониторинга. В конце XX – начале XXI века было закончено строительство и ввод в эксплуатацию пяти уникальных сейсмических групп и нескольких трехкомпонентных станций, расположенных по периметру Казахстана. Стала доступной регистрация сейсмических событий не только на всей территории страны, но и за ее пределами. Уже в 2001 г. станциями ИГИ было зарегистрировано, а затем специальной экспедицией

исследовано первое, достаточно сильное землетрясение в считавшемся асейсмичным Центральном Казахстане, получившее название Шалгинского. Оно проявилось в эпицентре с интенсивностью 6 баллов, имело магнитуду $M_w=5.4$ [1]. С точки зрения существующих карт сейсмического районирования землетрясение такой силы в данном районе было невозможно. После Шалгинского землетрясения продолжилось изучение сейсмичности так называемых «асейсмичных» районов как с привлечением архивных мировых данных, так и по современным данным сейсмического мониторинга, что позволило открыть ряд ранее неизвестных сейсмоактивных районов в разных частях страны [2 - 5]. В данной статье рассматривается сейсмичность эпигерцинского Казахского щита охватывающего территорию, ограниченную координатами $43,5 - 54,0^\circ$ с. ш., $65,0 - 79,0^\circ$ в. д. (рисунок 1).

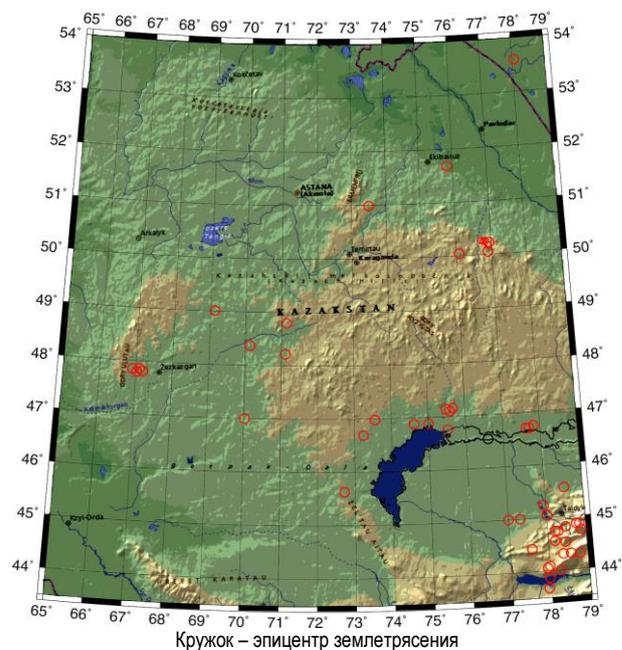
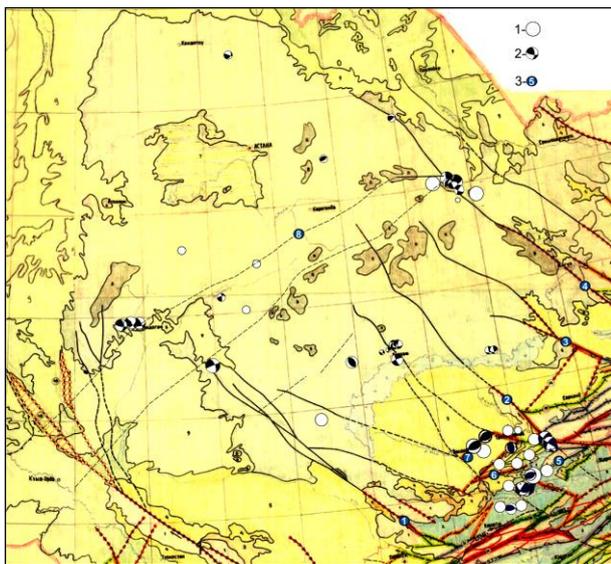


Рисунок 1. Район исследования

Казахский щит представляет собой огромный свод, который на юго-востоке примыкает к области горообразования, а во всех других направлениях погружается под мезокайнозойские отложения [6]. Вдоль южной и юго-восточной окраины в полосе взаимодействия щита с горными сооружениями Джунгарии расположена Прибалхашская впадина.

Сейсмотектоника Казахского щита

Казахский щит представляет собой обширный по площади выступ фундамента Туранской платформы. Естественными ограничителями щита являются субтрансформные региональные разломы-сдвиги, простирающихся из коллизионной области на северо-запад, вплоть до Русской плиты (рисунок 2).



1 - 2 – эпицентры землетрясений:

- 1 – фокальный механизм не определен, 2 – стереограмма фокального механизма; 3 – номер разлома: 1 - Жалаир-Найманский; 2 - Западно-Джунгарский; 3 - Восточно-Джунгарский; 4 - Чингиз-Алакольский; 5 - Алтынэмельский; 6 - Малайсаринский; 7 - Баканаский; 8 - Жезказган-Темиртауский

Рисунок 2. Эпицентры землетрясений платформенных структур на карте сейсмоактивных разломов РК [6].

С влиянием этих разломов связаны особенности структуры новейшей деформации эпигерцинского щита, а именно: все структуры второго порядка (новейшие поднятия и впадины) расположены дискордантно к общему северо-западному направлению новейших движений верхнекоровых пластин, отражая транспрессию со стороны орогенического пояса. В соответствии с этой особенностью новейшей деформации амплитуды новейших движений закономерно возрастают с северо-запада на юго-восток от 200 до 1000 м и более. Наиболее крупным поднятием щита является Центрально-Казахстанский свод, высоты которого ступенчато понижаются к северу и югу, а на востоке свод замыкается системой хребтов Чингиза. Северо-западному направлению движения верхнекоровых пластин, связанному с тангенциальным сжатием, соответствует также

асимметричность Прибалхашской впадины, консолидированный фундамент которой постепенно погружается в юго-восточном направлении. Северное побережье Балхаша сложено коренными палеозойскими породами, сильно изрезанными прямолинейными сбросами тектонического происхождения [6]. Южное побережье Балхаша сложено песчаными четвертичными породами, наиболее глубокой частью Прибалхашской впадины по геофизическим данным является Баканасский прогиб (1200 м), расположенный вблизи Баканасского разлома.

Система разломов в пределах Казахского щита характеризуется широким диапазоном направлений, что свидетельствует о мобильности земной коры в неотектоническую эпоху, выделяются системы северо-западного – северо-восточного направлений (СЗ–СВ) и меридионально-широтных. Наибольшую роль в новейшем структурообразовании играют линейменты северо-западного и северо-восточного направлений (рисунок 2). Разломы СЗ направления – это упомянутые выше субтрансформные сдвиги, на этапе альпийского тектогенеза, они характеризуются устойчивостью сдвиговых смещений в совокупности с вертикальными перемещениями, устойчивостью азимута 320 - 330° и выдержанностью шага проявления (260 - 300 км) между ними. Два из наиболее значительных – Чингиз-Алакольский и Жалаир-Найманский региональные сдвиги, – являются естественными ограничителями Центрально-Казахстанского свода. Разломы СВ простираются являются секущими по отношению к складчатым структурам фундамента, главные из них прослеживаются из плитного комплекса в консолидированный фундамент щита, в том числе Жезказган-Темиртауский, ограничивающий Центрально-Казахстанский свод с северо-запада.

Для пограничного с Казахским щитом Южно-Джунгарского комплекса морфоструктур также характерно дискордантное расположение к северо-западному направлению субтрансформных региональных разломов-сдвигов. В условиях, переходных к платформенным, здесь отмечается слабая дифференциация тектонических движений. Главными структурными формами Южно-Джунгарского комплекса являются Малайсаринская и Алтынэмельская мегантиклинали северо-восточного направления. Эти мегантиклинали пересекают одноименные взбросы, проникающие в земную кору на глубину до 20 км. Алтынэмельский взброс ограничивает рассматриваемый регион с юго-востока и по данным сейсмического районирования Казахстана [6] имеет максимальный сейсмopotенциал на рассматриваемой территории, здесь возможны землетрясения с магнитудой 7,0. Все эпицентры наиболее сильных землетрясений, зарегистрированных в пределах рассматриваемого региона, приурочены к дизъюнктивным узлам пересечения разломов СЗ – СВ направления.

СЕЙСМИЧНОСТЬ

Инструментальные наблюдения за сейсмическими событиями территории Казахстана проводятся, начиная с 1927 г., а детальные (сетью высокочувствительных станций) – с 1950 г. В пределах Казахского мелкосопочника (45 – 54° с.ш. 65 - 79° в.д.) совместный анализ данных из различных источников позволил составить каталог землетрясений, включивший 37 событий с магнитудой в диапазоне $M=2 - 6$. Собранный материал сильно неоднороден, поскольку в исследуемом районе отсутствовали систематические сейсмические инструментальные наблюдения в течение продолжительного срока [5]. Международные сети и Центры данных охватывающие этот район, имеют разный набор станций, размещенных на разных и довольно значительных расстояниях от изучаемой территории и зарегистрировали события с разной пороговой энергией, локализуя их с разной точностью. Использован различный подход к оценкам магнитуд и энергии землетрясений в разное время и в разных центрах обработки.

