

УДК 550.34

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ОЧАГОВ ПОСЛЕДНИХ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА СЕВЕРНОМ ТЯНЬ-ШАНЕ

Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

В течение двух последних десятилетий на Северном Тянь-Шане установилось сейсмическое затишье в отсутствии сильных землетрясений с магнитудой более 7. На этом фоне представляет интерес группа из трех землетрясений 2011-2013 гг. с магнитудой $M_w = 5.1 - 6.1$: Капчагайское (01.05.2011 г., $M_w = 5.1$), Согетинское (30.05.2012 г., $M_w = 5.4$), Нарынкольское (28.01.2013, $M_w = 6.1$). Приводятся результаты анализа общих закономерностей и особенностей проявления очагов этих землетрясений.

В последние два десятилетия на Северном Тянь-Шане установилось сейсмическое затишье, проявляющееся в отсутствии сильных землетрясений с магнитудой более 7. Причем за период 1994 - 2002 гг. на огромной территории Тянь-Шаня к востоку от Таласо-Ферганского разлома и в Джунгарии не было землетрясений даже с магнитудой 5 (рисунок 1). В следующий десятилетний период (2003 - 2013 гг.) отмечается некоторая активизация сейсмичности в восточном и южном Тянь-Шане, причем прослеживается тенденция миграции эпицентров землетрясений с востока на запад (рисунок 2).

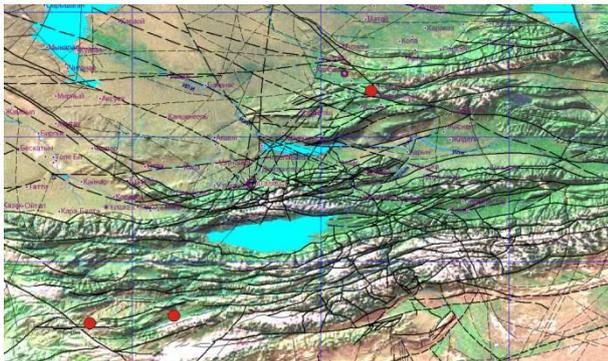
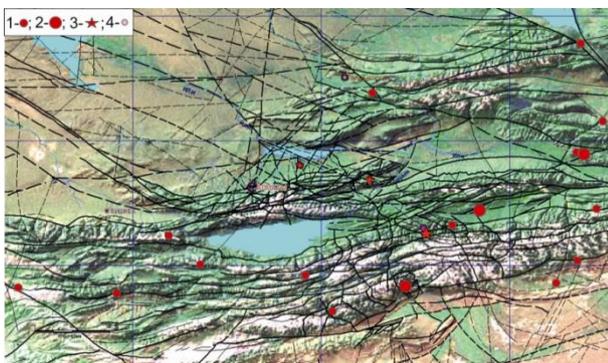


Рисунок 1. Эпицентры землетрясений с $M \geq 5$ на территории Тянь-Шаня и Джунгарии за 1993 - 2002 гг.



(1-4) – эпицентры землетрясений: 1 – $6 > M \geq 5$, 2 – $7 > M \geq 6$; 3 – с $M \geq 5$ в Северном Тянь-Шане в 2011 - 2013 гг.; 4 – $M \geq 5$ афтершоков

Рисунок 2. Эпицентры землетрясений с $M \geq 5$ на территории Тянь-Шаня за 2003-2013 гг.

На этом фоне представляет интерес группа из трех землетрясений, произошедших в 2011 – 2013 гг., с магнитудой $M_w = 5.1 - 6.1$ (звездочки на рисунке 2), ощущавшихся в эпицентральных областях до 6 баллов, на территории г. Алматы – до 5 баллов. Это землетрясения 01.05.2011 г., $M_w = 5.1$ (Капчагайское), 30.05.2012 г., $M_w = 5.4$ (Согетинское), 28.01.2013, $M_w = 6.1$ (Нарынкольское). Очаги этих трех событий трассируют Капчагай – Чиликский сейсмоактивный разлом на ограниченном участке длиной ≈ 200 км (рисунок 3). Миграция их эпицентров происходила с северо – запада на юго – восток, при этом с каждым новым событием возрастала и их энергия. Капчагай-Чиликский разлом относится к наиболее крупным на рассматриваемой территории (трансрегиональным) сдвигам, он протягивается от хребтов Кокшаал-Тау под кайнозойские отложения Южно-Прибалхашской впадины, простирание разлома $S3\ 300^\circ - 305^\circ$, падение плоскости разлома крутое, почти вертикальное. По имеющимся данным этот разлом не отличался особой сейсмической активностью [1].

