

УДК 550.34

Мамбетсадыкова А.А., Омуралиева А. М., Омуралиев М.
*Институт сейсмологии НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан*

ХАРАКТЕРИСТИКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН И СОСТОЯНИЕ СРЕДЫ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Аннотация. На основе данных цифровых сейсмических станций сетей KNET и KRNET изучены сейсмические волны коровых землетрясений Северного Тянь-Шаня, определены скорости V_p , V_s , V_p/V_s , сейсмический параметр Φ , коэффициент Пуассона геофизической среды каждого очага и осуществлено слежение последовательности проявления очагов. Установлено четыре вида очагов землетрясений: 1 - с проявлением флюидов, 2 - с проявлением частичного плавления, 3 - с проявлением высоких давлений, 4 - без проявления флюидов, частичного плавления и высоких давлений.

Ключевые слова: землетрясение, очаг, сейсмические волны, скорость волн, сейсмический параметр, коэффициент Пуассона, флюиды, частичное плавление, высокое давление, иерархия сейсмических циклов.

ТҮНДҮК ТЯНЬ-ШАНДАГЫ ЖЕР ТИТИРӨӨЛӨРДҮН ОЧОКТОРУНУН СЕЙСМИКАЛЫК ТОЛКУНДАРДЫН ЖАНА АЛАРДЫН ЧӨЙРӨСҮНҮН АБАЛЫНЫН ХАРАКТЕРИСТИКАСЫ

Кыскача мазмуну. KNET жана KRNET түйүндөрдүн санарип сейсмикалык станциялардын маалыматынын негизинде Түндүк Тянь-Шандагы жакын аралыктагы жер кыртыштык жер титирөөлөрдүн очокторунун сейсмикалык толкундары изилденген, V_p , V_s , V_p/V_s ылдамдыктары, сейсмикалык параметр Φ , ар бир очоктун геофизикалык чөйрөсүнүн Пуассон коэффициенти аныкталган, жана очоктордун пайда болушунун ырааттуулугун бойкоо жүргүзүлгөн. Жер титирөөлөрдүн очокторунун төрт түрү аныкталган: 1 – флюиддер менен, 2 - толук эмес эрүү менен, 3 - жогорку басым менен, 4 – флюиддердин, толук эмес эрүүнүн, жогорку басымдын жоктугу менен.

Негизги сөздөр: жер титирөө, очок, сейсмикалык толкундар, толкундардын ылдамдыгы, сейсмикалык параметр, Пуассондун коэффициенти, флюиддер, толук эмес эрүү, жогорку басым, сейсмикалык цилиндр.

CHARACTERISTICS OF SEISMIC WAVES AND STATE OF THE EARTHQUAKE FOCUSES IN THE NORTHERN TIEN SHAN

Abstract. Seismic waves of crustal earthquakes of the Northern Tien Shan were studied, velocities V_p , V_s , V_p/V_s , seismic parameter Φ , Poisson's ratio of the geophysical medium of each focal were determined, and sequence of the foci manifestation was monitored based on the data from digital seismic stations of the KNET and KRNET networks. Four types of earthquake foci have been identified: 1 - with manifestation of fluids, 2 - with manifestation of partial melting, 3 - with manifestation of high pressures, 4 - without manifestation of fluids, partial melting and high pressures.

Keywords: earthquake, focus, seismic waves, wave velocity, seismic parameter, Poisson's ratio, fluids, partial melting, high pressure.

Введение

На территории Северного Тянь-Шаня в области сочленения Тянь-Шаньского орогена и Казахского щита расположен ряд устойчивых поднятий: Кыргызское, Суусамыртооское, Заилийское, Кунгейское, Терскойское, разделённых межгорными впадинами - Чуйская, Кемино-Чиликская, Иссык-Кульская, Кочкорская, Суусамырская [1, 2]. В данном регионе проявились такие сильные землетрясения, как Беловодское (1885 г., $M=6.9$), Верненское (1887 г., $M=7.3$), Чиликское (1889 г., $M=8.3$), Кеминское (1911 г., $M=8.2$), Кемино-Чуйское (1938 г., $M=6.9$), Сарыкамьшское (1970 г., $M=6.8$), Жаланаш-Тюпское (1978 г., $M=6.6$), Суусамырское (1992 г., $M=7.3$). Все эти сейсмособытия изучались на основе данных аналоговых станций. В 1991 г. на территории Кыргызстана были установлены 10 цифровых сейсмических станций сети KNET (Kyrgyzstan Telemetered Network, США), а в 2011 г. зарегистрирована новая сеть цифровых станций KRNET (Kyrgyz Republic Digital Network), принадлежащая Институту сейсмологии НАН КР (ИС НАН КР), что позволило улучшить уровень обработки данных по землетрясениям (рисунке 1).

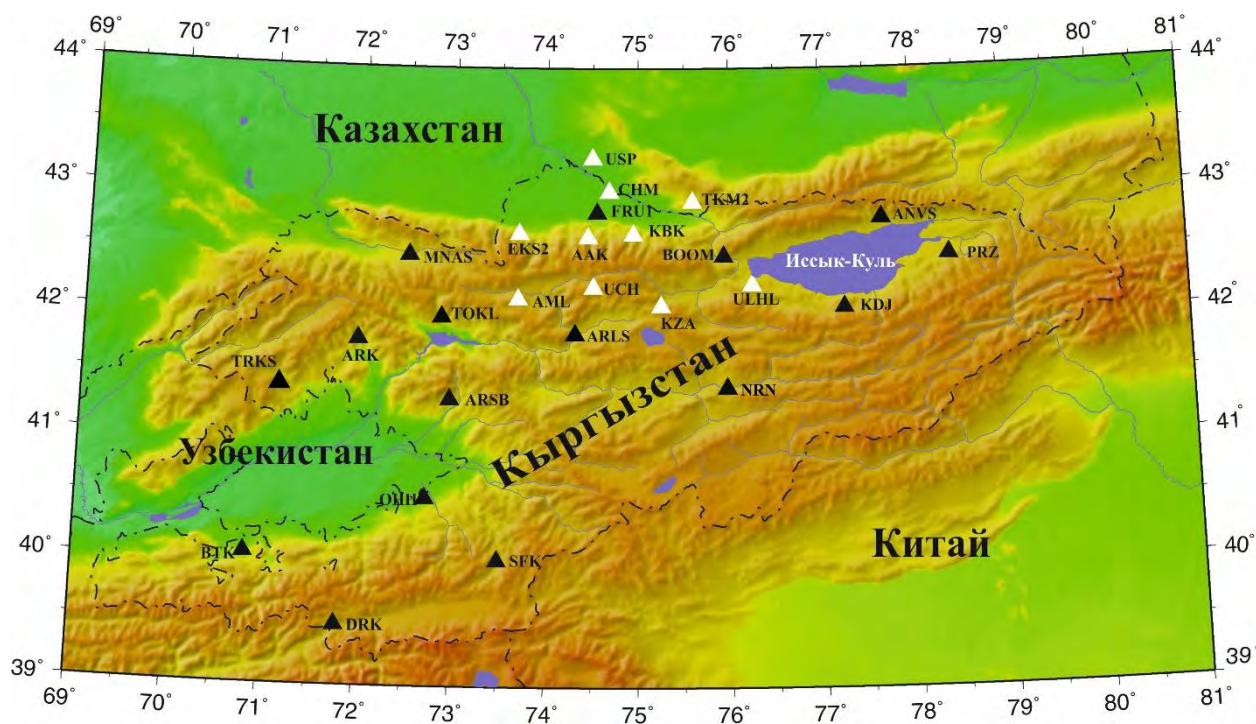


Рисунок 1. Карта-схема сети сейсмического мониторинга ИС НАН КР. Сейсмические станции сети KNET (ИС РАН) обозначены белыми треугольниками, а станции сети KRNET – чёрными треугольниками (<https://seismo.kg/ru/sejsmicheskie-stantsii>).