Число зарегистрированных землетрясений в каталоге увеличилось после начала функционирования в 1999 г. Центра сбора и обработки специальной сейсмической информации (далее ЦСОССИ) Института геофизических исследований. Расширился энергетический диапазон событий в сторону низких энергий. Более представительный материал о сейсмических событиях собран для полосы взаимодействия щита со структурами Южной-Джунгарии, где зарегистрировано более 3000 землетрясений, из них 96% составляют слабые землетрясения с энергетическим классом $K \leq 10$. Анализ имеющихся каталогов показал, что в пределах южной части региона представительная регистрация землетрясений с $K \geq 12$ обеспечивается с 1930 г., с $K \geq 13$ – с 1920 г., с $K \geq 14$ – с 1900 г. и с $K \geq 15$ со второй половины XIX века [7]. По площадному распределению эпицентров землетрясений (рисунок 2) рассматриваемая территория разделяется на слабоактивную – в пределах мелкосопочника и Прибалхашской впадины, – и относительно сейсмоактивную зону – сочленение щита со структурами Южной-Джунгарии. Эпицентры относительно сильных землетрясений (с $K \geq 12$) во второй из них приурочены к зонам максимальной концентрации эпицентров слабых толчков (рисунок 3).

Наблюдаемое различие по сейсмичности горной части и глубоко просевшего блока Прибалхашской впадины отвечает различию в их геологическом строении – поднятый блок сложен породами палеозойского цоколя, а в опущенном блоке трещиноватый палеозойский остов, где обычно возникают очаги землетрясений, надежно прикрыт мощным чехлом рыхлых отложений кайнозоя, насыщенных поровыми и пластовыми водами [6]. Тем не менее, как показывают последние данные сейсмического мониторинга, в пределах просевшего блока Прибалхаш-

ской впадины, в том числе Баканасского прогиба, регулярно регистрируются слабые события.

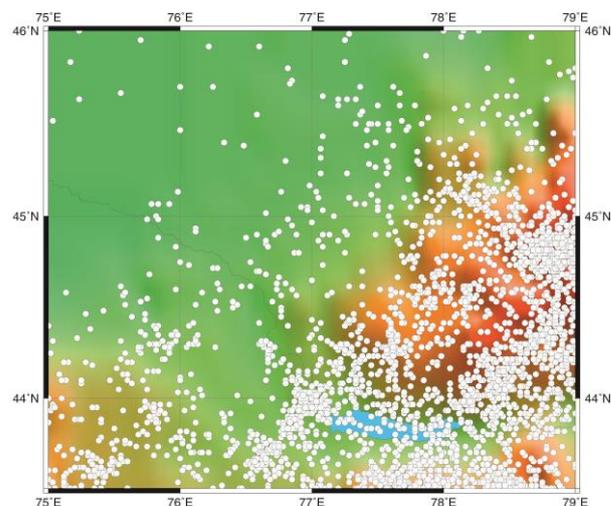


Рисунок 3. Карта эпицентров землетрясений за период 1950 – 2011 г.

Из рисунков 1, 2 видно, что все эпицентры землетрясений мелкосопочника расположены по периметру Центрального свода, группируясь в отдельные зоны, в то время как в центральной части структуры эпицентры землетрясений отсутствуют. Можно выделить три основные зоны концентрации эпицентров в узлах пересечения разломов СЗ – СВ направлений: северо-восточную, западную и южную (рисунок 2). Первые две зоны расположены в дизъюнктивных узлах пересечения Чингиз-Алакольского и Жалаир-Найманского сдвигов с Жезказган-Темиртауским и Михайловским разломами.

Северо-восточная зона концентрации эпицентров расположена вблизи границы исследуемой территории и территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП), структурно она относится к Алтай-Чингизскому складчатому региону. В пределах этой локальной зоны Жезказган-Темиртауский разлом меняет направление, образуя дугу субширотного простираения. Наряду с разломами СЗ - СВ направления здесь развита сеть меридиональных разломов более высокого порядка, секущих Чингиз-Алакольский сдвиг. В этой локальной зоне сконцентрированы 9 очагов землетрясений с энергетическими классами $K=8 - 14$, зарегистрированных в период с 1925 по 2012 гг. Гипоцентры землетрясений этой зоны распределены в диапазоне глубин 3 - 13 км. Положение эпицентров землетрясений 1925 и 1966 гг. несколько в стороне от компактной группы остальных событий, что возможно объясняется ошибкой при локализации эпицентров «старых» землетрясений до начала функционирования ЦСОССИ.

К западной зоне концентрации эпицентров землетрясений относятся очаги 4-х Жезказганских землетрясений, произошедших с 1994 по 2005 гг. с

$K \geq 10$. Еще 4 землетрясения с $K=9$, расположены несколько северо-восточнее, вдоль Жезказган-Темиртауского разлома, они зарегистрированы в 2005 - 2006 г.г. К этой зоне можно отнести также Шалгинское землетрясение с $K=14$ (2001 г.), эпицентр которого расположен юго-восточнее Жезказганских очагов, вблизи пересечения Жалаир-Найманского сдвига с Михайловским разломом. Еще далее на юго-восток вдоль Жалаир-Найманского сдвига расположен очаг землетрясения в 1974 г. с $M=4$.

Южная зона концентрации эпицентров приурочена к границе Центрально-Казахстанского свода с Балхашской впадиной. В этой зоне зарегистрировано семь относительно слабых землетрясений с $K=7-11$, большинство эпицентров расположено в тектоническом клине между региональными Западно- и Южно-Джунгарскими разломами. Одно землетрясение с $K=11$ произошло в 1988 г., остальные были зарегистрированы в 2002 - 2008 гг., после начала функционирования ЦСОССи. Можно предположить, что в связи с недостатками сейсмических сетей ранее в этой зоне регистрировались не все происходящие подземные толчки, вероятно, в действительности их было гораздо больше.

Таким образом, наиболее сильные землетрясения в пределах мелкосопочника с магнитудой $M \geq 5$ приурочены к Чингиз-Алакольскому (северо-восточная зона, 1925 и 1976 гг.) и Жалаир-Найманскому (западная зона, 1974 и 2001 гг.) сдвигам, являющимся естественными ограничителями мелкосопочника с северо-востока и юга-запада.

Практически одновременно с реализацией наиболее сильных землетрясений на северо-восточной границе мелкосопочника произошли землетрясения с аналогичной магнитудой на юго-восточной окраине, в полосе взаимодействия Казахского щита с Джунгарией. Это два землетрясения: 1925 и 1979 гг., – эпицентры которых приурочены к Баканасскому разлому. Отметим, что на карте сейсмоактивных разломов, уточненной с использованием космических снимков [Великанов А.Е., 8], эти две зоны расположены по разные стороны меридионального разлома, прослеживающегося от северной окраины мелкосопочника до южного Прибалхашья (рисунок 4).

Баканасское землетрясение 1979 г. с интенсивностью в эпицентре 7 баллов (MSK-64) и с магнитудой $m_b=5,8$ и $M_s=5,6$ произошло в 200 км на север от г. Алматы [9]. Через 7 дней после главного толчка в 1979 г. вблизи пересечения Баканасского разлома с Южно-Джунгарским произошло землетрясение, которое можно считать его удаленным афтершоком. Интересно, что в том же самом месте очаг землетрясения с $K=12$ реализовался в 12.09.2010 г. Это событие оказалось подобным Баканасскому (1979 г.) по проявлению афтершоковой активности – был зарегистрирован только один афтершок. Причем перед землетрясениями 1979 и 2010 гг. и после их реализации в эпицентральной зоне Баканасского землетря-

сения наблюдалось заметное повышение как частоты регистрации слабых землетрясений, так и энергетического уровня событий.

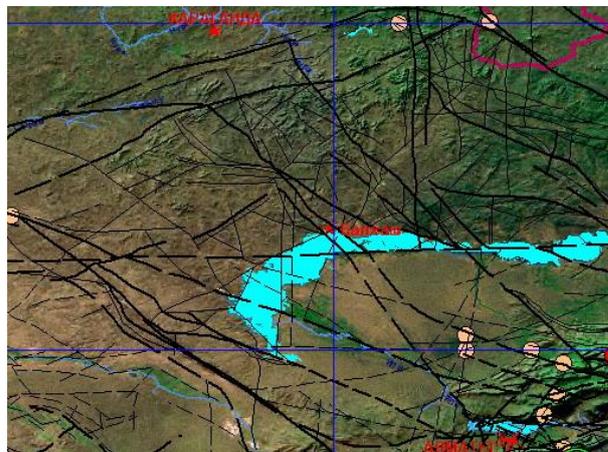


Рисунок 4. Эпицентры землетрясений с $M_s \geq 5$ на карте сейсмоактивных разломов, уточненных по космоснимкам [8]

Следующая зона концентрации очагов может быть выделена в том же тектоническом клине между Западно-Джунгарским сдвигом и Южно-Джунгарским (южнее Балхаша). В этой части территории к указанному тектоническому клину приурочено 8 очагов землетрясений с $K \geq 12$, произошедших в 1888 - 2009 гг. Два сейсмических события 1950 г. – главный толчок и его афтершок, – расположены в пограничной зоне Прибалхашской впадины и структур Южной Джунгарии, более поздние землетрясения (1960 - 2009 гг.) произошли ближе к основанию тектонического клина, их очаги приурочены к северо-восточному продолжению Малайсаринских структур.