Капчагайское землетрясение (2011 г.) произошло в Илийской впадине, которая является платформенной зоной. Кристаллический фундамент здесь перекрыт километровой толщей мезо-кайнозойского чехла. За все время здесь было зарегистрировано лишь одно событие с $M_s=4$ в 1960 г.

Согетинское землетрясение (2012 г.) произошло в Согетинской межгорной впадине, также перекрытой чехлом. Ранее в пределах Согетинской долины не было зарегистрировано событий с M_s более 3,5.

Нарынкольское землетрясение (2013) произошло в пределах хребта Терской Алатау, здесь породы палеозойского фундамента выходят на поверхность. Однако и здесь, как показал анализ имеющихся каталогов землетрясений, до настоящего времени в радиусе около 1° от эпицентра не было зарегистрировано ни одного сейсмического события с $M \geq 6$.

**ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ОЧАГОВ
ПОСЛЕДНИХ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА СЕВЕРНОМ ТЯНЬ-ШАНЕ**

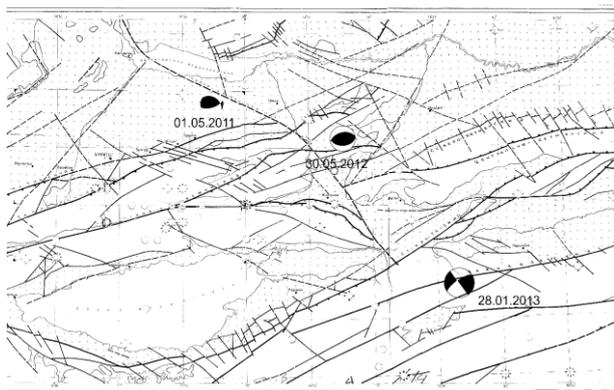


Рисунок 3. Эпицентры и стереограммы механизмов очагов трех наиболее сильных землетрясений Северного Тянь-Шаня за 2011 - 2013 гг. на карте сейсмоактивных разломов [Тимуш А.В.]

В таблице 1 приведены основные параметры 3-х землетрясений по данным Казахстанского центра данных, полученных с использованием данных всех станций Казахстана: Центра данных, СОМЭ МОН РК, Кыргызских станций, поступающих в реальном времени.

Из таблицы видно, что от 2011 г. к 2013 г. возростала энергия событий, а также уменьшалась глубина их очагов по мере движения от платформенной зоны к выходам коренных.

На рисунке 4 эпицентры трех землетрясений показаны на схеме сейсмогенерирующих зон Джунгаро-Северо-Тянь-Шаньского региона по данным Института сейсмологии МОН РК [1].

Из рисунка 4 видно, что очаг Нарынкольского землетрясения расположен на границе зон с возможной магнитудой землетрясений $M \leq 7,5$ и $M \leq 6,5$, т.е. соответствует потенциалу зон. В то же время, очаговые зоны Согетинского и Капчагайского землетрясений не отмечены как сейсмогенерирующие зоны.

