

УДК 550.344

**ИЗМЕНЕНИЕ В СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКЕ
В РАЙОНЕ ПЛОЩАДКИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО АТОМНОГО РЕАКТОРА ВВР-К ИЯФ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗУЧЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ ПОСЛЕДНИХ ЛЕТ**

Узбеков А.Н., Полешко Н.Н.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

В работе представлены результаты исследования сейсмоструктурной деформации в районе площадки размещения атомного реактора ВВР-К ИЯФ вблизи г. Алматы. Одним из важнейших способов получения информации о напряженно-деформированном состоянии глубинных частей земной коры является изучение механизмов очагов. По результатам мониторинга сейсмичности за 2015 г. составлен каталог механизмов очагов, содержащий более 250 землетрясений. Изучены параметры землетрясений, построены механизмы очагов, составлена карта типов подвижек землетрясений. Сделаны выводы о сейсмической обстановке в районе реактора ВВР-К ИЯФ.

В Казахстане объектами повышенной опасности является ряд исследовательских атомных реакторов, в том числе площадка размещения атомного реактора ВВР-К ИЯФ вблизи г. Алматы. Согласно карте общего сейсмического районирования (ОСР) территории Казахстана [1], действующей и в настоящее время, площадка реактора ИЯФ находится вблизи сейсмогенерирующей зоны с магнитудой от 6,6 до 7,0, где возможны сотрясения с интенсивностью 9 баллов по шкале MSK-64 (рисунок 1).

Таким образом, зона расположения площадки реактора ИЯФ с одной стороны характеризуется высокой плотностью населения и промышленных объектов, с другой стороны, высокой сейсмической активностью земной коры. Поэтому оценка сейсмоструктурного деформирования в зоне расположения площадки реактора будет иметь важное практическое значение в связи с оценкой сейсмобезопасности объекта атомной отрасли. Одним из важнейших способов получения информации о напряженно-деформированном состоянии глубинных частей земной коры до сих пор является изучение механизмов очагов. В работе [2] было показано, что в обширном регионе, простирающемся от Таримской до Прибалхашской впадины в 2015 г. по данным механизмов очагов сложилась аномальная обстановка НДС. Представляется важным оценить ситуацию в более локальной зоне, в которой возникновение сильного землетрясения может оказать ощутимое воздействие на площадке размещения атомного реактора ИЯФ.

В Казахстане объектами повышенной опасности является ряд исследовательских атомных реакторов, в том числе площадка размещения атомного реактора ВВР-К ИЯФ вблизи г. Алматы. Согласно карте общего сейсмического районирования (ОСР) территории Казахстана [1], действующей и в настоящее время, площадка реактора ИЯФ находится вблизи сейсмогенерирующей зоны с магнитудой от 6,6 до 7,0, где возможны сотрясения с интенсивностью 9 баллов по шкале MSK-64 (рисунок 1).