Эпицентры землетрясений с $K \geq 12$ Южно-Джунгарской геодинамической системы образуют цепочки северо-восточного направления вдоль Алтынэмельской и Малайсаринской мегантиклиналей и приурочены в большинстве случаев к дизъюктивным узлам одноименных надвигов северо-восточного простирания с разломами северо-западного направления, глубины гипоцентров событий этой зоны составляют 10 - 25 км. В пределах Малайсаринских структур отмечено четыре очага землетрясений, энергия которых не превышает 12 класс, а в наиболее сейсмически активной на рассматриваемой территории Алтынэмельской мегантиклинали зарегистрировано 8 землетрясений.

На самом юге исследуемого региона в пределах Алматинской впадины, кристаллический фундамент которой перекрыт километровой толщей мезо-кайнозойского чехла, зарегистрированы три землетрясения с $K \geq 12$, эпицентры которых трассируют региональный Капчагай-Чиликский сдвиг. Землетрясению 1 мая 2011 г. с магнитудой $m_b=5,6$, несмотря на его небольшую силу по меркам глобальной сейсмологии,

уделялось особое внимание в мировых центрах данных, что объясняется его близостью к крупнейшему мегаполису Казахстана городу Алматы.

ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ

Выше уже была отмечена значительная неоднородность данных о сейсмичности Казахского щита. Если в период до 1998 г. в каталогах имеются сведения только о 10-ти землетрясениях с $M=4 - 6$, произошедших в пределах мелкосопочника, то после 1998 г. имеются сведения о 27 землетрясениях с $M=2 - 5,2$ (рисунок 6). При такой неоднородности данных сложно выявить особенности в проявлении сейсмичности во времени.

Тем не менее, установлено, что наиболее сильные землетрясения с магнитудой $M \geq 5$ произошли практически одновременно на юго-восточной и северо-восточной границе мелкосопочника: сначала в 1925 г., затем в 1974, 1976, 1979 гг., когда кроме как в этих двух активизируется еще и западная зона. Ак-

тивизация более слабых событий в разных зонах также происходит в одни и те же временные периоды. Несмотря на редкость сейсмических событий в рассматриваемых зонах, можно отметить тенденцию к активизации сейсмичности в разных зонах в один временной период. Такое группирование во времени сейсмической активизации разных зон может происходить вследствие достижения критической величины деформаций, накапливаемых на границах Казахского щита, в результате транспрессии со стороны орогенического пояса.

Более представительный статистический материал (более 3000 землетрясений) для анализа временных вариаций в проявлении сейсмичности накоплен для южной части Казахского щита. В последние годы здесь значительно увеличилось число регистрируемых землетрясений – до 120 – 160 в год, – тогда как до 2004 г. отмечалось 20 - 60 сейсмических событий в год (рисунок 7-а).

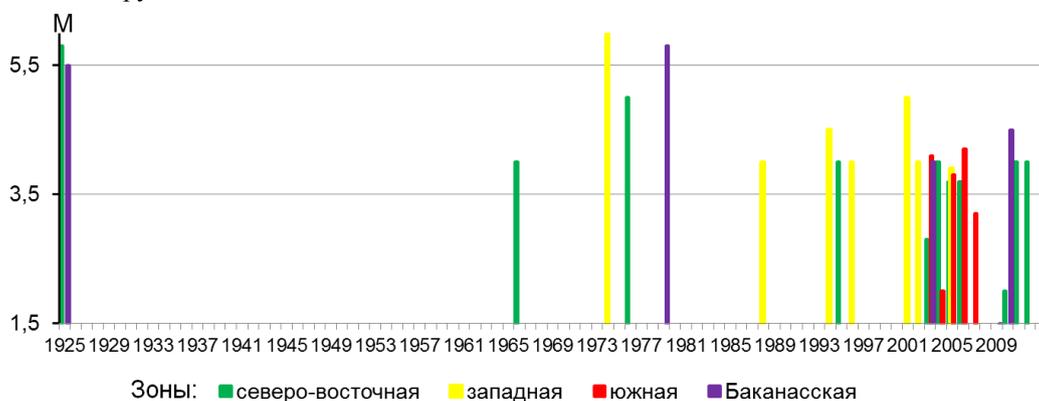


Рисунок 6. Распределение во времени землетрясений наибольших магнитуд в локальных зонах Казахского Щита

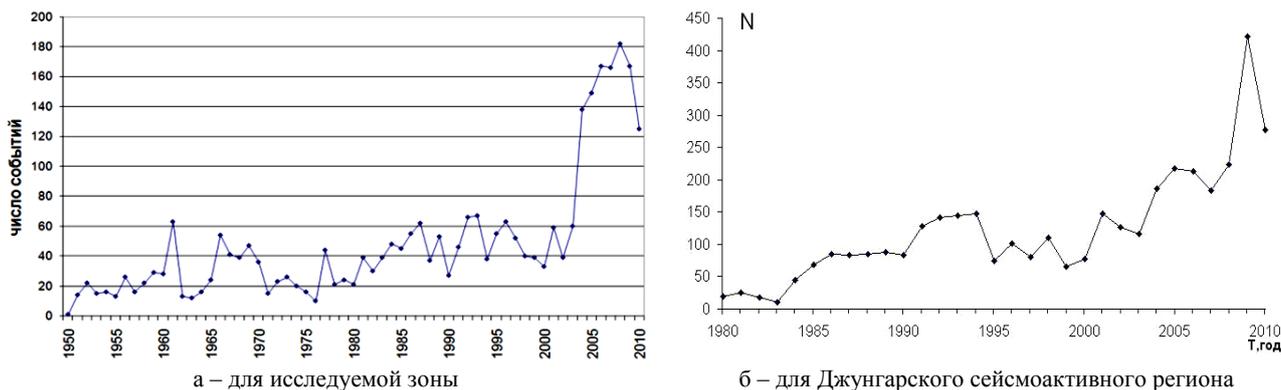


Рисунок 7. Графики годовых вариаций количества землетрясений

Регулярно регистрируются слабые события также непосредственно в очаговой зоне Баканасского землетрясения. Причем в периоды подготовки и после реализации сильных землетрясений в каком-либо из блоков южной части территории активизируется слабая сейсмичность и в Прибалхашской впадине. Одной из причин роста количества регистрируемых зем-

летрясений может быть развитие сейсмических сетей Казахстана. Тот факт, что к периоду наблюдения 2004 - 2010 гг. относится более трети событий в слабосейсмичной северо-западной зоне Балхашского срединного массива, позволяет предположить, что в связи с недостатками сейсмических сетей ранее в этой зоне регистрировались не все происходившие

подземные толчки, вероятно, в действительности их было гораздо больше. С другой стороны, монотонный рост числа событий, регистрируемых после 2004 г., может свидетельствовать о том, что это связано не только с изменениями сети наблюдения, но и с процессами тектонической активизации земной коры.

Тем более, что увеличение среднегодового количества землетрясений в этот период отмечено во всем Джунгарском сейсмогенерирующем регионе (рисунок 7-б). Распределение землетрясений с $K \geq 12$ во времени показано на рисунке 8.

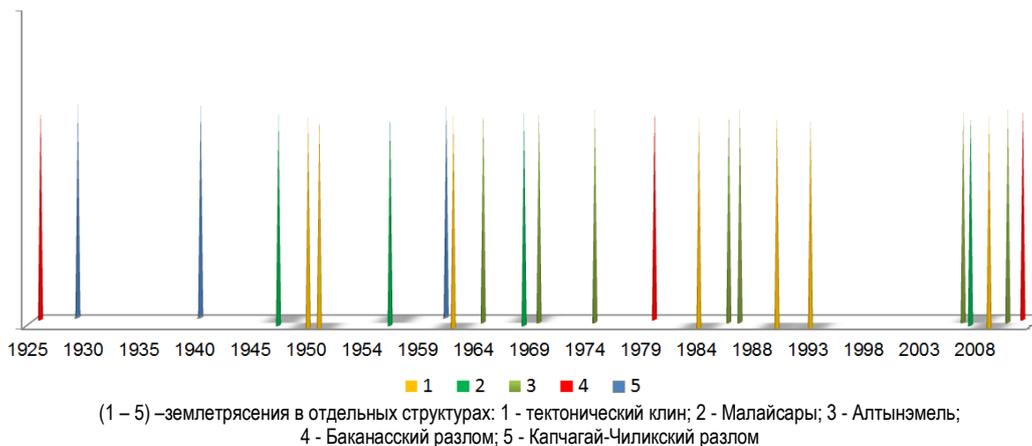


Рисунок 8. Диаграмма распределения во времени землетрясений $K \geq 12$ за время представительной регистрации