Таблица 1. Основные параметры трех рассматриваемых землетрясений

№	Название землетрясения	Координаты	Год день месяц	Глубина, км	Магнитуда, mb	Магнитуда, Mw
1	Капчагайское	43.62N, 77.7E	2011 1 мая	22	5.6	5.3
2	Согетинское	43.1N, 78.8E	2012 30 мая	20	6.1	5.4
3	Нарынкольское	42.52N, 79.67E	2013 28 января	15	6.3	6.1

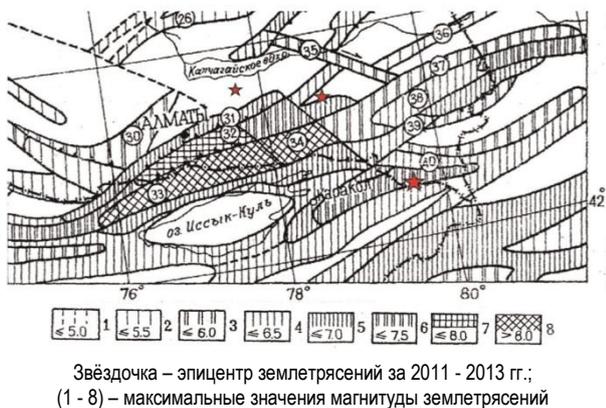


Рисунок 4. Сейсмогенерирующие зоны Джунгаро-Северо-Тянь-Шаньского региона [1] с эпицентрами трех землетрясений 2011 – 2013 гг.

По инструментальным данным станций РК гипоцентр Капчагайского землетрясения (01.05.2011) расположен в Алматинской впадине на глубине 22 км и приурочен к узлу пересечения разломов высших порядков, выделенных по результатам дешифрирования космоснимков. Один из них субпараллелен Капчагай-Чиликскому сдвигу, другой имеет северо-восточное простирание. Алматинская впадина

является слабосейсмичной зоной, разделяющей Северо-Тянь-Шаньскую и Жонгарскую сейсмоактивные зоны Казахстана. По данным сейсмического районирования Казахстана [1] сейсмopotенциал ближайшей сейсмогенерирующей зоны (Алтынэмельской) на севере составляет 6,5. На юге, в Алматинской сейсмогенерирующей зоне, максимально сильными могут быть землетрясения с магнитудой 7,0 (рисунок 4).

Очаг Согетинского землетрясения (30.05.2012) реализовался севернее Чилик-Кеминского надвига в пределах Согетинской долины, перекрытой мезокайнозойским чехлом. Долина представляет собой блок, ограниченный со всех сторон разломами разного порядка. За все историческое время в пределах Согетинской долины не было зарегистрировано событий интенсивностью более 10-го класса. Очаг Согетинского землетрясения реализовался в консолидированном фундаменте на глубине 20 км.

По мнению авторов, из факта реализации Согетинского и Капчагайского землетрясений следует, что их эпицентральные зоны должны быть выделены как сейсмогенерирующие, потенциал которых составляет $M_s \leq 5,5$. Данный факт необходимо учитывать при работах по оценке сейсмической опасно-

сти. Несмотря на то, что три очага сконцентрированы в близкой по времени и пространству области, связаны практически с одним и тем же тектоническим разломом, имеют энергию в небольшом диапазоне значений, закономерности афтершоковой деятельности у них сильно различаются. Распределение афтершоков по энергиям и во времени характеризуют рисунки 5 – 7.

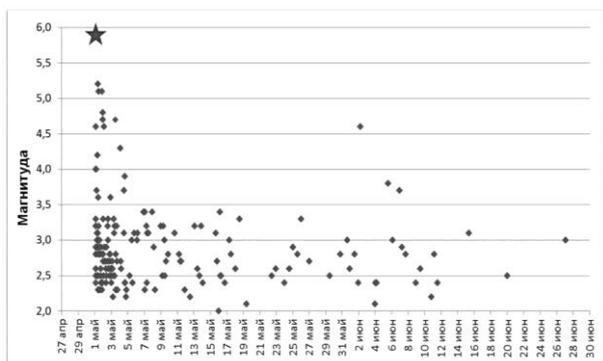


Рисунок 5. Затухание афтершоковой деятельности в очаге Капчагайского землетрясения