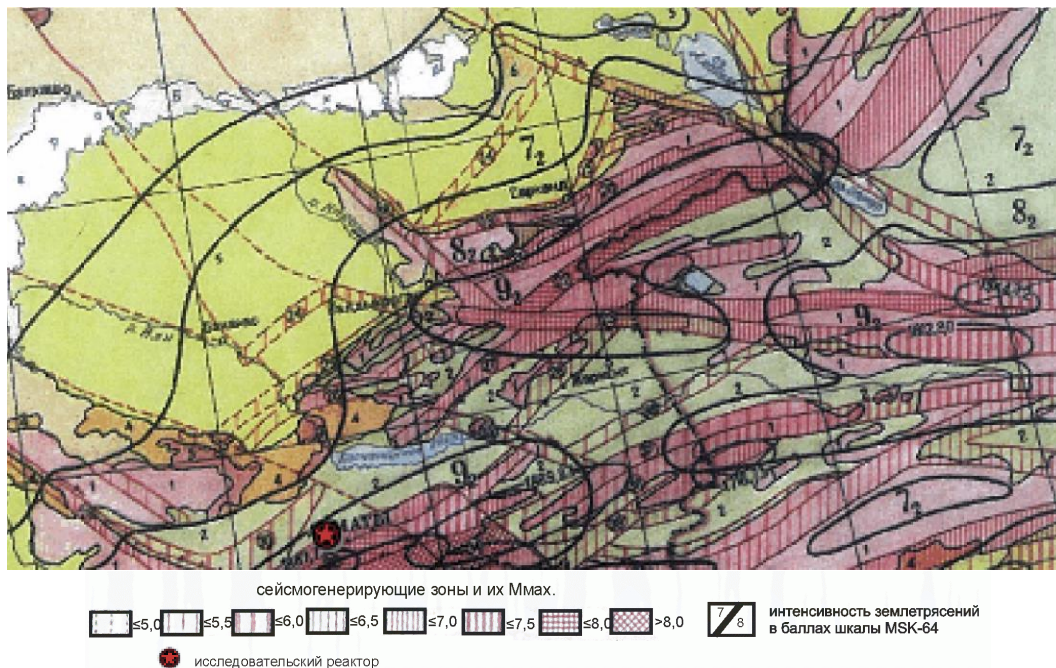
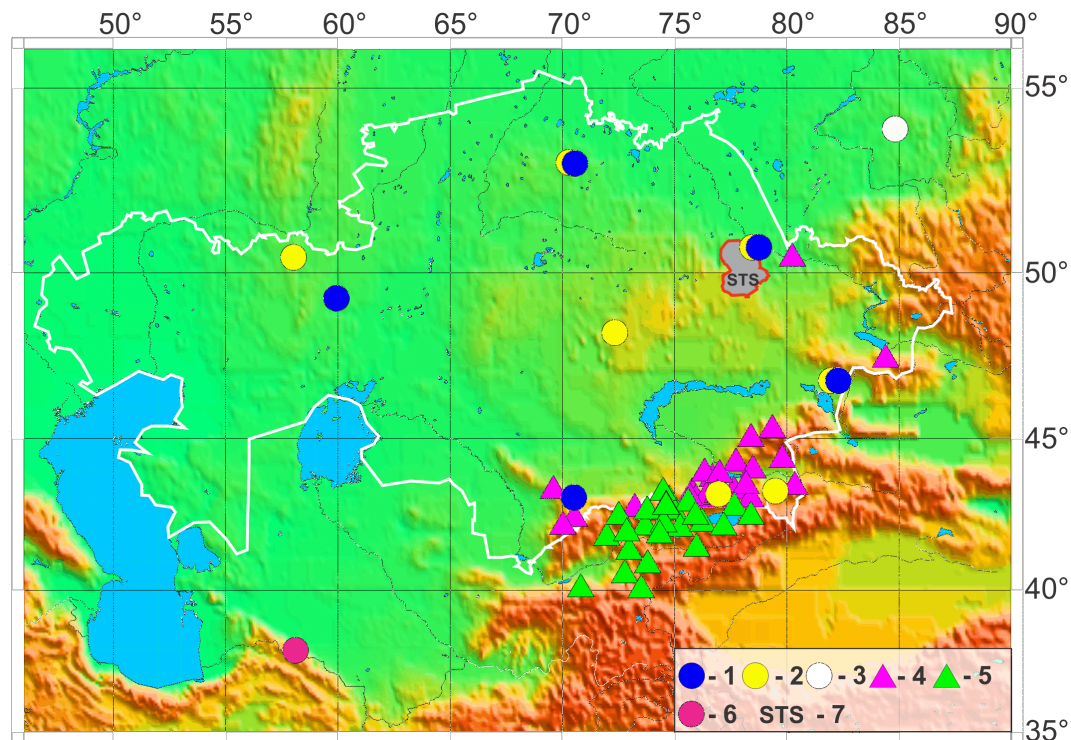


Рисунок 1. Размещение площадки атомного реактора ВВР-К ИЯФ на фрагменте карты общего сейсмического районирования



1 – сейсмические группы РГП ИГИ, 2 – трехкомпонентные станции РГП ИГИ, 3 – сейсмическая группа Залесово (Россия), 4 – сейсмические станции СОМЭ МОН РК, 5 – сейсмические станции КР, 6 – сейсмическая группа Алибек (Туркмения), 7 – территория бывшего СИП

Рисунок 2. Карта сейсмических станций

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Для массового определения механизмов очагов используются записи землетрясений, полученные существующими в регионе сейсмическими станциями сетей Казахстана и Кыргызстана.

На территории Казахстана функционируют две сети сейсмических станций (рисунок 2): сейсмологической опытно-методической экспедиции (СОМЭ) и Института геофизических исследований (ИГИ). Постоянные сейсмические наблюдения в районе Северного Тянь-Шаня, где находится реактор ИЯФ, уже несколько десятилетий проводится сейсмическими станциями сети сейсмологической опытно-методической экспедиции РК, большинство которых расположено вдоль хребтов Северного Тянь-Шаня.

Цифровая сеть сейсмических станций РГП ИГИ (рисунок 2) создана в последние десятилетия, основными задачами этой сети является мониторинг ядерных испытаний и землетрясений во всем мире. Сейсмические станции РГП ИГИ характеризуются отличными условиями регистрации сейсмических сигналов, определяемыми низким уровнем сейсмических шумов в районе их расположения, а также расположением приборов в скважинах.