Сейсмические волны являются фундаментальными характеристиками состояния среды в области источника. Так, амплитуда и период сейсмических волн позволяют определить магнитуду и энергию землетрясений [3], [4], [5]. Полярность первого импульса продольной (P) волны является основой изучения механизма очага [6], [7]. Ляв [8], Накано [9], Маруяма [10] разрабатывали теорию излучения упругих волн точечными источниками. Строились теоретические модели с разными системами сил в точечном источнике. Рейд [11], Бениофф, Пресс, Смит [12] отметили, что в очаге происходит распространение разрушения. При этом сейсмические волны

генерировались движущимся очагом конечных размеров, и предельная скорость распространения разрушения зависела от скорости сдвиговых волн. В спектрах объёмных волн выделена угловая частота [13], [14] и установлен масштабный закон спектральной плотности сейсмических смещений в дальней зоне от землетрясений с различными магнитудами. Брюн [15] изучил временную зависимость смещения в очаге и получил формулу:

$$u(t) = (\sigma/\mu) \beta \tau (1 - e^{-t/\tau}), \quad (1)$$

где σ – эффективное напряжение, μ – жёсткость (модуль сдвига), β – скорость сдвиговых волн, τ – константа времени. Константа времени представляет собой:

$$\tau \sim a/\beta, \quad (2)$$

где a – эквивалентный радиус поверхности разлома. Величина $(\sigma/\mu) \beta = u_0$ представляет собой начальную скорость частицы. Следует отметить, что отношение (σ/μ) связано отношением сейсмической энергии (E) и сейсмического момента (M_0) по формуле:

$$E/M_0 = 1/2(\sigma/\mu). \quad (3)$$

В дальнейшем на основе разработки Брюна определялись динамические параметры очага землетрясения.

В очаговых спектрах отмечены два типа [16]: простые с одной угловой частотой и вторые, где выделяются две угловые частоты. При этом спектр второго типа выражает главную часть очага и субочага.

Результаты работ многих исследователей обобщены в создании физической основы моделей прогноза землетрясений: модели лавинно-неустойчивого трещинообразования (ЛНТ) [17] и дилатантно – диффузионной (ДД) модели [18], [19]. В ДД-модели изменение давления внутрипоровой жидкости в дилатирующей области является обязательным условием возникновения землетрясения. В ЛНТ модели при подготовке землетрясения происходит постепенный переход от объёмного дисперсного разрушения к локализованному независимо от наличия или отсутствия внутрипоровой жидкости. Эти модели показывают, что существуют неопределённости в физических состояниях среды и их динамики. Касахара [7] отметил, что при построении будущих более совершенных моделей должны быть учтены основные физические свойства среды очага. Соответственно, изучение физических состояний среды и динамики этих состояний является актуальной проблемой сейсмологии.

Методика исследований и фактический материал

По данным цифровых сейсмических станций сетей KRNET и KNET в Центре обработки данных ИС НАН КР определяются основные параметры сейсмических волн: продольной волны – по записям Z-вертикальной компоненты, поперечной волны – по записям одной из компонент. Кроме того, оцениваются значения t_{ms} – среднеквадратическое отклонение времени пробега наблюдаемых и вычисленных (погрешность), se – стандартное отклонение от времени вступления, d – класс точности определения эпицентра, she – 68% – ный доверительный интервал в определении положения эпицентра и т.д. Составляются карточки (бюллетень) каждого землетрясения. Но следует отметить, что в оценке глубины ещё существует неопределённость.

При проведении исследований нами были выбраны такие землетрясения, для которого в окружении находилось не менее 3-х цифровых станций, среднеквадратическое отклонение времени пробега « t_{ms} » равнялось 0.1, стандартное отклонение от времени вступления « se » равнялось 0.1, класс точности определения эпицентра « d » равнялся 1, массивы горных пород были близки по составу. По этим карточкам составлялись индивидуальные годографы, на которых определено расстояние до начала его перегиба. Выяснено, что перегиб на годографе появляется на

эпицентрального расстоянии около 100-110 км. Близкая станция должна быть расположена на расстоянии менее 55-60 км.

Основной методики исследований являются нижеследующие положения [1,20-35]:

- землетрясение приурочено к активному разлому, где происходит динамическая сегментация;
- очаг землетрясения формируется в области между аномальными территориями с большой концентрацией (плотностью) сейсмогенных разрывов;
- очаги землетрясений разной величины в определённом геодинамическом районе взаимосвязаны и, в их последовательности проявления, отмечается иерархия сейсмических циклов (относительно короткопериодным циклам характерны землетрясения малой величины, а циклам относительно длинным – крупные события);
- на спектрах сейсмических волн очага землетрясения выделяются наряду с угловой частотой множество характерных частот с относительно высокими спектральными плотностями (характерные частоты выражают системы разрывов в очаге со свойственными величинами сейсмического момента);
- скорости сейсмических волн очага V_p , V_s , V_p/V_s выражают проявления, в частности, флюидов, частичного плавления, высокого давления (малые значения V_p , V_s , V_p/V_s выражают проявление флюидов, малые значения V_p , V_s , но большое значение V_p/V_s – частичное плавления, большие значения V_p , V_s – высокое давление в дискретной среде очага);
- сейсмический параметр Адамс-Вильямсона позволяет определить вероятную величину приращения давления при заданном приращении плотности среды в очаге;
- слежение очагов землетрясений со свойственными особенностями сейсмических волн во времени и пространстве даст возможность изучить взаимосвязь физических состояний среды в очагах в новом измерении.

Результаты исследований и обсуждение

Рассмотрим последовательность очагов землетрясений, произошедших с 01 по 28 января 2013 г. и с 28 января по 28 февраля 2013 г., т.е. до и после землетрясения Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г. $K=15.1$), произошедшего на Северном Тянь-Шане в квадрате $\varphi=41.5^\circ-43.5^\circ$ с.ш., $\lambda=72^\circ-80^\circ$ в.д. Количество рассмотренных очагов землетрясений составляло 42 - до события и 40 - после. Составлены индивидуальные годографы с достоверностью аппроксимации $R^2 > 0.98$, определены скорости V_p , V_s , V_p/V_s сейсмических волн очагов землетрясений и они прослеживались по мере их проявления.