Анализ рисунка 8 позволяет выделить за все время представительной регистрации два периода активизации сейсмичности и два периода затишья. Продолжительность периодов затишья составляет по 12 - 13 лет (1929 - 1940, 1994 - 2006), продолжительность активизации 1940 - 1993 гг. составляла более 50 лет. В течение этого времени каждые 2 - 4 года происходило событие с $K \geq 12$ в одном из блоков южных структур. В последний период сейсмической активизации, начавшийся в 2006 г., частота землетрясений с $K \geq 12$ увеличилась: события происходили каждый год и даже 2 события за один год (2010 г.). В результате за промежуток времени в 6 лет очаги землетрясений такой силы реализовались во всех рассмотренных структурах южной части территории. По аналогии с продолжительностью предыдущего периода активизации можно предположить, что наблюдаемая в настоящее время сейсмическая активность будет продолжаться такой же отрезок времени. Однако, поскольку с 2006 по 2011 гг. все структуры «отработали», можно ожидать некоторый перерыв в реализации очагов и уменьшение их частоты. В пользу некоторого спада активности в настоящее время свидетельствует и наблюдаемое с 2010 г. уменьшение среднегодового количества слабых событий как во всей Джунгарии, так и на исследуемой территории Казахского щита. Таким образом, из проведенного анализа следует, что активизация сейсмичности совершенно различных структур горной части и глубоко просевшего блока Прибалхашской впадины, – происходит в одни и те же временные периоды.

В целом, выявленные особенности проявления сейсмичности во времени в пределах Казахского щита могут свидетельствовать о деформации этой

структуры под воздействием единой системы напряжений для этого региона.

МЕХАНИЗМЫ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И СЕЙМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ

Установить характер действующих в регионе напряжений, а также связь процессов в очагах землетрясений с тектоническими процессами в каждой конкретной зоне позволяет исследование фокальных механизмов очагов. Тема весьма актуальна для считавшегося ранее асейсмичным района Казахского щита. Реконструкция процессов, происходящих в очагах землетрясений на региональном уровне, проводится на основании определения механизмов очагов по данным о направлениях смещений (знаках) в первых вступлениях продольных волн по стандартной методике Введенской А.В. [10]. Для 4-х из исследованных событий имеется также решение тензора момента центроида (СМТ) Гарвардского университета по данным станций глобальной сейсмической сети [11]. Кроме того, сведения о сеймотектонических процессах в полосе взаимодействия Казахского щита со структурами Южной Джунгарии получены по представительной статистике механизмов очагов слабых землетрясений (по данным с более чем 30-летний срок наблюдений). Также рассмотрено изменение параметров сеймотектонического деформирования относительно фоновых характеристик в наблюдаемый в настоящее время период сейсмической активизации.

В качестве исходных были привлечены данные сейсмических станций сети ИГИ, сейсмологической опытно-методической экспедиции РК, опытно-методической сейсмологической экспедиции ИС НАН КР, а также ряда российских и мировых станций, данные которых опубликованы в сейсмологических

бюллетенях Центра сейсмической информации Геофизической службы РАН.

Полученное распределение знаков первых движений Р-волн свидетельствует о том, что волны сжатия и растяжения во всех исследуемых сейсмических событиях имеют квадрантное распределение. Такое распределение волн сжатия и растяжения, как известно, соответствует сдвиговым смещениям по плоскости разрыва. Данный факт подтверждает, что рассматриваемые события не являются ни взрывами, ни простыми обрушениями. Для выявления общих закономерностей и характерных особенностей сеймотектонического деформирования территории Казахского щита рассмотрены фокальные механизмы сейсмических событий в локальных зонах от северной границы мелкосопочника до полосы взаимодействия щита с Джунгарией включительно.

В северо-восточной локальной зоне концентрации эпицентров фокальные механизмы определены для 5 компактно сгруппированных очагов землетрясений с $K=9$ - 14, произошедших с 1976 по 2012 гг. (стереограммы приведены на рисунке 9).

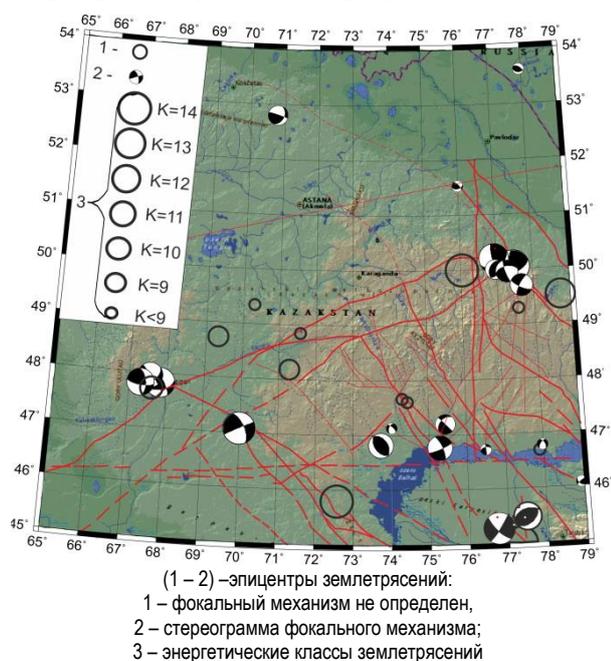


Рисунок 9. Стереограммы механизмов очагов землетрясений на территории Казахского мелкосопочника

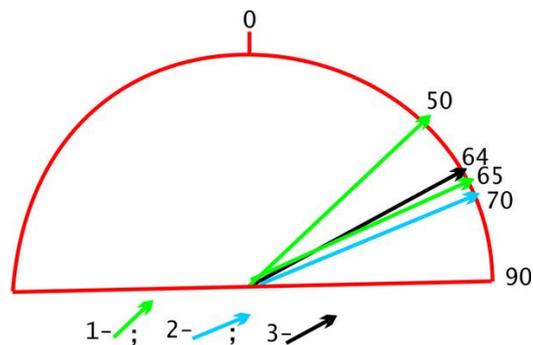
Механизмы очагов наиболее сильных землетрясений с $K=14$ (1976 г.) и $K=13$ (1986 г.) представляют собой комбинацию субширотных сдвигов и круто падающих на юго-запад взбросо-сдвигов СЗ простирания. В очагах более слабых землетрясений с $K \leq 10$ субширотные сдвиги образуют комбинацию со сдвигами с некоторой сбросовой компонентой по крутопадающим плоскостям СЗ либо СВ простирания. Очаг землетрясения с $K=9$, зарегистрированный в 2004 г., характеризуется как взброс по обеим плоскостям, ориентированным в СВ азимутах (25° и

32°). Ориентация разрывов и характер подвижки в этом очаге имеет очевидную связь с Михайловским разломом, секущим структуры Центрального свода. В других очагах структурное объяснение также можно найти обеим нодальным плоскостям. Сдвиги с незначительной взбросовой составляющей по круто падающим на юго-запад плоскостям северо-западного простирания могут отражать сейсмическую активность регионального Чингиз-Алакольского сдвига. В то же время, более пологие сдвиги по падающим на юго-запад плоскостям субширотного простирания согласуются с ориентацией, которую приобретает на рассматриваемом участке Жезказган-Темиртауский разлом. Очаг землетрясения 2012 г., который расположен несколько юго-восточнее других эпицентров, согласуется с меридиональными тектоническими разрывами, секущими Чингиз-Алакольский сдвиг. Таким образом, сейсмичность рассматриваемой зоны может быть связана как с тектонической активностью Чингиз-Алакольского сдвига, так и с секущими его разломами СВ и меридионального направления. Реализация очагов происходит в условиях близгоризонтального напряжения сжатия в запад-северо-западном направлении ($Az=288 - 299^\circ$), при субмеридиональной ориентации осей растяжения с отклонением на СВ ($Az=2 - 41^\circ$), погружение которых меняется от близгоризонтального до близвертикального положения. Несколько северо-западнее Центрально-Казахстанского свода расположены очаги еще 3-х землетрясений, для которых определены фокальные механизмы. Подвижки в этих очагах представлены взбросами по плоскостям либо северо-западного, либо северо-восточного простирания, согласующегося с ориентацией системы главных структурообразующих разломов. Оси напряжения сжатия и растяжения ориентированы близгоризонтально в субмеридиональном и в субширотном направлениях соответственно. Таким образом, анализ фокальных механизмов землетрясений северо-восточной зоны показал, что они типичны для землетрясений сейсмически активных зон Алтае-Чингизского региона [12]. Особенностью очагов локальной зоны концентрации эпицентров является большая развернутость к западу (вплоть до субширотного) направления осей главного напряжения сжатия. Однако по мере удаления эпицентров землетрясений от Центрально-Казахстанского свода ориентация осей сжатия меняется до направления, характерного для Алтае-Чингизского региона.