Между центрами обработки СОМЭ и ИГИ проводится обмен данными: как сведениями о первых

вступлениях на записях землетрясений, так и результатами построения механизмов очагов.

В Центре данных ИГИ проводится определение механизмов очагов относительно сильных землетрясений с энергетическим классом $K \geq 9$, которые несут более надежную информацию о напряженно-деформированном состоянии земной коры. Однако предыдущие исследования показали, что по статистике слабых событий, также можно достаточно уверенно получать сведения о характере НДС [3]. Данные этих землетрясений несут информацию о характере НДС в зонах, где отсутствуют сильные землетрясения, поэтому для исследования привлечены данные землетрясений всего энергетического диапазона.

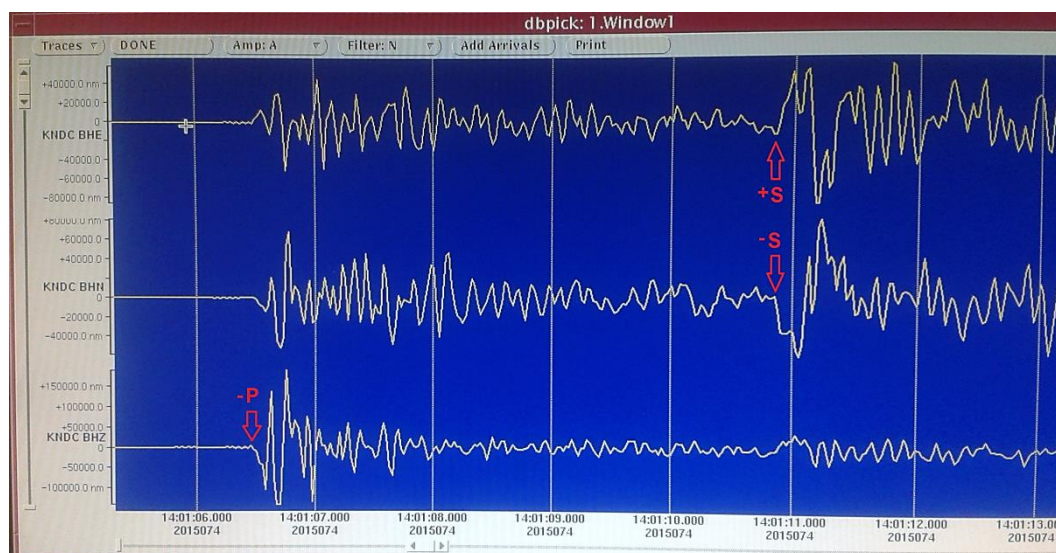
Всего за период наблюдения с 1969 г. до 2014 г. собраны параметры механизмов очагов 7172 землетрясений в широком диапазоне энергетических классов от $K_p=6$ до $K_p=12$, что составляет 44% от всех землетрясений, зарегистрированных в исследуемом районе за этот период. По результатам мониторинга сейсмичности за 2015 г. получены параметры механизмов очагов более 250 землетрясений. Анализ распределения землетрясений с определенными механизмами по энергетическим классам показывает превалирование слабых землетрясений с $K < 12$, они составляют 99,7%.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ

Определение фокальных механизмов в Казахстане производится на основе моделирования очага в рамках теории дислокаций с использованием программы Масаки Накамура [4] по знакам первых вступлений P- и S- волн. На первом этапе проводится анализ записей зарегистрированных сейсмических событий, в результате которого устанавливается возможность надежного определения достаточного количества знаков первых вступлений волн (не менее 6). Точность определения параметров индивидуальных механизмов оценивается степенью допустимых вариаций положения нодальных линий на фокальной сфере в поле экспериментально определенных знаков первых вступлений волн. Отсюда следует важность надежного определения знаков первых вступлений волн на записях землетрясений станция-

ми сетей, а также достаточно большого числа регистрирующих станций и хорошего окружения ими эпицентров. Надежными являются решения механизмов очагов, в которых вариации определяемых параметров не превышают 20° , а значение согласованности знаков первых вступлений составляет не менее 80% [5].

Пример записи землетрясения с четкими вступлениями волн показан на рисунке 3. Здесь демонстрируется запись землетрясения, полученная на сейсмической станции ИГИ «KNDC», расположенной на территории Центра данных в городе Алматы. Из представленной на рисунке записи следует, что станции ИГИ, даже в черте города с высоким уровнем промышленных помех, позволяют получить надежные сведения о направлении первых вступлений P- и S-волн, что обеспечивает надежность решений механизмов очагов.