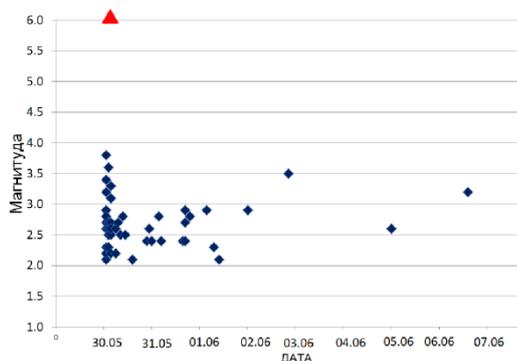


Рисунок 6. Затухание афтершоковой деятельности в очаге Согетинского землетрясения

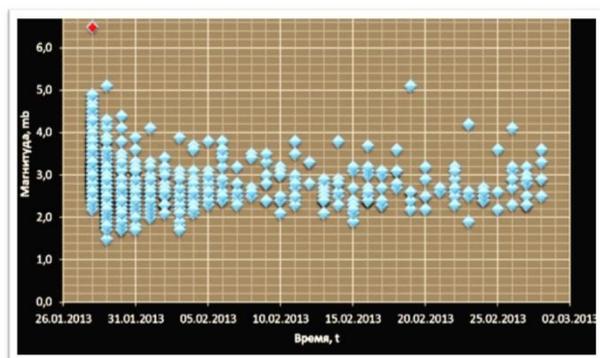


Рисунок 7. Затухание афтершоковой деятельности в очаге Нарынкольского землетрясения

Капчагайское землетрясение предвещал слабый форшок с энергетическим классом $K=5.8$, зарегистрированный за 2,5 часа до основного толчка (рисунок 5). После землетрясения последовала серия афтершоков, аномально высокая как по общему числу

повторных толчков для такого сравнительно не сильного главного толчка, так и по количеству относительно сильных толчков с $K \geq 9$. Всего в каталог и сейсмологические бюллетени включено более 200 афтершоков этого землетрясения, большая часть из которых была зарегистрирована в первые 10 дней. Тринадцать наиболее сильных толчков с $K \geq 9$ произошли в первые 4 дня. Через месяц, 2 июня, был зарегистрирован еще один афтершок с $K=9$.

Сейсмический эффект Согетинского землетрясения был гораздо слабее. Главный толчок не сопровождался сильными афтершоками, энергетический уровень большинства повторных толчков колебался в пределах $K=4 - 6$, только у двух наиболее сильных он достиг значения $K=8$ (рисунок 6). Всего зарегистрировано 60 афтершоков этого землетрясения, почти все из них реализовались в первые 2 дня, причем половина произошла в течение 2,5 часов после главного толчка, координаты эпицентров афтершоков практически совпадают с координатами главного события.

После Нарынкольского землетрясения в течение месяца в каталог и сейсмологические бюллетени включено более 900 афтершоков, большая часть из которых была зарегистрирована в первые три дня. Распределение афтершоков по энергиям и во времени характеризует рисунок 7: большинство наиболее сильных толчков с $K \geq 8,5$, в том числе с $K=11,6$, произошли в первые два дня. Через 20 дней, 19 февраля, был зарегистрирован еще один афтершок с $K=10,5$, затем в марте и в апреле произошли афтершоки $K=11$ и $K=10$, положение эпицентров, которых практически совпало с положением главного толчка.

Из анализа затухания афтершоковой деятельности в рассмотренных очагах, следует, что «крайние» с севера и юга землетрясения Капчагайское и Нарынкольское характеризовались большим количеством афтершоков, среди которых были и сильные, ощущавшиеся в населенных пунктах. При «среднем» (Согетинском) землетрясении афтершоков было мало, сильные повторные точки отсутствовали.

На рисунке 8 показано положение афтершоков рассматриваемых землетрясений в плане. Из рисунка видно, что облака афтершоков всех трех событий имеют изометричную форму. Пространственное положение областей афтершоков Капчагайского и Нарынкольского землетрясений было уточнено методом двойных разностей, что позволило установить трехмерную конфигурацию и размеры очаговых зон [2, 3]. Размеры очагов «крайних» событий геологически фиксированы размерами блоков и соответствуют средним размерам очагов землетрясений соответствующей магнитуды [4]. То есть, пространственно-временные характеристики афтершоковых последовательностей для «крайних» событий – северного Капчагайского и южного Нарынкольского – более близки между собой по положению в пространстве, времени и магнитуде.

**ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ОЧАГОВ
ПОСЛЕДНИХ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА СЕВЕРНОМ ТЯНЬ-ШАНЕ**

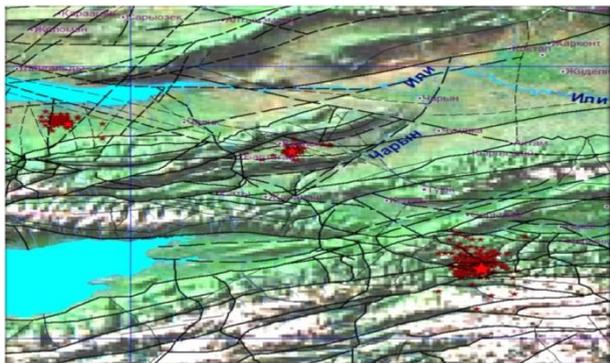


Рисунок 8. Эпицентры главных толчков и афтершоков наиболее сильных землетрясений Северного Тянь-Шаня за 2011-2013 гг.

Параметры афтершоковых последовательностей рассматриваемых очагов были сопоставлены с моделями, имеющимися для Тянь – Шаня. В результате установлено, что наибольшее соответствие существующим моделям имеют последовательности Капчагайского и Нарынкольского землетрясений.

Таким образом, в очагах землетрясений, близких по энергетическим характеристикам и сформировавшихся в сходных сеймотектонических условиях, возможны совершенно различные сценарии высвобождения энергии, что затрудняет прогноз развития сейсмического процесса после сильного главного толчка.

Таблица 2. Параметры механизмов очагов землетрясений по данным регионального и CMT (GFZ) каталогов

№ и название землетрясения	Наименование каталога	AzP	eP	AzT	eT	AzN	eN	STR1	DIP1	SLIP1	STR2	DIP2	SLIP2	N
1 Капчагайское	МО (КНЦД)	182	14	118	61	85	25	122	38	135	252	64	62	51
	CMT(GFZ)	175	15	121	65	79	19	110	34	125	249	63	69	12
2 Согетинское	МО (КНЦД)	172	2	283	85	82	5	87	43	98	258	47	84	39
	CMT(GFZ)	170	9	24	80	261	6	73	37	80	265	54	97	24
3 Нарынкольское	МО (КНЦД)	10	0	280	16	100	74	236	79	11	144	79	170	43
	CMT(GFZ)	12	2	282	3	131	86	57	86	1	327	89	176	172

Для всех трех землетрясений получены решения механизмов очагов двумя методами: в Центре данных ИГИ по первым смещениям Р-волн, зарегистрированных сейсмическими сетями РК (ИГИ и СОМЭ), KNET, CAREMON и расчетом тензора центра сейсмического момента (СМТ) в международных Центрах. О надежности решения фокальных механизмов по первым вступлениям объемных волн свидетельствует использование достаточно большого количества равномерно распределенных знаков (39 - 51), согласованность которых составляла не менее 95%, а вариации вычисленных параметров не превышали 1 - 2°. Параметры фокальных механизмов по двум методам приведены в таблице 2, а стереограммы показаны на карте сейсмоактивных разломов (рисунок 2), видно, что во всех трех случаях решения по двум методам хорошо согласуются.

Полученная согласованность двух решений свидетельствует о том, что параметры, установленные при первых движениях по разрывам в очагах, относятся ко всему разрыву в целом, а подвижки представляли собой простое скольжение по плоскостям под действием двойной пары сил [5].