I. На рисунке 2 приведён график изменения скорости V_p во времени для 42 сейсмособытий за период с 1 по 28 января 2013 г. Значения V_p изменялись от 5.73 км/сек до 7.3 км/сек. При этом среднее значение составляло около $C=6.35$ км/сек, а стандартное отклонение - $S=0.41$ км/сек (табл.1). На графике вариации V_p отмечается иерархия асимметричных циклов. Сначала определяются циклы, в частности, третьего порядка при значении $V_p \geq 5.9$ км/сек на основе поэтапной оценки полиномиальных трендов с высокой достоверностью аппроксимации ($R^2 \geq 0.95$). По пикам циклов третьего порядка $V_p \geq 6.5$ км/сек выделяются циклы второго порядка на основе полиномиального тренда. Далее по пикам циклов второго порядка $V_p \geq 6.93$ км/сек аналогично предыдущему подходу отмечается цикл первого порядка.

Таблица 1. Средние значения (C) скоростей сейсмических волн (V_p , V_s , V_p/V_s), коэффициента Пуассона σ , сейсмического параметра $\Phi(\text{км}^2/\text{с}^2)$ очагов землетрясений и стандартное отклонение (S) их вариаций за 01-28 январь 2013 г.

Значение	V_p	V_s	V_p/V_s	Коэффициент Пуассона	Сейсмический параметр
C	6.35	3.68	1.72	0.245	22.355
S	0.41	0.22	0.06	0.025	3.728
$C+S$	6.76	3.90	1.78	0.27	26.113
$C-S$	5.94	3.46	1.66	0.22	18.657

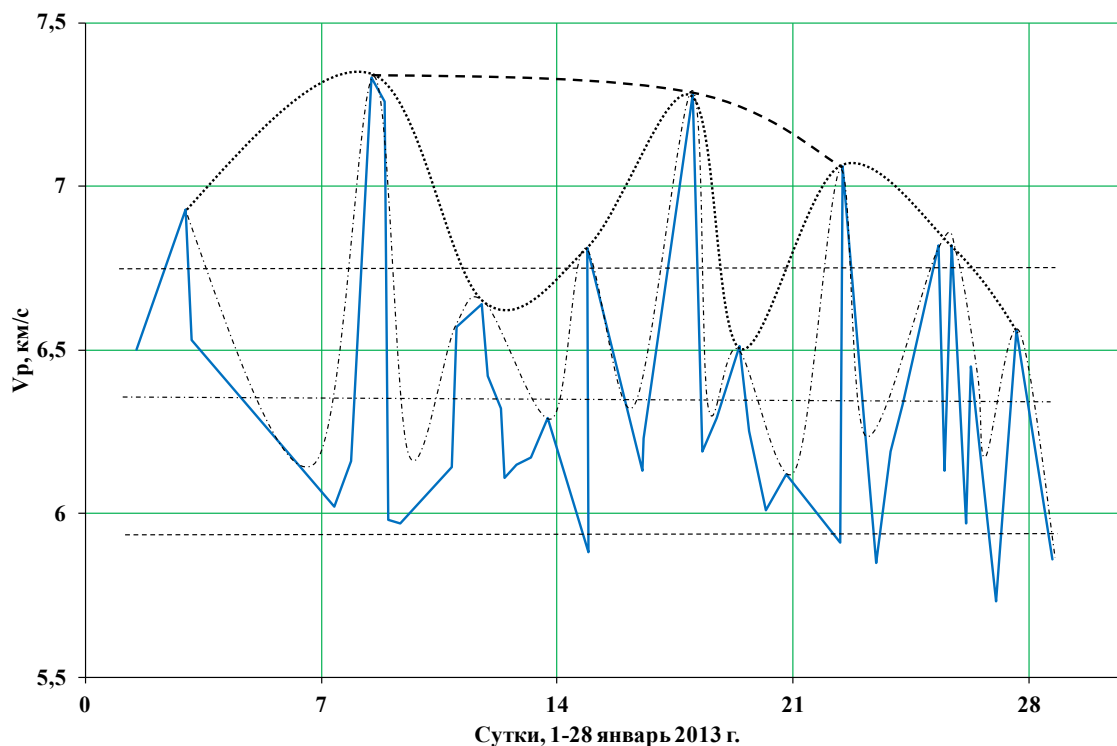


Рисунок 2. График вариация скорости продольных сейсмических волн V_p очагов Северного Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=41.5^\circ-43.5^\circ$ с.ш., $\lambda=72^\circ-80^\circ$ в.д. за 01-28 январь 2013 г. перед землетрясением Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$). Горизонтальной линией обозначено среднее значение - C . Горизонтальными точечными линиями обозначены значения ($C+S$) и ($C-S$) с учётом стандартного отклонения (S). Штрих-пунктирной линией обозначен цикл вариации третьего порядка; точечной линией – цикл вариации второго порядка; пунктирной линией – цикл вариации первого порядка.

Длительность периода циклов третьего порядка составляет 1.4 - 5.4 сутки, циклов второго порядка – 9.5 - 10.4 сутки. Максимальные пики скорости цикла второго порядка проявились: 8, 18 и 22 января 2013 г., а в 01 час 27 января 2013 г. зафиксирована аномально низкая пика скорости – $V_p = 5.73$ км/с, а через 39 часов (28 января 2013г. в 16 часов) произошло сильное землетрясение Сарыджаз-Каркыра ($K=15.1$), продольная скорость волны очага которого составила $V_p = 5.86$ км/с.

Результаты слежения скорости поперечной волны V_s очагов Северного Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=41.5^\circ-43.5^\circ$ с.ш., $\lambda=72^\circ-80^\circ$ в.д. за период 01-28 январь 2013 г. перед землетрясением Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$) приведено на рисунке 3.

Значения V_s изменялось от 3.20 км/сек до 4.35 км/сек. При этом среднее значение - около $C=3.68$ км/сек и стандартное отклонение - $S=0.226$ км/с (см. табл.1). На графике вариации V_s отмечается иерархия асимметричных циклов. Сначала определяются циклы, в частности третьего порядка, при значении $V_s \geq 3.5$ км/с на основе поэтапной оценки полиномиальных трендов с высокой достоверностью аппроксимации ($R^2 \geq 0.95$). По пикам циклов третьего порядка $V_s \geq 3.52$ км/с выделяются циклы второго порядка на основе полиномиального тренда. Далее по пикам циклов второго порядка $V_s \geq 4.08$ км/с аналогично отмечается цикл первого порядка.