Снизу-вверх записи на каналах «Z», «N» и «E»

Рисунок 3. Пример записи землетрясения станцией KNDC

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ВВР-К ИЯФ В 2015 Г. ПО ДАННЫМ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ

Площадка реактора ИЯФ расположена в районе, наиболее изученном как сейсмологическими, так и геолого-геофизическими методами. В целом исследуемый район по данным фоновых значений сейсмотектонического деформирования, полученных по механизмам очагов за 1969-2005 гг., характеризуется условиями горизонтального субмеридионального сжатия, под действием которого в очагах землетрясений реализуется взбросовый тип подвижки, свидетельствующий о воздымании пород земной коры [3]. Эти результаты согласуются с условиями деформирования земной коры в неотектонический этап акти-

визации тектонического процесса по геологическим данным. Данный факт свидетельствует о том, что сейсмотектонические деформации, полученные по материалам механизмов очагов землетрясений, отражают современную геодинамику района, и региональный характер деформирования пород практически не меняется на протяжении десятков тысяч лет.

Однако ранее было показано существование в исследуемом районе существенных пространственно-временных вариаций параметров механизмов очагов относительно фоновых значений [6]. Наблюдение таких вариаций способствует изучению и прогнозированию сейсмотектонического процесса, в частности, связанного с процессами формирования сильных землетрясений. Поэтому важно проводить мониторинг напряженно-деформированного состояния среды и сравнительный анализ этого состояния

с фоновыми значениями, а также с характером деформирования среды перед сильными землетрясениями.

Для характеристики напряженно-деформированного состояния территории в 2015 г. проведен анализ распределения землетрясений всего энергетического диапазона по типам подвижек, по ориентации осей главных напряжений, снимаемых в очагах, а также по пространственному распределению типов механизмов очагов.

ТИПЫ ПОДВИЖЕК

Для характеристики распределения землетрясений всего энергетического диапазона по типам подвижек проведена градация по трем группам: 1) взброс, 2) сброс, 3) сдвиг. В двух первых преобладают компоненты подвижек по падению плоскости разрыва, в последней – по простиранию разрыва. Взбросы (взбросо-сдвиги) реализуются в условиях напряжения горизонтального сжатия, сбросы (сбросо-сдвиги) – напряжения горизонтального растяжения.

Результаты, распределения землетрясений по типам подвижек в период наблюдения 2015 г. характеризует диаграмма на рисунке 4. Из представленной на рисунке диаграммы видно, что в исследуемом районе Тянь-Шаня по данным 2015 г. преобладают очаги со сбросовой подвижкой по падению плоскости разрыва, они составляют 57%, а на долю взбросов приходится только 38% случаев, 5% составляют сдвиги. По данным фоновых значений картина прямо противоположная: отмечается преобладание взбросов, составляющих 60%, сбросы составляют порядка 37%, сдвиги только 3-4% [3]. Причиной такого увеличения количества очагов со сбросовыми типами подвижек в исследуемом районе может быть миграция флюидов в земной коре, о чем упоминалось в ряде статей, в частности в работе, посвященной исследованию геодинамических процессов в очаговой зоне Байсорунского землетрясения 12 ноября 1990 года [7].

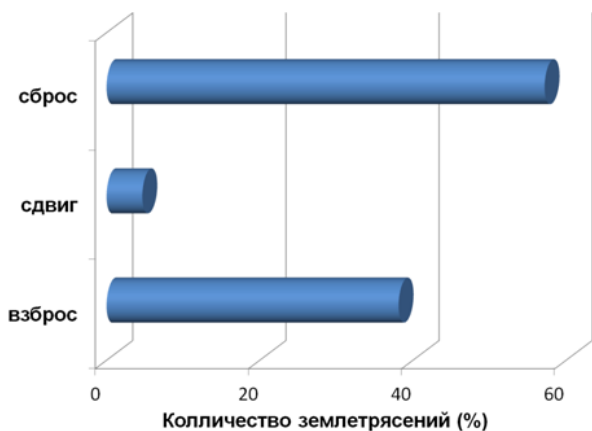


Рисунок 4. Диаграммы распределения очагов землетрясений разных энергетических диапазонов по типам подвижек

Таким образом, из результатов сопоставления преобладающих типов в очагах землетрясений текущего периода с фоновыми следует, что наблюдаемая ситуация распределения очагов по типам подвижек является аномальной, и не согласуется с региональными условиями горизонтального сжатия.

ОРИЕНТАЦИЯ ОСЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ

Для исследования ориентации главных напряжений в очагах землетрясений были построены векторные диаграммы частот повторения азимутов и углов наклона к горизонту осей главных напряжений в очагах землетрясений 2015 года (рисунок 5а, 5б).