В западной зоне концентрации эпицентров решения механизмов очагов получены для трех наиболее сильных землетрясений с $K=11 - 13$. Механизмы очагов четырех землетрясений западной зоны были подробно описаны ранее [13]. Отмечалось, что знаки первых вступлений Р-волн, полученные для трёх Жезказганских землетрясений на одних и тех же станциях наблюдений, абсолютно одинаковы, и, соответственно, их распределение дало подобные ре-

шения фокальных механизмов (рисунок 6), полученные с высокой степенью надежности. Характер подвижек во всех этих очагах определен как сдвиг-взброс по обеим нодальным плоскостям, с преобладанием сдвиговой компоненты. Азимут простирания одной из плоскостей, круто падающей на северо-восток, характеризуется северо-западным направлением, которое варьирует от 319 до 354° в разных очагах. Вторая, более пологая плоскость ориентирована субширотно. Следует отметить, что этой ориентации разрыва трудно найти геологическое объяснение, тогда как крутые сдвиг-взбросы северо-западного простирания имеют ясное структурное соответствие с Жалаир-Найманским сдвигом. Оси напряжения сжатия в очагах ориентированы близгоризонтально в северо-восточном направлении. Оси напряжения растяжения круто погружаются по азимутам 86 - 139°. Подобие фокальных механизмов всех трех очагов свидетельствует о единой системе напряжений, в условиях которых формируются очаги в этой зоне. В аналогичных условиях напряженного состояния реализовался и очаг Шалгинского землетрясения. Его фокальный механизм характеризуется сдвигом по обеим нодальным плоскостям, имеющим северо-западное и северо-восточное направления. Каждое из этих направлений в решении механизма очага соответствует ориентации главных разломов зоны. Для выбора из двух возможных плоскостей разрыва наиболее вероятной были привлечены дополнительные имеющиеся сведения об этом очаге: направленность распространения повторных толчков и результаты макросейсмического обследования. Шалгинское землетрясение сопровождалось афтершоковой активизацией, включающей эпицентры 6 повторных толчков, вытянутых в цепочку северо-восточного направления (в азимуте 70°). Такое же направление установлено по данным макрообследования для большой оси эллипса изосейст, азимут которой характеризуется диапазоном 50°–65°. На рисунке 10 для выявления действующей плоскости разрыва объединены все имеющиеся сведения об очаге.

Из рисунка 10 видно, что, несмотря на разнородность, сведения тяготеют к плоскости северо-восточного простирания с азимутом 64°, согласующейся с ориентацией Михайловского разлома, по которой с большей вероятностью произошел разрыв, характеризующийся крутым левосторонним сдвигом. Анализ механизмов очагов западной локальной зоны показал, что все очаги реализовались под действием двойной пары сил – близгоризонтального сжатия в северо-восточном направлении при круто погружающейся в азимутах 86 - 139° оси напряжения растяжения. Ясное структурное объяснение находят крутые сдвиг-взбросы северо-западного простирания в очагах Жезказганских землетрясений и крутой сдвиг северо-восточного простирания в очаге Шалгинского землетрясения.



(1 – 3) – азимуты направлений: 1 – большой оси изосейст; 2 – цепочки эпицентров афтершоков; 3 – нодальной плоскости

Рисунок 10. Сводные направления азимуты большой оси эллипса изосейст, эпицентров афтершоков и одной из нодальных плоскостей

В пределах Южной зоны концентрации эпицентров землетрясений механизмы определены для всех очагов, в том числе слабых с $K=7$, поэтому параметры механизмов характеризуются большей вариативностью. В очагах трех наиболее сильных землетрясений с $K=9-11$ реализовались взбросовые, взбросо-сдвиговые и сдвиговые подвижки в условиях горизонтального сжатия в СВ либо субширотно направлении (в азимутах 55-113°). Во всех трех очагах одна из нодальных плоскостей или обе (в очаге 1988 г.) ориентированы в соответствии с региональными разломами СЗ простирания. В двух очагах, расположенных в тектоническом клине между региональными Западно- и Южно-Джунгарскими разломами, вторая нодальная плоскость согласуется с СВ направлением разломов более высокого порядка.

Следует отметить, что по плоскостям разрывов СВ простирания происходят подвижки в очагах землетрясений, расположенных в основании указанного тектонического клина, южнее озера Балхаш. Это характерно для наиболее сильных в указанной зоне Текелийских землетрясений, особенности их очагов подробно исследованы в работе [14]. Показано подобие механизмов очагов двух землетрясений, произошедших практически в одном месте через 16 лет. Оба очага реализовались под действием регионального напряжения сжатия в субмеридиональном направлении. Разрывы в очагах в первом движении представляют собой сдвиги по круто падающим на юго-восток плоскостям северо-восточного простирания (рисунок 11).

По мере развития разрыва тип подвижки меняется на взброс по более пологим плоскостям. Геометрические размеры разрывов ограничены размерами блока и соответствуют средним размерам очагов землетрясений с магнитудой $M=6$. Вся афтершоковая деятельность как при первом, так и при втором землетрясениях, развивается только в южном, висячем крыле разрывов, преимущественно на глубине $H > 10$ км.

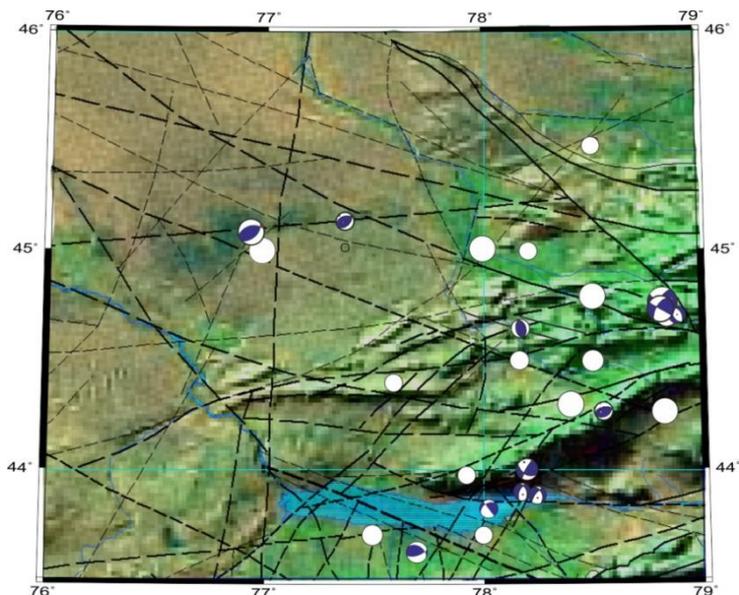


Рисунок 11. Стереогаммы механизмов очагов землетрясений полосы взаимодействия Казахского щита с Джунгарскими структурами

Афтершоковая активизация быстро затухает во времени, при этом отмечается чередование процессов дилатансионного упрочнения и разупрочнения. В целом, по результатам исследования механизмов очагов сделан вывод, что в блоке между Южно- и Западно-Джунгарским разломами существует система сейсмоактивных разломов более высокого порядка, круто падающих на юго-восток вдоль хребтов северо-восточного простирания и проникающих в земную кору на глубину не менее 20 - 25 км. Этот вывод подтверждается и расположением эпицентров землетрясений 1950 г. Сильный афтершок ($K=12$) произошел южнее главного толчка с $K=14$, эпицентр которого приурочен к разлому северо-восточного направления, близкого к простиранию разрывов в очагах Текелийских толчков. Таким образом, при сильных землетрясениях 1950, 1993, 2009 гг. наблюдается подобное расположение главных и повторных толчков, позволяющее предположить, что и в очаге главного толчка 1950 г. процессы происходили аналогично установленным для очагов Текелийских землетрясений. Данный вывод иллюстрируется рисунком 12, где схематически показан глубинный разрез очагов сильных землетрясений тектонического клина между Южно- и Западно-Джунгарскими разломами по профилю, ориентированному вкост северо-восточного простирания наиболее вероятных плоскостей разрывов. Видно, что наиболее сильные землетрясения в рассматриваемом тектоническом клине реализовались по единой схеме. Это каскад разрывов, секущих блок между Южно- и Западно-Джунгарскими разломами, последующие развивают на юго-восток начатые предыдущими толчками релаксационные процессы в одном и том же напряженном объеме.

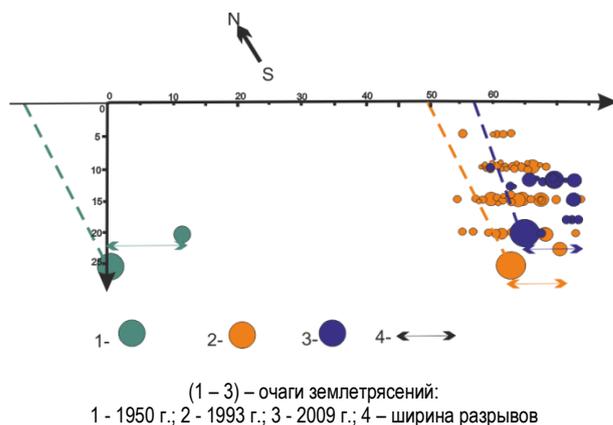


Рисунок 12. Глубинный разрез очагов сильных землетрясений тектонического клина между Южно- и Западно-Джунгарскими разломами

Исключение составляет очаг землетрясения с $K=12$, произошедшего в 1990 г. Фокальный механизм этого события представляет собой сброс по плоскостям северо-западного простирания, согласующегося с ориентацией разлома, к которому приурочен эпицентр. Отметим, что аномальный для рассматриваемой зоны сброс произошел перед более сильным Текелийским землетрясением 1993 г. на периферии его очаговой зоны. Интересно, что появление сбросов наблюдалось и на периферии очаговой зоны перед Текелийским землетрясением 2009 г. Подобная ситуация наблюдалась также в Северо-Тянь-Шаньской сейсмогенной зоне, когда сильному Байсорунскому землетрясению ($K=15$) с типичным взбросовым механизмом очага, двумя годами раньше предшествовало событие с $K=13$ с аномальным для этой зоны сбросовым фокальным механизмом. Возможная причина такой ситуации связывалась с миграцией флюидов в земной коре и

верхней мантии [13], приводящей к концентрации напряжений и гидроразрывам на периферии зоны подготовки сильного землетрясения.