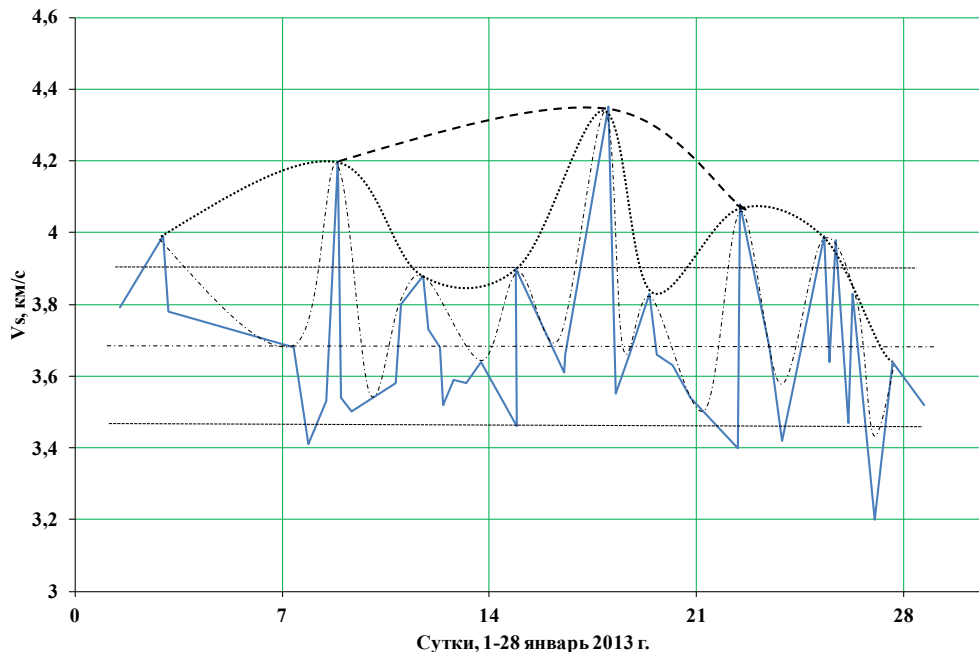


Рисунок 3. График вариация скорости поперечных сейсмических волн V_s очагов Северного Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=41.5^\circ-43.5^\circ$ с.ш., $\lambda=72^\circ-80^\circ$ в.д. за 01-28 января 2013 г. перед землетрясением Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$). Горизонтальной линией обозначено среднее значение - C . Горизонтальными точечными линиями обозначены значения $(C+S)$ и $(C-S)$ с учётом стандартного отклонения (S). Штрих-пунктирной линией обозначен цикл вариации третьего порядка; точечной линией – цикл вариации второго порядка; пунктирной линией – цикл вариации первого порядка.

Длительность периода циклов третьего порядка составляет около 1.6 - 5.9 сутки, циклов второго порядка – 4.5 - 9.2 сутки. Максимальные пики цикла второго порядка проявились 8, 18 и 22 января 2013 г. В 01 час 27 января 2013 г. отмечалась аномальная низкая скорость $V_s = 3.2$ км/с, а при землетрясении Сарыджаз-Каркыра ($K=15.1$) скорость поперечной волны его очага составляла $V_s = 3.52$ км/с.

На рисунке 4 приведено изменение величины V_p/V_s во времени. Значения V_p/V_s изменялись от 1.63 до 2.07. При этом среднее значение составило около $C=1.72$, стандартное отклонение – $S = 0.065$ (см. табл.1). На графике вариации V_p/V_s сначала определяются циклы третьего порядка при значении $V_p/V_s \geq 1.68$ на основе поэтапной оценки полиномиальных трендов с высокой достоверностью аппроксимации ($R^2 \geq 0.95$). По пикам циклов третьего порядка $V_p \geq 1.74$ выделяются циклы второго порядка на основе полиномиального тренда. Аномальная максимальная величина $V_p/V_s = 2.07$

отмечалась 08.01.2013 г. Длительность периода циклов третьего порядка составляет около 1.8-5.4 сутки, циклов второго порядка - около 20.2 сутки.

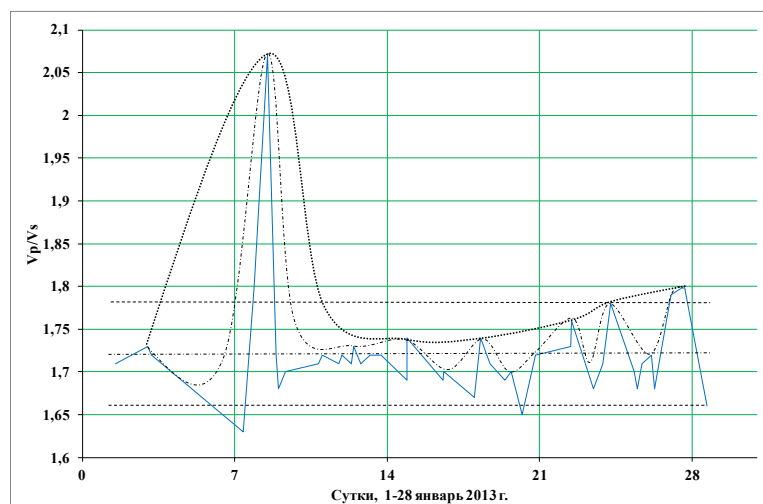


Рисунок 4. График вариации величины V_p/V_s очагов Северного Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=41.5^\circ-43.5^\circ$ с.ш., $\lambda=72^\circ-80^\circ$ в.д. за 01-28 январь 2013 г. перед землетрясения Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$). Горизонтальной линией обозначено среднее значение - \bar{C} . Горизонтальными точечными линиями обозначены значения $(\bar{C}+S)$ и $(\bar{C}-S)$ с учётом стандартного отклонения (S). Штрих-пунктирной линией обозначен цикл вариации третьего порядка; точечной линией – цикл вариации второго порядка.

По данным работ [1, 28] малые значения V_p , V_s , V_p/V_s выражают проявление флюидов, малые значения V_p , V_s , но большое значение V_p/V_s – частичное плавление, большие значения V_p , V_s – высокое давление в среде. Результаты оценки состояния среды очагов землетрясений (проявление флюидов, частичное плавление, высокое давление в дискретной среде очагов) на территории Северного Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=41.83^\circ-43.83^\circ$ с.ш., $\lambda=72^\circ-81^\circ$ в.д. за период с 1 по 27 января 2013 г., т.е. перед сильным землетрясением Сарыджаз-Каркыра, приведены на рисунке 5 и в таблице 2.

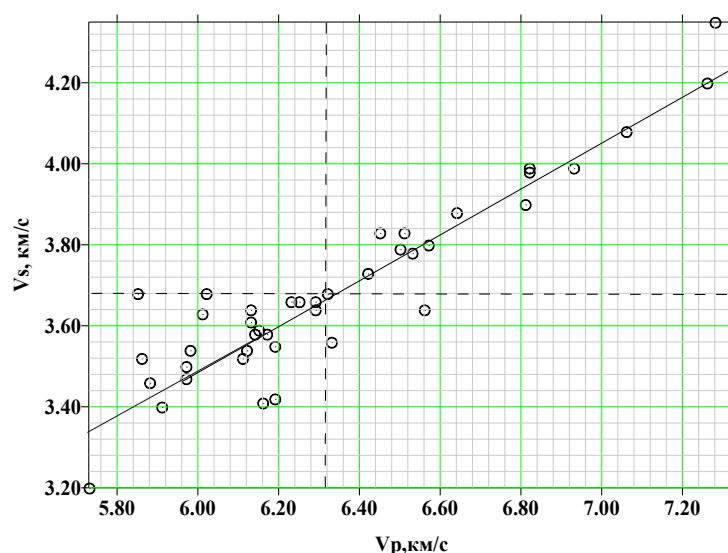


Рисунок 5. Соотношение между V_p , V_s , V_p/V_s очагов землетрясений Северного Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=41.5^\circ-43.5^\circ$ с.ш., $\lambda=72^\circ-80^\circ$ в.д. до землетрясения

Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$) за 01-28 январь 2013 г. Кружочками обозначены наблюденные значения V_p/V_s . Значение $V_p/V_s = 1.72$ выделено диагональной сплошной линией. Выше этой линии выделяются параллельные линии, где кружочки имеют малые значения $V_p/V_s < 1.72$, а ниже данной линии отмечаются параллельные линии, где кружочки имеют большие значения $V_p/V_s > 1.72$. Среднее значение $V_p = 6.35$ км/с обозначено вертикальной штрихованной линией. Среднее значение $V_s = 3.68$ км/с обозначено горизонтальной штрихованной линией.