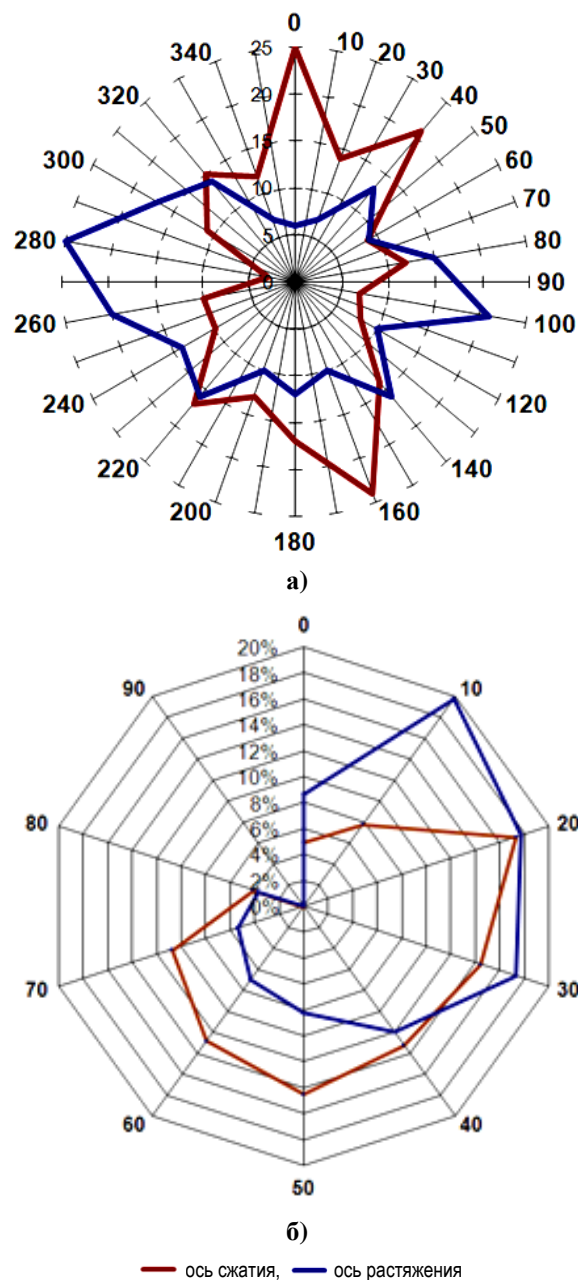


Рисунок 5. Диаграммы азимутов (а) и углов выхода (б) осей сжатия и растяжения по данным механизмов очагов 2015 г.

Анализ векторных диаграмм распределения азимутов осей свидетельствует о превалировании субмеридионального направления осей напряжения сжатия и субширотного направления осей растяжения, что соответствует данным по фоновым значениям [3].

Результаты, полученные по значениям углов наклона к горизонту осей главных напряжений (рисунок 5б), свидетельствуют, что и для оси сжатия, и для оси растяжения четки максимумы выделяются в диапазоне 0–30°. Причем, для оси сжатия в диапазоне 0–30° находится только 39% значений, т.е. под действием близгоризонтального сжатия реализовалось около 40% очагов. В то же время для оси растяжения в диапазоне 0–30° находится 55% значений, из чего следует, что более половины всех очагов реализовалось в условиях горизонтального растяжения. Данный факт позволяет утверждать, что в 2015 г. превалируют аномальные для региона условия близгоризонтального растяжения.

Таким образом, результаты исследования показывают, что в 2015 г. режим деформирования земной коры исследуемого региона характеризуется преимущественно субширотным растяжением, вдоль основных рельефообразующих структур и, в меньшей степени сжатием в крест их простираения. Наблюдаемый в текущем периоде характер напряженно-деформированного состояния земной коры контрастно отличается от фоновых характеристик и не соответствует условиям регионального сжатия.

Отметим, что высокая активность сильных землетрясений в районе Северного Тянь-Шаня наблюдается в периоды, когда на долю взбросов, реализующихся в условиях горизонтального сжатия, прихо-

дится 70% очагов землетрясений [6] (рисунок 6). Из чего следует, что в текущий период аномально низкого количества землетрясений со взбросовой подвижкой и аномально большого количества сбросовых очагов, реализующихся в условиях горизонтального растяжения, возникновение сильного землетрясения маловероятно.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПОВ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ

Важным для прогноза места возможного возникновения землетрясения является распределение типов механизмов очагов в пространстве. По данным фоновых характеристик характерным для региона является мозаичное распределение по площади всех типов механизмов очагов, с превалированием взбросов и взбросо-сдвигов. Прогнозным признаком является формирование зон, в которых концентрируются очаги с контрастным типом подвижек [6].