Типы подвижек в очагах рассматриваемых землетрясений имеют свои особенности, характерные для геодинамических режимов зон их реализации. Так, в пределах Кунгей-Заилийского блока, представляющего собой аномальную по упруго-прочност-

ным и энергетическим параметрам неоднородность, преобладают взбросовые движения по крутопадающим разрывам близширотного простирания. В северном и южном направлении в очагах землетрясений увеличивается роль сдвиговой составляющей – тип механизма – взбросо-сдвиг и сдвиг. Соответственно с указанными особенностями, в очаге Согетинского землетрясения обе нодальные плоскости имеют субширотное простирание и угол падения ~45°: одна – на юг, другая – на север. Подвижка по обеим плоскостям характеризуется надвигом, что свидетельствует о процессе воздымания в Согетинской долине. Этот вывод согласуется и с данными о современных движениях. В очаге Капчагайского землетрясения одна из нодальных плоскостей имеет северо-восточное простирание (STR2) и крутое падение (64°) в северо-западном направлении, подвижка по этой плоскости характеризуется взбросом. Другая плоскость северо-западного простирания (STR1) полого падает на юго-запад. Висячее юго-западное крыло этой плоскости разрыва смещено по простиранию в северо-западном направлении и вверх. Тип подвижки в очаге Нарынкольского землетрясения характеризуется горизонтальным сдвигом по обеим близвертикальным плоскостям, одна из которых имеет северо-восточное направление, другая – северо-западное.

Сопоставление с тектоникой региона показывает, что во всех трех случаях каждая из двух возможных плоскостей разрыва имеет структурное соответствие с имеющейся в регионе сетью разломов. Таким образом, сопоставление ориентации нодальных плоскостей фокальных механизмов с данными тектоники региона, не позволяет выявить действующие плоскости разрывов рассматриваемых землетрясений. Поэтому были привлечены дополнительные, независимые сведения, и по всему комплексу данных установлена наиболее вероятная плоскость разрыва в каждом из очагов [4]. В очагах Согетинского и Нарынкольского землетрясений тип подвижки и ориентация разрыва соответствуют динамике и направлению региональных разломов тянь-шаньского северо-восточного простирания. В очаге Капчагайского землетрясения – региональному Капчагай-Чилкскому сдвигу северо-западного простирания. Система напряжений по результатам решения механизма в очагах Капчагайского и Согетинского землетрясений характеризуется близгоризонтальной и субмеридиональной ориентацией оси напряжения сжатия, и субширотной, круто погружающейся осью напряжения растяжения. Система напряжений, под действием которой произошло Нарынкольское землетрясение, несколько отличается от двух предыдущих случаев и характеризуется близгоризонтальной ориентацией обеих главных осей напряжений – сжатия и растяжения, однако направление этих осей, как и в первых двух случаях, соответственно, субмеридиональное и субширотное. Такая ориентация осей напряжений, снимаемых в очагах, соответствует близгоризонтальному сжатию в близмеридиональном направлении, характерном для большой территории Центральной Азии. Близвертикальное напряжение растяжения в очагах Капчагайского и Согетинского землетрясений характерно для Северного Тянь-Шаня, горизонтальное растяжение в субширотном направлении в очаге Нарынкольского землетрясения свойственно очагам землетрясений Кокшаальской зоны Южного Тянь-Шаня [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимуш, А. В. Сейсмоструктура литосферы Казахстана / А. В. Тимуш . - Алматы: Luxe Media Group , 2011. – С. 398 - 399. – ISBN 9965-730-32-6.
2. Рябенко, П. В. Капчагайское землетрясение 1 мая 2011 года по данным региональной сети сейсмических станций / П. В. Рябенко, Н. А. Сейнасинов // Актуальные вопросы мирного использования атомной энергии. Доклады международной конференции молодых ученых и специалистов. 6-8 июня 2012 г. Алматы., 2012.- С. 149 - 159.
3. Рябенко, П. В. Очаг и афтершоковая активность землетрясения 28.01.2013 г. на Северном Тянь-Шане / П.В. Рябенко, Р.Б. Узбеков // Вестник НЯЦ РК, 2014. - Вып. 1. – С. 112 – 117.
4. Михайлова, Н.Н. Капчагайское землетрясение 1 мая 2011 года / Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Вестник НЯЦ РК, 2013. – Вып. 1. – С. 102 – 110.
5. Михайлова, Н.Н. Тензоры моментов центроидов и механизмы очагов землетрясений Центральной Азии / Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Изв. НАН РК. Сер. Геол, 2007. – №6 (410). – С. 87–90.
6. Полешко, Н. Н. Механизмы очагов землетрясений и сейсмоструктурная деформация земной коры Северного Тянь-Шаня и Жонгарии: автореф. дис. канд. г.-м. наук: 25.00.10 / Н.Н. Полешко // Алматы, 2009. – 12 с.