Таблица 2. Состояние среды, в частности проявление флюидов, частичного плавления, высокого давления в очагах землетрясений Северного Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=41.5^\circ-43.5^\circ$ с.ш., $\lambda=72^\circ-80^\circ$ в.д. за 01-28 январь 2013 г. перед землетрясением Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$).

Год	Месяц	Число	Час	Минута	Секунда	V_p , км/с	V_s , км/с	V_p/V_s	Состояние среды
2013	1	1	12	42	31	6.5	3.79	1.71	
2013	1	2	23	45	45	6.93	3.99	1.73	Высокое давление
2013	1	3	4	5	25	6.53	3.78	1.72	
2013	1	7	9	4	25	6.02	3.68	1.63	Флюиды
2013	1	7	21	34	35	6.16	3.41	1.8	Частичное плавление
2013	1	8	11	58	41	7.33	3.53	2.07	
2013	1	8	21	14	39	7.26	4.2	1.72	
2013	1	9	0	4	59	5.98	3.54	1.68	Флюиды
2013	1	9	8	24	57	5.97	3.5	1.7	Флюиды
2013	1	10	20	39	16	6.14	3.58	1.71	Флюиды
2013	1	11	0	30	42	6.57	3.8	1.72	
2013	1	11	18	34	32	6.64	3.88	1.71	
2013	1	11	22	24	17	6.42	3.73	1.72	
2013	1	12	8	16	24	6.32	3.68	1.71	
2013	1	12	10	53	32	6.11	3.52	1.73	Частичное плавление
2013	1	12	19	1	26	6.15	3.59	1.71	
2013	1	13	5	25	46	6.17	3.58	1.72	
2013	1	13	17	14	45	6.29	3.64	1.72	
2013	1	14	22	4	5	5.88	3.46	1.69	Флюиды
2013	1	14	21	50	29	6.81	3.9	1.74	
2013	1	16	13	11	3	6.13	3.61	1.69	Флюиды
2013	1	16	14	4	16	6.23	3.66	1.7	
2013	1	18	0	22	59	7.28	4.35	1.67	
2013	1	18	7	11	9	6.19	3.55	1.74	Частичное плавление
2013	1	18	17	44	43	6.29	3.66	1.71	
2013	1	19	9	54	32	6.51	3.83	1.69	
2013	1	19	16	29	53	6.25	3.66	1.7	

2013	1	20	4	31	39	6.01	3.63	1.65	Флюиды
2013	1	20	19	41	11	6.12	3.54	1.72	
2013	1	22	10	5	45	5.91	3.4	1.73	Частичное плавление
2013	1	22	11	21	16	7.06	4.08	1.76	
2013	1	23	22	1	59	6.19	3.68	1.68	
2013	1	23	11	5	44	5.85	3.42	1.71	Флюиды
2013	1	24	6	13	58	6.33	3.56	1.78	Частичное плавление
2013	1	25	8	17	16	6.82	3.99	1.7	
2013	1	25	11	57	22	6.13	3.64	1.68	Флюиды
2013	1	25	17	15	32	6.82	3.98	1.71	
2013	1	26	3	16	20	5.97	3.47	1.72	Флюиды
2013	1	26	7	7	31	6.45	3.83	1.68	
2013	1	27	1	9	0	5.73	3.2	1.79	Частичное плавление
2013	1	27	15	22	19	6.56	3.64	1.8	
2013	1	28	16	38	53	5.86	3.52	1.66	Флюиды

Из таблицы 2 следует, что проявление высоких давлений отмечалось 02.01.2013 г. Далее в последовательности очагов землетрясений рассматриваемого региона наблюдались чередования проявлений флюидов и частичного плавления. 27.01.2013 г. проявилось частичное плавления в среде очага землетрясения западной части Сарыджазского активного поднятия ($\varphi=42.14^\circ$ с.ш., $\lambda=79.18^\circ$ в.д.). В 16 час 28.01.2013 г. в среде очага землетрясения Сарыджаз-Каркыра на восточной части Восточно-Терской активной поднятия проявились флюиды.

Пространственное распределение проявления флюидов, частичного плавления и высоких давлений в квадрате $\varphi=41.5^\circ-43.5^\circ$ с.ш., $\lambda=72^\circ-80^\circ$ в.д. Северного Тянь-Шаня за 01-28 января 2013 г. приведён на рисунке 6.

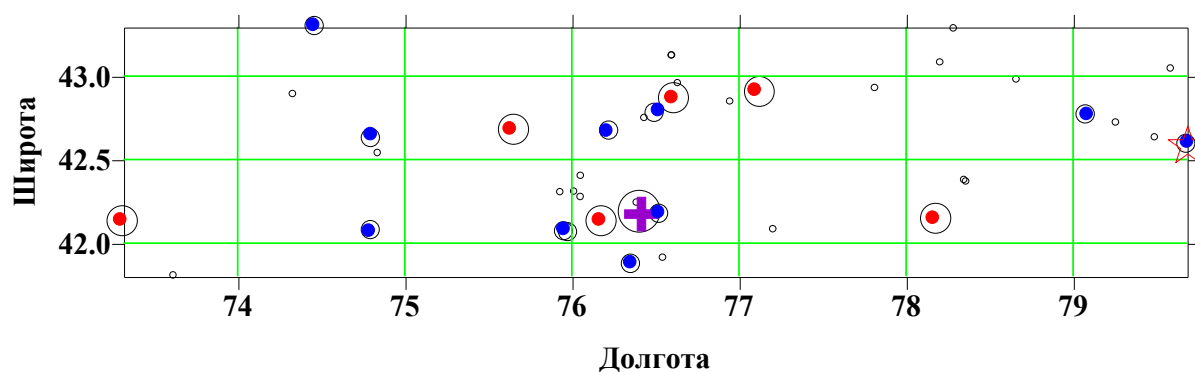


Рисунок 6. Пространственное распределение очагов с проявлениями флюидов, частичного плавления и высоких давлений в квадрате $\varphi=41.5^\circ-43.5^\circ$ с.ш., $\lambda=72^\circ-80^\circ$ в.д. Северного Тянь-Шаня за 01-28 января 2013 г. Очаг с проявлением флюидов обозначен кругом синего цвета. Очаг с проявлением частичного плавления отмечен кругом красного цвета. Очаг с проявлением высоких давлений обозначен окружностью с крестиком фиолетового цвета. Очаг землетрясения без заметных

изменений состояний среды отмечен кругом чёрного цвета с малым радиусом.

Имеющиеся данные скорости V_p , V_s сейсмических волн очагов землетрясений позволяют определить коэффициент Пуассона (физическая величина среды без размерности) на основании формулы:

$$\sigma = 1/2((V_p^2 - 2V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2)). \quad (4)$$

Следует отметить, что максимальная величина коэффициента Пуассона является характеристикой более эластичных материалов. Минимальное значение его относится к хрупким веществам. Изменение коэффициента Пуассона среды в очагах землетрясений приведено на рисунке 7.