Формирование таких контрастно-деформированных зон намечается в 2015 году (рисунок 7). Из рисунка видно, что большинство очагов землетрясений в 2015 г. характеризуется сбросовым типом подвижек. Причем очаги этого типа сконцентрированы преимущественно в локальной зоне в восточной части территории между двумя разломами северо-западного простираения. На западной границе этой зоны вдоль северо-западного разлома, секущего хребты Тянь-Шаня западнее Алматы, отмечается концентрация преимущественно взбросовых типов очагов землетрясений. Они образуют относительно небольшую вытянутую вдоль разлома локальную зону, однако в этой зоне реализовались наиболее сильные землетрясения периода.

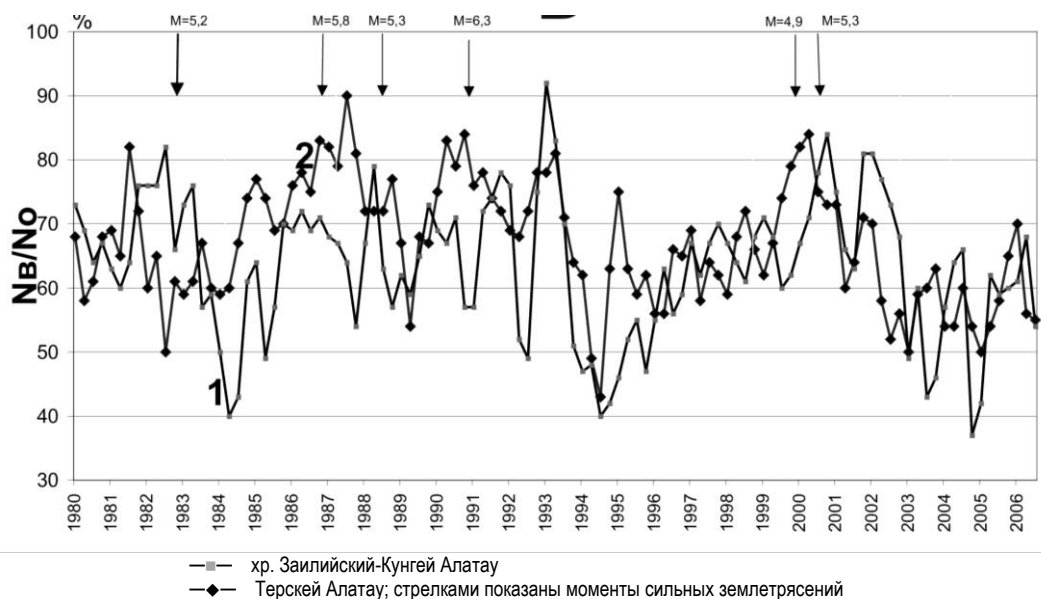


Рисунок 6. Изменение во времени относительного числа землетрясений со взбросовой подвижкой к общему числу землетрясений из [6]