Выводы

1. Общей закономерностью в распределении происшедших ранее наиболее сильных землетрясений Северного-Тянь-Шаня, в том числе и катастрофических, являлось формирование их очагов в зонах северо-восточного простирания, соответствующего ориентации основных рельефообразующих структур. Особенностью самых ярких событий последнего временного этапа является связь их с зоной северо-западного простирания, совпадающей с трансрегиональным Капчагай-Чиликским разломом.

2. Три рассмотренных землетрясения свидетельствует о возможном формировании достаточно сильных очагов землетрясений в слабосейсмичных зонах, что необходимо учитывать в работах по сейсмическому зонированию.

3. В очагах землетрясений, близких по энергетическим характеристикам и сформировавшихся в сходных сейсмоструктурных условиях, возможны совершенно различные сценарии высвобождения энергии, что делает затруднительным прогноз развития сейсмического процесса после сильного главного толчка.

4. Установлено, что очаги последнего этапа реализовались в условиях регионального напряжения сжатия в субмеридиональном направлении, под действием которого произошли подвижки по плоскостям разрывов, согласующиеся с кинематикой и простиранием основных региональных разломов. В процессе афтершоковой активизации происходило дилатансионное упрочнение горных пород.

5. Реализация трех рассмотренных землетрясений, возможно, свидетельствует о начале новой фазы активизации на Северном Тянь-Шане после периода сейсмического затишья. Положение описываемых очагов в восточной части региона позволяет предположить, что, как и в предыдущие периоды сейсмической активизации, процесс активизации начинается на востоке и будет развиваться в западном направлении.

**СОЛТҮСТІК ТЯНЬ-ШАНЬДАҒЫ СОҒҒЫ ҚАТТЫ ЖЕРСІЛКІНУЛЕРДІҢ ЖАЛПЫ
ЗАҢДЫЛЫҚТАРЫ МЕН ОШАҚТАРЫ АЙҚЫНДАНУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ**

Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н.

Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Соңғы екі десте жылдар ағымында Солтүстік Тянь-Шаньда магнитудасы 7 астам қатты жерсілкінулер жоқ болуында сейсмикалық тыныштық орнады. Сол аясында үш жерсілкінуден тұратын топ ықылас арттырады – 2011-2013ж.ж. магнитудасы $M_w = 5.1 - 6.1$: Қапшағайдағы (01.05.2011 ж., $M_w = 5.1$), Сөгеттегі (30.05.2012 г., $M_w = 5.4$), Нарынкөлдегі (28.01.2013, $M_w = 6.1$). Сол жерсілкінулердің жалпы заңдылықтары мен ошақтары айқындану ерекшеліктерін талдау нәтижелері келтіріледі.

**COMMON PATTERN AND CHARACTERISTICS OF RECENT STRONG EARTHQUAKES
EPICENTERS' MANIFESTATION AT NORTHERN TIEN SHAN**

N.N. Mikhailova, N.N. Poleshko

Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

For the period of last two decades on the territory of Northern Tien Shan there has been seismic quietness in the absence of strong earthquakes with magnitude of more than 7. In this context a group of three earthquakes of 2011 – 2013 with magnitude $M_w = 5.1 - 6.1$ is of interest: Kapchagayskoe (01.05.2011, $M_w = 5.1$), Sogetinskoe (30.05.2012, $M_w = 5.4$), Narynkolskoe (28.01.2013, $M_w = 6.1$). The results of analysis of common pattern and characteristics of these earthquakes' epicenters manifestation are given.