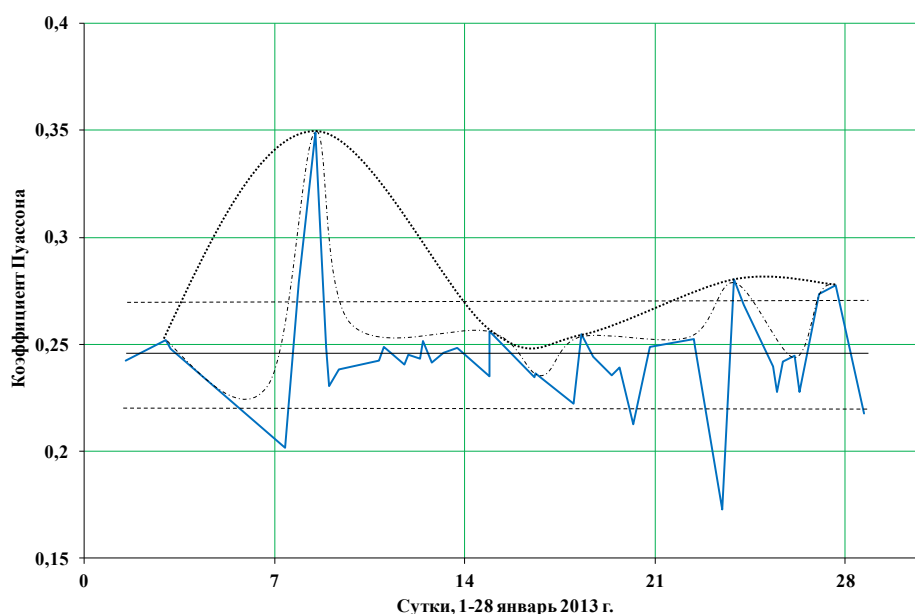


Рисунок 7. График вариация величины коэффициента Пуассона очагов Северного Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=41.5^{\circ}$ - 43.5° с.ш., $\lambda=72^{\circ}$ - 80° в.д. за 01-28 января 2013 г. перед землетрясением Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$). Горизонтальной линией обозначено среднее значение - C . Горизонтальными точечными линиями обозначены значения $(C+S)$ и $(C-S)$ с учётом стандартного отклонения (S). Штрих-пунктирной линией обозначен цикл вариации третьего порядка; точечной линией — цикл вариации второго порядка.

Значения коэффициента Пуассона σ изменялись от 0.17 до 0.35. При этом среднее значение составляло около $C=0.24$, стандартное отклонение - $S=0.026$ (см. таблица 1). На графике вариации σ сначала определяются циклы, в частности третьего порядка при значении $\sigma \geq 0.225$ на основе поэтапной оценки полиномиальных трендов с высокой достоверностью аппроксимации ($R^2 \geq 0.95$). По пикам циклов третьего порядка $\sigma \geq 0.25$ выделяются циклы второго порядка на основе полиномиального тренда. Длительность периода циклов третьего порядка составляет около 3.4 - 6.5 суток, циклов второго порядка - около 15.5 суток. Аномальная максимальная величина $\sigma = 0.35$ отмечалась 08.01.2013 г., среда очага с проявлением высоких давлений (см. таблица 2) вела как «эластичная система». Аномально минимальное значение $\sigma = 0.17$

проявилось 23.01.2013 г. и среда очага с проявлением флюидов (см. табл.2) вела как «хрупкая система». Повышенные значения около $\sigma = 0.28$ 23.01.2013 г. и 27.01.2013 г. показывают, что среда очагов также вели себя как «эластичная система». Можно сказать, что среда очагов со значениями σ около $C+S=0.27$ вероятно была «квазиэластичной», а среда очагов со значениями σ около $C-S=0.22$ была «квазихрупкой».

Важно отметить, что на основании формулы Адамса-Вильямсона:

$$\Phi = V_p^2 - 4/3 V_s^2 = \Delta P / \Delta \rho, \quad (5)$$

где Φ - сейсмический параметр, V_p , V_s - скорости сейсмических волн очага землетрясения, ΔP - приращение давления (кбар), $\Delta \rho$ - приращение плотности среды (г/см^3), можно определить вероятные величины приращения давления в очаге при определённом приращении плотности его среды. На рисунке 8 приведено изменение сейсмического параметра Φ в последовательности проявления очагов землетрясений Северного-Тянь-Шаня за 01-28 января 2013 г. в квадрате $\varphi=41.5^\circ-43.5^\circ \text{с.ш.}$, $\lambda=72^\circ-80^\circ \text{в.д.}$

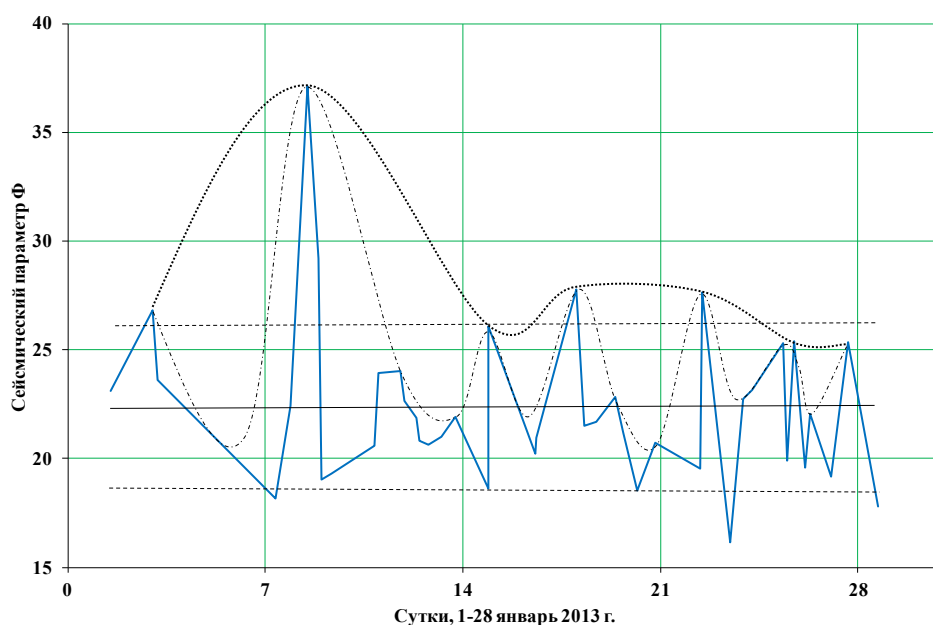


Рисунок 8. График вариация величины сейсмического параметра Φ ($\text{км}^2/\text{с}^2$) очагов Северного Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=41.5^\circ-43.5^\circ \text{с.ш.}$, $\lambda=72^\circ-80^\circ \text{в.д.}$ за 01-28 января 2013 г. перед землетрясением Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$). Горизонтальной линией обозначено среднее значение - C . Горизонтальными точечными линиями обозначены значения $(C+S)$ и $(C-S)$ с учётом стандартного отклонения (S). Штрих-пунктирной линией обозначен цикл вариации третьего порядка; точечной линией — цикл вариации второго порядка.