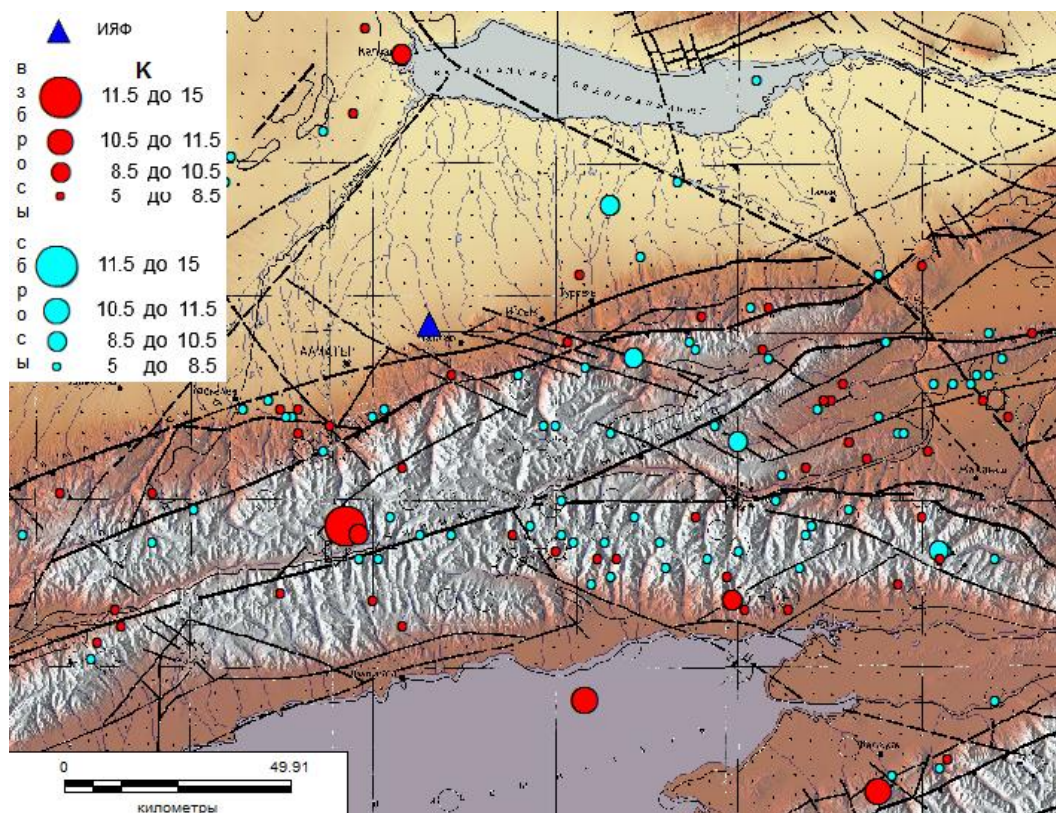


Рисунок 7. Карта распределения по площади очагов землетрясений с разным типом механизмов в 2015 г.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате проведенного анализа данных механизмов очагов землетрясений установлено изменение режима напряженно-деформированного состояния в исследуемом районе. Одной из причин такого перераспределения поля сейсмостектонического деформирования, как показано в ряде работ может быть изменение флюидного режима в земной коре, сопровождаемое изменением структуры поля поглощения поперечных волн [7, 9, 10]. Увеличению сбросовых подвижек соответствуют высокие значения поля поглощения поперечных волн, увеличению взбросовых подвижек в очагах – низкие значения поля поглощения поперечных волн. Наблюдаемое в настоящее время увеличение сбросов в очагах землетрясений согласуется с образованием зон высокого поглощения в восточной и западной частях Тянь-Шаня [11]. Отметим, что в условиях растяжения, отмечающихся в текущем периоде, реализация сильных землетрясений в регионе не отмечалась. Однако, в такие периоды возможно происходит подготовка очагов будущих землетрясений.

С другой стороны, о возможной подготовке очага землетрясения, может свидетельствовать формирование в текущем периоде контрастно деформированных зон вдоль структур северо-западного простирания. В восточной части, где преобладают сбросы, деформирование пород характеризуется растяжением вдоль простирания хребтов Тянь-Шаня. В

западной части территории, где преобладают взбросовые подвижки в очагах, деформирование характеризуется сжатием в крест простирания хребтов. Граница, между двумя зонами с преобладанием контрастных типов подвижек, проходит вблизи г. Алматы. Формирование контрастно-деформированных зон создает опасную ситуацию, поскольку в сплошной среде компоненты деформации соседних точек взаимосвязаны, несовместность сейсмостектонической деформации компенсируется дополнительными внутренними упругими деформациями и напряжениями. При склонности материала области к разрушению, связанной с развитием ослабленных зон, неблагоприятная ориентация внутренних напряжений может инициировать разрушение, т. е. возникновение землетрясения вблизи границ между контрастно деформированными зонами [8]. Реализация сильного землетрясения происходит через 3–4 года после начала формирования таких зон [3]. Из чего следует, что хотя в настоящее время в условиях напряженно-деформированного состояния, характеризующихся растяжением, реализация сильного землетрясения маловероятна, ситуация может стать опасной в дальнейшем. Поскольку по имеющимся данным о периодичности вариаций сейсмостектонических вариаций [6, 10] после наблюдаемого спада наступит рост количества взбросов, именно в такой период наиболее вероятно реализация сильнейших землетрясений. В случае увеличения количества взбросов до 70% и