В Баканасской зоне определены механизмы очагов землетрясений 1979 и 2010 гг. Решение фокального механизма землетрясения 1979 г. получено двумя методами: по сведениям о направлениях первых движений в продольных волнах и методом расчета параметров тензора центра сейсмического момента (СМТ) в сейсмическом центре Гарвардского университета. Полученные двумя методами фокальные механизмы существенно отличаются [15]: по сведениям о направлениях первых движений в Р-волнах тип механизма Баканасского землетрясения – сдвиг с незначительной сбросовой компонентой, по СМТ- решению – взброс с некоторой сдвиговой компонентой (рисунок 13). Однако по данным обоих методов землетрясение произошло в условиях близгоризонтального сжатия в север-северо-западном направлении. Подробный анализ особенностей механизмов очагов землетрясений 1979 и 2010 гг. приведен в работе [9]. Результаты анализа свидетельствуют о подобии процессов в очагах двух сильных землетрясений Баканасской зоны (1979 и 2010 гг.). Оба землетрясения произошли в условиях близгоризонтального сжатия в север-северо-западном направлении, под действием которого в очагах реализовались взбросовые подвижки по падающим на северо-запад плоскостям разрывов, простирающихся в северо-восточном направлении. Такая ориентация разрывов в очагах субпараллельна направлению второстепенного разлома, оперяющего региональный Баканасский разлом. Сопоставление фокальных механизмов этой и рассмотренной выше зоны, позволило выявить общую особенность процессов при развитии разрывов в очаге Баканасского землетрясения 1979 г. и в очагах двух Текелийских событий. А именно, при развитии разрыва тип подвижки меняется от сдвига в первом движении, к взбросу, а падение плоскости – от близвертикального в начале разрыва к более пологому в главной фазе разрывообразования.

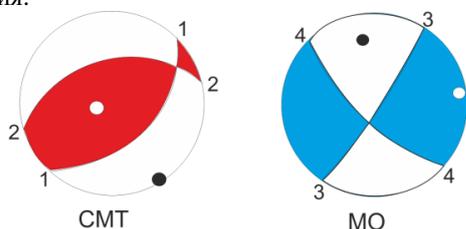


Рисунок 13. Стереогаммы фокального механизма землетрясения 25.09.79 г.

В пределах Алтынэмельских структур (рисунок 11) механизмы очагов определены для 5 землетрясений с $K \geq 12$. Из характера стереограмм, приведенных на рисунке 11, видно, что механизмы очагов изменяются при движении вдоль Алтынэмельской антиклинали к югу. В южной части антиклинали фокаль-

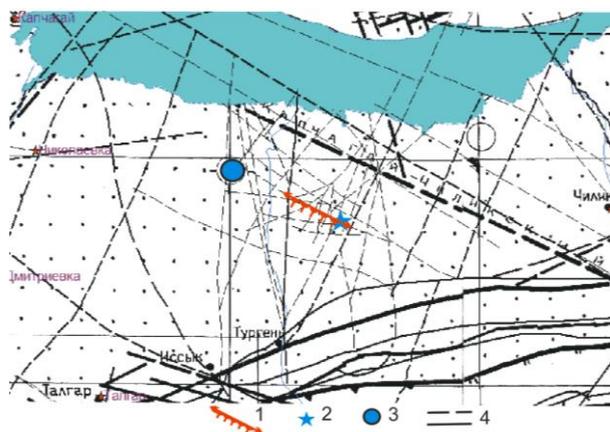
ные механизмы представляют собой сбросы либо сбросо-сдвиги по крутым плоскостям, одна из которых или обе ориентированы субмеридионально. Этот участок Алтынэмельской мегантиклинали, являющийся переходной зоной к Алматинской впадине, разбит многочисленными разнонаправленными разломами, среди которых выделяются секущие мегантиклиналь в азимутах $30-40^{\circ}$. С разломами этого простирания совпадает ориентация разрывов в очагах рассмотренных событий, а сбросовый тип подвижки, вероятно, отражает условия растяжения в переходной зоне от хребта к впадине. В центральной части Алтынэмельской мегантиклинали, рассекаемой одноименным взбросом, фокальный механизм землетрясения (4.06.2006) характеризуется взбросовой подвижкой по обоим возможным плоскостям северо-восточного простирания. То есть, механизм очага этого землетрясения согласуется и с ориентацией, и с кинематикой Алтынэмельского взброса. Землетрясение 4.06.2006 г. сопровождалось незначительной афтершоковой активизацией, в течение месяца было зарегистрировано только 5 повторных толчков с $K=5,7-7,6$, эпицентры четырех расположены вдоль структур севернее главного очага. По характеру распределения афтершоков можно предположить, что развитие разрыва происходило с юго-запада на северо-восток. Один афтершок был зарегистрирован за пределами очага в Малайсаринской мегантиклинали, что может свидетельствовать об активизации этой структуры. Действительно, через год в центральной части Малайсаринской мегантиклинали произошло землетрясение с $K=12$ (02.09.2007 г.), получено решение механизма его очага по данным 21 станции сети СОМЭ РК. Подвижка в очаге произошла в условиях горизонтального сжатия в меридиональном направлении и характеризуется взбросо-сдвигом по двум возможным плоскостям, простирание которых согласуется с имеющейся системой разломов. Землетрясение сопровождалось серией афтершоков, что позволило построить глубокие разрезы по простиранию и вкратце nodальные плоскости. В результате анализа пространственного распределения облака афтершоков установлено, что наиболее вероятной плоскостью разрыва является плоскость, падающая на юго-запад под углом 41° , простирание которой согласуется с разломами, секущими Малайсаринские структуры. Развитие разрыва происходило с запада на восток, его геометрические размеры, полученные по глубинным разрезам, составляют: $H=25$ км, $L=12$ км, $W=7$ км. Размеры очага фиксированы размерами блока и удовлетворительно соответствуют magnitude землетрясения $M=5,4$. Для 20 афтершоков определены механизмы очагов. В большинстве случаев одна или обе nodальные плоскости ориентированы по простиранию Малайсаринского надвига. Подвижки в очагах афтершоков в 14 случаях характеризуются взбросо- взбросо-сдвигами, в 6 сбросо-сбро-

со-сдвигами. Последние из них, видимо, являются «механизмами отдачи», свидетельствующими о релаксации напряжений, вызвавших главный толчок. Наряду с афтершоками, компактно сгруппированными в очаговой области главного события, в 2008-2009 гг. наблюдалась активизация сейсмичности в тектоническом клине между Западно- и Южно-Джунгарскими разломами, на периферии очаговой зоны Текелийского землетрясения 2009 г., о которой было сказано выше. Таким образом, наблюдается общая особенность распределения афтершоковой последовательности землетрясений 2006-2007 гг., а именно – появление удаленных очагов в соседних структурах, на периферии очаговых зон будущих землетрясений. То есть, в результате сильных землетрясений происходит последовательная активизация деформационных процессов в соседних структурах, вероятно, влияющих на подготовку очагов землетрясений, реализующихся через 1-2 года.

На юго-западной границе территории, в слабо-сейсмичной северо-западной части Алматинской впадины фокальный механизм определен для землетрясения (рисунок 11), произошедшего 1.05.2011 г. («Капчагайского»). Подробное описание этого события приведено в работе [16], в результате анализа всей совокупности данных сделан вывод, что Капчагайское землетрясение реализовалось под действием регионального напряжения сжатия в субмеридиональном направлении вблизи границ зон с контрастными параметрами сеймотектонического деформирования. Гипоцентры главного и повторных толчков располагались в блоке между разломами высокого порядка, ориентированными субпараллельно и вкрест простирания Капчагай-Чиликского сдвига и генетически с ними связаны (рисунок 14).