Значения сейсмического параметра Φ изменялись от $16.1 \text{ км}^2/\text{с}^2$ до $37.1 \text{ км}^2/\text{с}^2$. При этом среднее значение составляло около $C=22.35 \text{ км}^2/\text{с}^2$, а стандартное отклонение - $S=3.73 \text{ км}^2/\text{с}^2$ (см. табл.1). На графике вариации Φ сначала определяются циклы, в частности третьего порядка при значении $\Phi \geq 20.7$ на основе поэтапной оценки полиномиальных трендов с высокой достоверностью аппроксимации ($R^2 \geq 0.95$). По пикам циклов третьего порядка $\Phi \geq 25.3$ выделяются циклы второго порядка на основе

полиномиального тренда. Длительность периода циклов третьего порядка составляет около 1.9 - 6.5 суток, а циклов второго порядка - около 9.9 суток.

Аномальная максимальная величина $\Phi = 37.1 \text{ км}^2/\text{с}^2$ отмечалась 08.01.2013 г. (8.49 суток), а минимальное значение $\Phi = 16.1 \text{ км}^2/\text{с}^2$ – 23.01.2013 г. По формуле (5) для приращения $\Delta\rho = 0.1 \text{ г/см}^3$ приращение давления ΔP составляли: $\Delta P = \Phi \cdot \Delta\rho = 37.1 \cdot 0.1 = 3.7$ кбар и $16.1 \cdot 0.1 = 1.6$ кбар, соответственно. В очаге землетрясения Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$) величина сейсмического параметра составляла $\Phi = 17.82 \text{ км}^2/\text{с}^2$. Здесь для приращения плотности 0.1 г/см^3 приращение давления составляло около 17.8 кбар. Следует отметить, как отмечено выше, среда очага землетрясения от 08.01.2013 г. (11 час 58 мин 41 сек) находилась в состоянии высокого давления, вела как «эластичный материал» и для приращения плотности на 0.1 г/см^3 потребовалось относительно высокое значение приращения давления около 37 кбар. Среда очага 23.01.2013 г. (11 час 5 мин 44 сек) находилась в состоянии частичного плавления, она вела себя, как «хрупкий материал», и для приращения плотности 0.1 г/см^3 потребовалось относительно низкое значение приращения давления около 16 кбар. Среда очага землетрясения Сарыджаз-Каркыра 28.01.2013 г. (16 час 38 мин 44 сек) находилась в состоянии проявления флюидов, вела как «хрупкий материал» и для приращения плотности 0.1 г/см^3 потребовалось среднее значение приращения давления около 17-18 кбар.

II. Теперь рассмотрим сейсмические волны очагов землетрясения после землетрясения Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$) за 28 января - 28 февраля 2013 г. Количество рассмотренных очагов землетрясений - 40. При изучении очагов землетрясения были составлены индивидуальные годографы с достоверностью аппроксимации $R^2 > 0.98$, определены скорости V_p , V_s , V_p/V_s сейсмических волн землетрясений.

На рисунке 9 приведено изменение скорости V_p во времени. Значения V_p изменялись от 5.15 км/с до 6.06 км/с. При этом среднее значение составляло $C=6.31$ км/с, а стандартное отклонение - $S=0.37$ км/сек (таблица 3). Аномальное минимальное значение 5.15 км/с отмечалось 05.02.2013 г. На графике вариации V_p отмечается иерархия асимметричных циклов. Сначала определяются циклы, в частности третьего порядка, при значении $V_p \geq 6.17$ км/сек на основе поэтапной оценки полиномиальных трендов с высокой достоверностью аппроксимации ($R^2 \geq 0.95$). По пикам циклов третьего порядка $V_p \geq 6.45$ км/с выделяются циклы второго порядка на основе полиномиального тренда. Далее по пикам циклов второго порядка - $V_p \geq 6.87$ км/с аналогично предыдущему подходу отмечается цикл первого порядка.

Таблица 3. Среднее значение (C) скоростей сейсмических волн (V_p , V_s , V_p/V_s), коэффициента Пуассона σ , сейсмического параметра Φ ($\text{км}^2/\text{с}^2$) очагов землетрясений и стандартное отклонение (S) их вариаций после землетрясения Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$) Северного Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=41.5^\circ-43.5^\circ$ с.ш., $\lambda=72^\circ-80^\circ$ в.д. за 28 января - 28 февраля 2013 г.

Значение	V_p	V_s	V_p/V_s	Коэффициент Пуассона	Сейсмический параметр
C	6.31	3.68	1.71	0.24	21.78
S	0.37	0.24	0.04	0.02	2.65
$C+S$	6.67	3.92	1.75	0.26	24.43
$C-S$	5.94	3.44	1.66	0.22	19.13

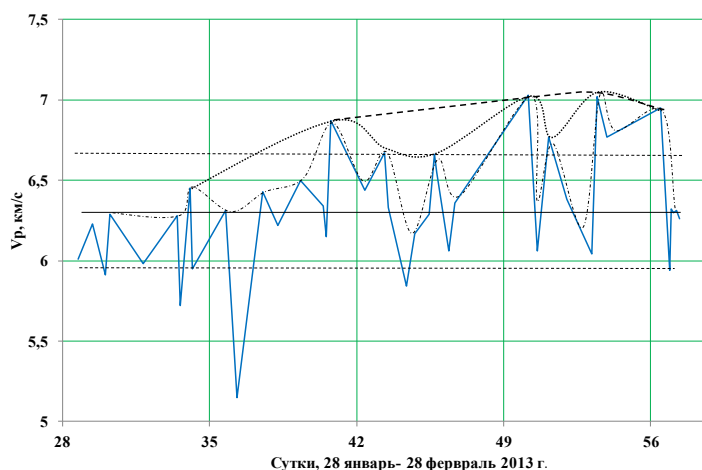


Рисунок 9. Вариация скорости продольных сейсмических волн V_p очагов Северного Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=41.5^{\circ}-43.5^{\circ}$ с.ш., $\lambda=72^{\circ}-80^{\circ}$ в.д. после землетрясения Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$) за 28 января - 28 февраля 2013 г. Горизонтальной линией обозначено среднее значение - C . Горизонтальными точечными линиями обозначены значения $(C+S)$ и $(C-S)$ с учётом стандартного отклонения (S). Штрих-пунктирной линией обозначен цикл вариации третьего порядка; точечной линией – цикл вариации второго порядка; пунктирной линией – цикл вариации первого порядка.

Результаты слежения скорости поперечной волны V_s очагов Северного Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=41.5^{\circ}-43.5^{\circ}$ с.ш., $\lambda=72^{\circ}-80^{\circ}$ в.д. за 28 января - 28 февраля 2013 г. после землетрясения Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$) приведено на рисунке 10. Значения V_s изменялись от 3.03 км/с до 4.12 км/сек. Аномальное минимальное значение $V_s = 3.03$ км/с отмечалось 05.02.2013 г. При этом среднее значение составило $C = 3.68$ км/с, а стандартное отклонение – $S = 0.24$ км/с (см. табл. 3). На графике вариации V_s отмечается иерархия асимметричных циклов. Сначала определяются циклы, в частности третьего порядка, при значении $V_s \geq 3.58$ км/с на основе поэтапной оценки полиномиальных трендов с высокой достоверностью аппроксимации ($R^2 \geq 0.95$). По пикам циклов третьего порядка $V_s \geq 3.84$ км/с выделяются циклы второго порядка на основе полиномиального тренда. Далее по пикам циклов второго порядка $V_s \geq 3.97$ км/с аналогично предыдущему подходу отмечается цикл первого порядка.