сохранения в этот период контрастно деформированных зон вероятность возникновения сильного землетрясения может сильно увеличиться.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для оценки метода изучения напряженно-деформированного состояния земной коры по данным механизмов очагов в районах размещения объектов атомной отрасли в связи с сейсмобезопасностью в районе размещения исследовательского реактора ИЯФ был проведен сравнительный анализ НДС земной коры в 2015 г. с фоновыми характеристиками и характеристиками перед реализацией сильных землетрясений. По результатам выполненных в ИГИ РК работ по анализу данных механизмов очагов выявлена аномальная ситуация напряженно-деформированного состояния земной коры в районе размещения исследовательского реактора ИЯФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курскеев, А.К. Общее сейсмическое районирование территории Казахстана / А.К. Курскеев, А.В. Тимуш, А.С. Сыдыков, В.И. Шацков // Карта ОСР территории Казахстана. Объяснительная записка. – Алма-Ата, 2003. – С. 84.
2. Полешко Н.Н., Досайбекова С. Сейсмоструктурная обстановка по данным механизмов очагов землетрясений Джунгаро-Северо-Тянь-Шаньского региона Казахстана // Вестник АО «КазНИИСА» Наука –2016. –№4(9). –25–33.
3. Полешко, Н. Н. Механизмы очагов землетрясений и сейсмоструктурная деформация земной коры Северного Тянь-Шаня и Жонгарии: дис... канд. г.м. наук: 25.00.10: защищена 24.04.2009; утв. 07.10.2009 / Н.Н. Полешко // Алматы, 2009. – С. 135.
4. Masaki, N. Determination of focal mechanism solution using initial motion polarity of P and S waves / N. Masaki // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 2002. – 130. – P. 17–29.
5. Ризниченко, Ю.В. Проблемы сейсмологии / Избранные труды. – М.: Наука, 1985. – 406 с.
6. Михайлова, Н.Н., Полешко Н.Н. Временные вариации параметров механизмов очагов в сейсмоактивных регионах / Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Промышленность Казахстана. – 2008. – №1(46). – С. 39–42.
7. Копничев, Ю.Ф. Геодинамические процессы в очаговой зоне Байсорунского землетрясения 12 ноября 1990 года (Северный Тянь-Шань) / Ю.Ф. Копничев, Н.Н. Михайлова // Доклады РАН. – 2000. Т. 373. – С.93–97.
8. Юнга, С. Л. О механизме деформирования сейсмоактивного объема земной коры / С.Л. Юнга // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1979. – № 10. – С.14–23.
9. Михайлова, Н.Н., Полешко Н.Н. Тензоры моментов центридов и механизмы очагов землетрясений Центральной Азии / Н.Н. Михайлова // Изв НАН РК. Сер. геол. – 2007. – №6 (410). – С.87–90.
10. Полешко, Н.Н., Сейсмоструктурная деформация и добротность среды на Северном Тянь-Шане: связь с вариациями солнечной активности. / Н.Н. Полешко, Ю.Ф.Копничев, А.Б. Садыкова, Г.Я. Хачикян, И.Н. Соколова // Тезисы докладов пятого международного симпозиума «Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов» к 75-летию со дня рождения Ю.А. Трапезникова. Бишкек. 2011. Том.1. – С. 272–275.
11. Копничев, Ю.Ф. Об активизации сейсмичности в регионе Центральной и Южной Азии после Макранских землетрясений: возможное ускорение подготовки сильных сейсмических событий в районе Тянь-Шаня/ Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Доклады РАН. – 2015. – С. 101–112.

СОҢҒЫ ЖЫЛДАРДЫҢ ОШАҚ МЕХАНИЗМДЕРІН ЗЕРДЕЛЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ БОЙЫНША ЯФИ ВВР-К ЗЕРТТЕУЛІК АТОМДЫҚ РЕАКТОРЫ АЛАҢЫНЫҢ АУДАНЫНДА СЕЙСМОТЕКТОНИКАЛЫҚ ЖАҒДАЙЫНДА ӨЗГЕРІСТЕР

А.Н. Өзбеков, Н.Н. Полешко

Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Жұмыста, Алматы қ. жанындағы ЯФИ ВВР-К атомдық реакторы орналасқан алаңның ауданында сейсмоструктуралық деформациясын зерттеу нәтижелері келтірілген. Жер қыртысының тереңдегі бөліктерінің кернеу-деформациялық күйі туралы ақпаратты алудың ең маңызды бір әдісі болып табылатыны – ошақ механизмдерін зерделу. 2015 ж. үшін сейсмикалықтың мониторингі нәтижелері бойынша 250 астам жерсілкінулердің ошақ механизмдерінің каталогы құрастырылған. Жерсілкінулердің параметрлері зерделенген, ошақтардың механизмдері салынған, жерсілкінулер жылжу типтерінің картасы жасалған. ЯФИ ВВР-К реакторы ауданындағы сейсмикалық жағдай туралы қорытындылар жасалған.

**CHANGE IN SEISMOTECTONIC CONDITIONS IN THE AREA OF PLATFORM RESEARCH NUCLEAR
REACTOR VVR-K INP THE STUDY OF FOCAL MECHANISMS RECENT YEARS**

A.N. Uzbekov, N.N. Poleshko

Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

The results of the study seismotectonic deformation in the vicinity of the site of placement of the nuclear reactor VVR-K INP near Almaty. One of the most important ways of getting information about the stress-strain state of deep parts of the Earth's crust is the study of focal mechanisms. According to the results of monitoring of seismicity in 2015 the catalog of focal mechanisms, comprising more than 250 earthquakes studied parameters earthquake focal mechanisms are constructed, a map of the types of movements of earthquakes. The conclusions about the seismic situation in the area of reactor VVR-K INP.