Геометрические размеры очаговой зоны ограничены размерами блока и соответствуют средним размерам очагов землетрясений с магнитудой $M=5$. По положению разрыву северо-восточного простирания произошло смещение южного крыла вверх и на северо-запад, что согласуется с ориентацией и кинематикой Капчагай-Чиликского трансрегионального сдвига. Вспарывание разрыва, с большой вероятностью, происходило одновременно по падению плоскости вверх, и в обе стороны по ее простиранию. На всем протяжении разрыва сохранялась ориентация смещений, зафиксированная в начальной стадии. Продолжительная во времени афтершоковая активизация сконцентрирована в южном, висячем крыле разрыва, преимущественно на глубине $H>10$ км. Релаксация напряжений происходила в результате взбросо-сдвиговых и сдвиговых подвижек по плоскостям либо северо-восточного, либо северо-западного направления, согласующегося с простиранием имеющихся в зоне

разломов высокого порядка. Ориентация разрывов в очагах главных толчков и их афтершоков и пространственное распределение гипоцентров свидетельствует о том, что разрывы высоких порядков в Алматинской впадине, по всей вероятности, имеют крутое падение и проникают в земную кору на глубину 10 – 25 км, разбивая ее на блоки.



1 - пологий взбросо-сдвиг на глубине 20 км, генерировавший землетрясение (стрелки показывают направление разрыва в горизонтальной плоскости, зубцы – падение разрыва); 2 - эпицентр землетрясения 2011 г., 3 - эпицентр землетрясения 1960 г.; 4 – линии разломов

Рисунок 14. Проекция разрыва в очаге Капчагайского землетрясения 2011 г. на дневную поверхность

Таким образом, анализ фокальных механизмов показал ясное структурное соответствие ориентации и кинематики подвижек в очагах землетрясений главной системе разломов СЗ - СВ простирания Казахского щита, что свидетельствует об их современной тектонической активности. При движении с севера на юг ведущий тип разрывов в очагах землетрясений меняется от крутых горизонтальных сдвигов (либо сдвигов с незначительной составляющей по падению разрывов) – в основных зонах сейсмичности мелкосопочника, до крутых взбросов (либо взбросов с некоторой сдвиговой составляющей), отражающих активность продольных северо-восточных надвигов – в пограничных зонах Казахского щита с Джунгарией. Размеры исследованных очагов (длина разрыва, глубина заложения) геологически фиксированы размерами соответствующих активных блоков и согласуются с магнитудами землетрясений.

В целом, во всех рассмотренных структурах наиболее сильные землетрясения с $K>12$ происходят в условиях напряжения горизонтального сжатия (оси напряжения сжатия показаны красными стрелками на рисунке 15-а), однако направление осей горизонтального сжатия неоднородно.

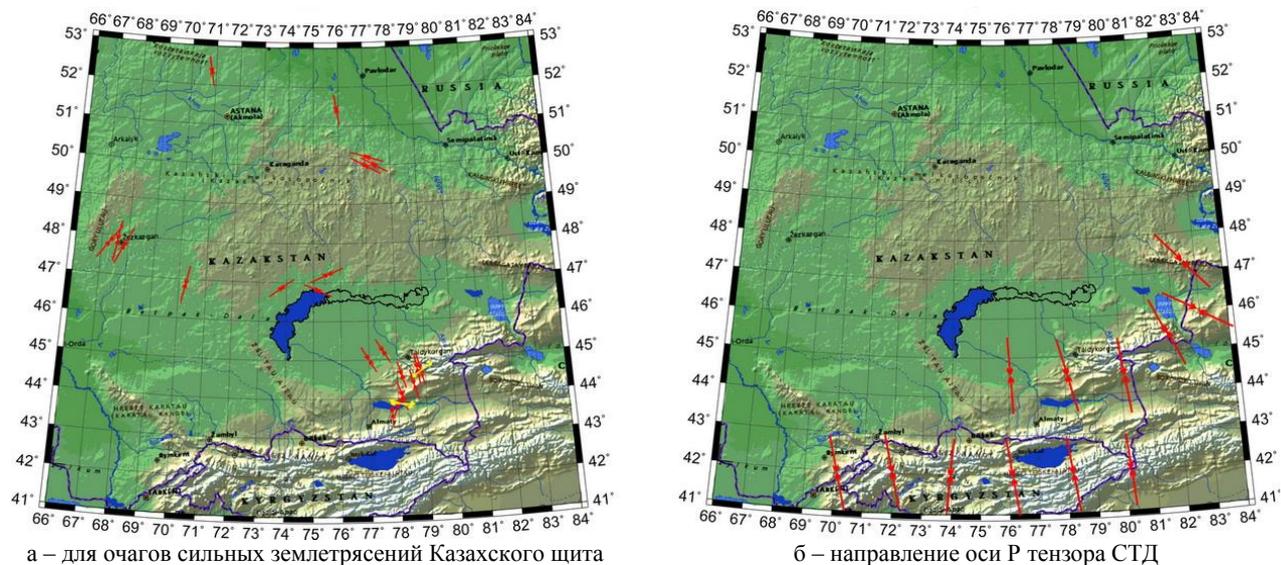


Рисунок 15. Ориентация главных осей напряжений на территории Джунгаро-Северо-Тянь-Шаньского региона

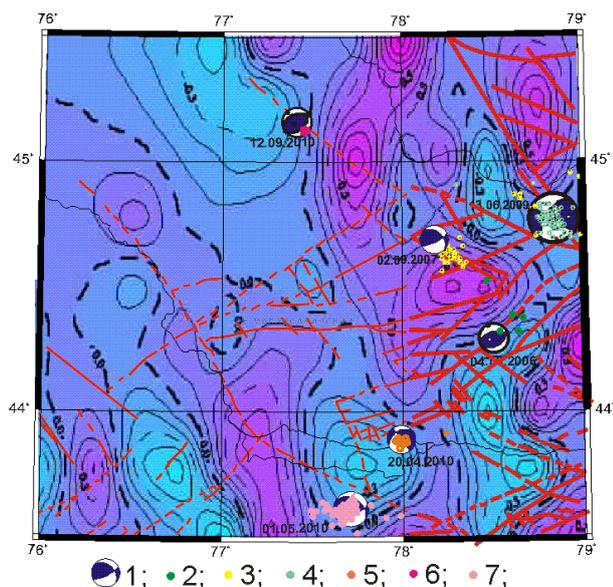
Особенностью напряжений Казахского щита является ориентация осей горизонтального сжатия по касательной к границам Центрально-Казахстанского свода. При удалении от структур свода направление осей сжатия меняется на СЗ, типичное для регионов Центральной Азии. Можно предположить, что отмеченная особенность в ориентации осей напряжения сжатия связана с формой свода, поскольку удовлетворительно соответствует результатам численного моделирования, полученным для кольцевых структур, находящихся в условиях регионального сжатия [17]. Подобная особенность ориентации напряжений отмечалась в других кольцевых геологических структурах, например Хибин [17] (по данным палеонапряжений и измерений на рудниках). Таким образом, ориентация осей горизонтального сжатия по касательной к границам свода обусловлена воздействием единой системы напряжений регионального сжатия.

Землетрясения с $K=12$ в некоторых локальных зонах произошли в условиях горизонтального растяжения (оси напряжения растяжения показаны желтыми стрелками на рисунке 15-а), обусловленного локальными геолого-тектоническими особенностями, либо изменениями физико-механических свойств (например, в результате миграции флюидов). Подвижки в этих очагах характеризуются сбросами, сбросо-сдвигами по субмеридиональным плоскостям разрывов, ориентированным в соответствии с разломами более высокого порядка.

Аналогичные условия близгоризонтального сжатия в северо-западном направлении в полосе взаимодействия щита со структурами Южной-Джунгарии получены также по данным фоновых характеристик, рассчитанных по представительной статистике механизмов очагов слабых землетрясений более чем 30-летнего срока наблюдений (рисунок 15-б). Режим деформирования по этим данным меняется от одно-

осного сжатия либо сдвига в центральной части территории до одноосного растяжения в локальных зонах на ее периферии. Накопленные в последние десятилетия сведения о фокальных механизмах позволили провести детальные исследования пространственно-временных вариаций параметров сеймотектонического деформирования рассматриваемой территории, что важно для понимания геодинамических процессов в зонах подготовки сильных землетрясений [18]. В результате проведенных исследований выявлено, что начиная с 2006 г. здесь происходило интенсивное изменение параметров СТД, в результате чего к 2009 г. сформировалась ситуация, существенно отличающаяся от фоновой. На рисунке 16 показано распределение по площади значений коэффициента Лодэ-Надаи, характеризующего тип СТД, а также эпицентров землетрясений с $K \geq 12$, произошедших в 2006 - 2011 гг.

Из рисунка 16 видно, что в рассматриваемый период по всей территории перемежаются вытянутые в северо-западном направлении зоны одноосного растяжения (показаны голубым цветом) и одноосного сжатия (показаны розовым цветом). Все эпицентры землетрясений приурочены к границам зон с контрастным типом деформирования. Реализация очагов происходила последовательно вдоль границ линейных зон контрастного деформирования. Сначала (2006, 2007, 2009 гг.) произошли землетрясения вдоль границы западной полосы одноосного растяжения – от Алтынэмельских структур до тектонического клина между Южно- и Западно-Джунгарскими разломами, затем вдоль границы центральной полосы одноосного растяжения в структурах Прибалхашской и Алматинской впадин (2010 - 2011 гг.). Из рисунка 16 также видно, что еще одна полоса одноосного растяжения расположена на юго-западе планшета, в этой части Алматинской впадины сильных землетрясений вообще не происходило.



1; 2; 3; 4; 5; 6; 7;
1 – стереограммы главных толчков;
(2 – 7) – эпицентры афтершоков землетрясений: 2 – 2006 г.; 3 – 2007 г.;
4 – 2009 г.; 5 – 2010 г. (20.04); 6 – 2010 г. (12.09); 7 – 2 011 г.
Цветом показаны значения коэффициента Лодэ-Надаи (см. текст)

Рисунок 16. Распределение по площади эпицентров землетрясений с $K \geq 12$ и коэффициента Лодэ-Надаи в период 2006 - 2011 гг.

Тем не менее, в 2012 г., впервые за весь исторический период наблюдений, на границе контрастно деформированных зон зарегистрировано землетрясение с $K=10$. Полагаем, что новые очаги могут сформироваться на границе контрастных зон северо-восточнее Капчагай-Чиликского сдвига, где наряду с изменением напряженно-деформированного состояния в рассматриваемый период отмечены изменения характеристик поля поглощения поперечных волн [19]. Здесь выявлены зоны сильного поглощения S-волн, которые авторы связывают с изменением содержания флюидов в нижних частях земной коры, что может свидетельствовать о подготовке сильного землетрясения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлова, Н.Н. Шалгинское землетрясение в Центральном Казахстане 22.08.2001 г./ Н.Н. Михайлова, И.Н. Соколова, А.И. Неделков, Е.Н. Казаков, А.В. Беляшов // Вестник НЯЦ РК. – 2002. – Вып. 2. – С.132 - 136.
2. Михайлова, Н.Н. О сейсмических событиях в малоактивных и асейсмичных районах Казахстана./ Н.Н. Михайлова, А.И. Неделков., И.Н. Соколова // Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов.– Воронеж, 2001.– С. 131 – 133.
3. Михайлова, Н.Н. Новые данные о землетрясениях в «асейсмичных» районах Казахстана и карта сейсмического районирования./ Н.Н. Михайлова //Исследования сейсмостойкости сооружений и конструкций. – Труды Каз НИИССА.– 2001. – Вып. 20(30).– С. 80 - 88.
4. Mikhailova, N.N. Earthquakes in Central Kazakhstan – new view on seismic hazard in the region./ N.N. Mikhailova, A.V. Belyashov // Volumes of Abstracts of Symposium on Seismology, Earthquake Hazard Assessment and Risk Management, Kathmandu, Nepal, 2002. – С.112 - 113.
5. Михайлова, Н.Н. Исследование сейсмичности территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона и его окрестностей/ Н.Н. Михайлова, Н.Н. Неделков, И.Н. Соколова, Н.Н. Полешко //Сб. трудов Восьмых геофизических чтений им. В.В.Федынского (2-4 марта 2006 г., Москва). Тверь: ООО «Изд. ГЕРС», 2007. – С.179 – 191.
6. Сейсмическое районирование Республики Казахстан. Алматы. Изд-во Эверо, 2000.– С. 66-69, 172 - 173.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

– Установлено, что в пределах Казахского щита регулярно происходят землетрясения, магнитуа наиболее сильных из которых превышает 5.

– Группирование во времени очагов из разных зон Казахского щита может свидетельствовать о деформации всей структуры под воздействием единой системы напряжений.

– В южной части исследуемой территории установлено чередование периодов активизации сейсмичности и затишья. В настоящее время наблюдается период сейсмической активизации.

– Исследование фокальных механизмов землетрясений подтверждает вывод о том, что сейсмичность Казахского щита в целом обусловлена единой системой напряжений, характеризуемой региональным субгоризонтальным сжатием в северо-западном направлении, что соответствует геологическим представлениям о деформировании этой структуры в результате транспрессии со стороны орогенического пояса.

– Выявленные особенности поля напряжений в локальных зонах обусловлены структурой этих зон, геолого-тектоническим строением, либо изменением физико-механических свойств.

– Ориентация и кинематика подвижек в очагах землетрясений соответствует системе разломов СЗ - СВ простирания, что свидетельствуют о их современной тектонической активности. При движении с севера на юг ведущий тип разрывов в очагах землетрясений меняется от крутых горизонтальных сдвигов (либо сдвигов с незначительной составляющей по падению разрывов) до крутых взбросов (либо взбросов с некоторой сдвиговой составляющей).

– В наблюдаемый период сейсмической активизации южной части территории в результате изменения параметров сеймотектонического деформирования сформировались зоны с контрастным типом деформирования, к границам которых приурочены все эпицентры землетрясений с $K \geq 12$, произошедшие в 2006 - 2011 гг.

7. Кондорская Н.В. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с новейших времен до 1975 г. / М.: Наука, 1977. 535 с.
8. Каталог землетрясений Центральной Азии за 1991-2005гг., Итоговый технический отчет по Проекту МНТЦ № KR-1176, Оценка сейсмического риска в Центральной Азии. - С. 19 - 36.
9. Михайлова, Н.Н. О необычном Баканасском землетрясении 1979 г. в Казахстане ($M_w=5,7$)./ Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Тезисы докладов VII международной конференции «Мониторинг ядерных испытаний и их последствий», 06-10 августа 2012, Курчатов, 2012. – С. 48 - 49.
10. Введенская, А.В. Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций./А.В. Введенская. – М.: Наука, 1969. – с. 47 - 66.
11. Harvard CMT Catalog / Harvard University. – Web-сайт: <http://www.seismology.harvard.edu>.
12. Михайлова, Н.Н. О механизмах очагов землетрясений Восточного Казахстана/ Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Вестник НЯЦ РК, 2005.
13. Михайлова Н.Н. О механизмах очагов землетрясений Центрального Казахстана./Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Вестник НЯЦ РК, 2003.–С.100 - 105, С.142 - 146.
14. Михайлова, Н.Н. Текелийское землетрясение в Казахстане в 2009: очаг и воздействия / Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко. // Вопросы инженерной сейсмологии. ISSN 0132-2826. - Т.37. №2. - 2010. - С.20 - 33.
15. Михайлова, Н.Н. Сопоставление региональных определений механизмов очагов землетрясений Центральной Азии с решениями тензора момента центраида по данным глобальных сейсмических сетей/ Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Вестник НЯЦ РК. – 2007. – Вып.2. – С.96 - 103.
16. Михайлова, Н.Н. Капчагайское землетрясение 1 мая 2011 года / Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Вестник НЯЦ РК, - Вып. 1, 2013. – С.102 – 110.
17. Козырев, А.А. Дифференциация тектонических напряжений в верхней части земной коры с учетом влияния природных и техногенных факторов / А.А. Козырев, С.Н. Савченко //Материалы докладов Всероссийской конференции. - М.: ИФЗ РАН. - 2009.- Том 1.- с. 55.
18. Михайлова, Н.Н. Временные вариации параметров механизмов очагов сейсмоактивных регионов Казахстана / Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Вестник НЯЦ РК, вып.3, 2009. - С.104 - 110.
19. Koprnichev, Yu. F. Heterogeneities in the Absorption Field of ShortPeriod S Waves in the Lithosphere of Tien Shan and Dzungaria with Their Relation to Seismicity / Yu. F. Koprnicheva, I. N. Sokolova // ISSN 1028334X, Doklady Earth Sciences, 2010,. - Vol. 433, Part 2. - P. 1119 – 1123.

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ӘЛСІЗ СЕЙСМИКАЛЫҚ АУДАНДАРЫНДА СЕЙСМИКАЛЫЛЫҒЫ МЕН КЕРНЕУ-ДЕФОРМАЦИЯЛЫҚ КҮЙІНІҢ СИПАТТАМАСЫ

Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н.

Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Бұрын асейсмикалық болып саналатын Қазақ қалқаны аумағын зерттеу нәтижелері келтіріледі. Мұнда магнитудасы 5 және одан жоғары жерсілкінулер уақытылы жүйелі болатыны анықталған, олардың эпиорталықтары Орталық дөңесінің периметрі бойынша орналасуда және негізгі жарылымдар қиылысу тораптарында үш негізгі зоналарына топтастырылады. Жерсілкінулердің фокаль механизмдерін зерттеуі, Қазақ қалқанының асейсмикалығы тұтасында, солтүстік-батыс бағытында аймақтық субгоризонталь қысылуымен сипатталатын, бірінғай кернеу жүйесіне байланысты болуын көрсеткен.

SEISMICITY AND STRESS AND STRAIN STATE IN SEISMICALLY QUIET REGIONS OF KAZAKHSTAN

N.N. Mikhailova, N.N. Poleshko

RSE Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

Results of research conducted in the territory of the Kazakh board which was earlier considered as aseismic are presented. It is established that regularly there are regular earthquakes there measuring up to 5 grade and higher which epicenters located on the perimeter of the Central Arch with grouping in three main zones in crossing nodes of the main faults. Studying of focal mechanisms of earthquakes showed that seismicity of the Kazakh Board is generally caused by the uniform system of tensions characterized by regional sub-horizontal compression in the northwest direction.