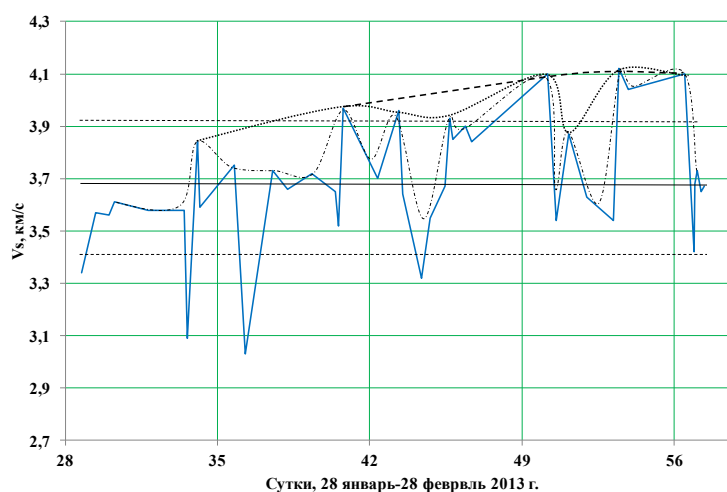


Рисунок 10. График вариация скорости продольных сейсмических волн V_s очагов землетрясений Северного Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=41.5^{\circ}-43.5^{\circ}$ с.ш., $\lambda=72^{\circ}-$

80° в.д. после землетрясения Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$) за период с 28 по 28 февраля 2013 г. Горизонтальной линией обозначено среднее значение - C . Горизонтальными точечными линиями обозначены значения $(C+S)$ и $(C-S)$ с учетом стандартного отклонения (S). Штрих-пунктирной линией обозначен цикл вариации третьего порядка; точечной линией – цикл вариации второго порядка; пунктирной линией – цикл вариации первого порядка.

На рисунке 11 приведено изменение величины V_p/V_s во времени. Значения V_p/V_s изменялись от 1.55 до 1.85. Аномальная максимальная величина отмечалась 02.02.2013 г., аномальная минимальная величина - 15.02.2013 г. При этом среднее значение составляло около $C=1.71$, а стандартное отклонение - $S=0.04$ (см. табл.3). На графике вариации V_p/V_s сначала определяются циклы, в частности третьего порядка, при значении $V_p/V_s \geq 1.65$ на основе поэтапной оценки полиномиальных трендов с высокой достоверностью аппроксимации ($R^2 \geq 0.95$). По пикам циклов третьего порядка $V_p \geq 1.75$ выделяются циклы второго порядка на основе полиномиального тренда. Аномальная максимальная величина $V_p/V_s = 1.85$ отмечалась 02.02.2013 г. Длительность периода циклов третьего порядка составляет около 4.9 - 11.1 сутки, циклов второго порядка - около 18.3 сутки.

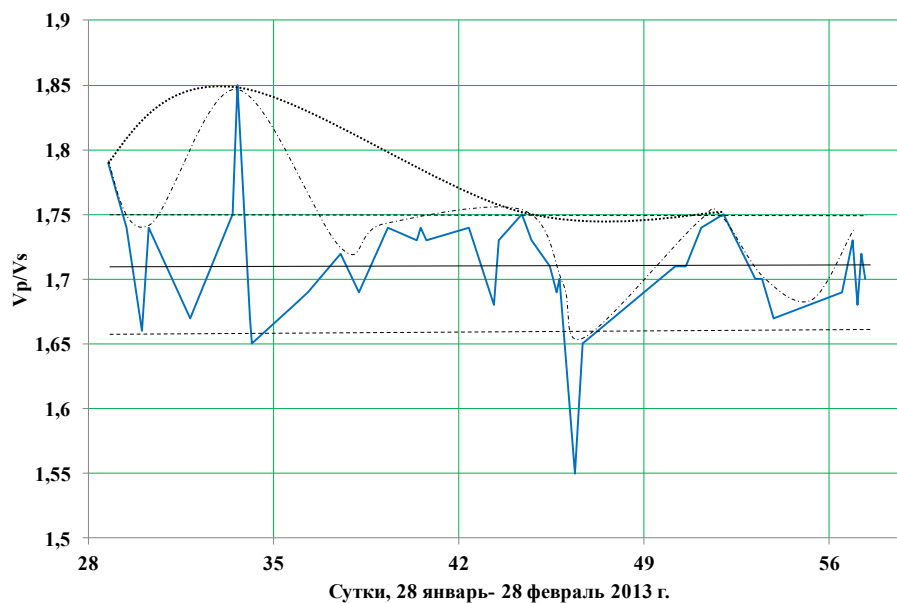
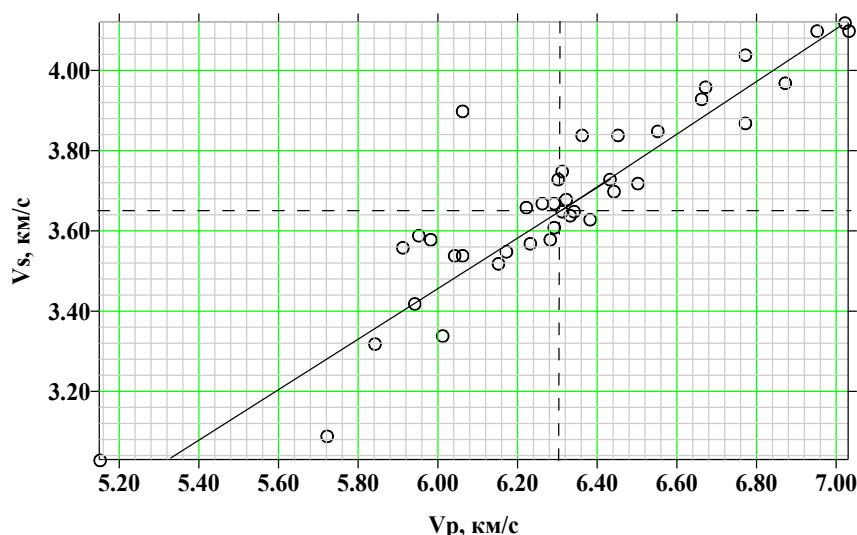


Рисунок 11. График вариация величины V_p/V_s очагов землетрясений Северного Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=41.5^{\circ}-43.5^{\circ}$ с.ш., $\lambda=72^{\circ}-80^{\circ}$ в.д. после землетрясения Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$) за период 28 января - 28 февраля 2013 г. Горизонтальной линией обозначено среднее значение - C . Горизонтальными точечными линиями обозначены значения $(C+S)$ и $(C-S)$ с учётом стандартного отклонения (S). Штрих-пунктирной линией обозначен цикл вариации третьего порядка; точечной линией – цикл вариации второго порядка; пунктирной линией – цикл вариации первого порядка.

На основании имеющихся данных V_p , V_s , V_p/V_s оценены состояния дискретной среды очагов землетрясений, в частности проявление флюидов, частичное плавления, высокое давление, Северного Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=41.83^{\circ}-43.83^{\circ}$ с.ш. $\lambda=72^{\circ}-81^{\circ}$ в.д.

за 28 января - 28 февраля 2013 г. после землетрясения Сарыджаз-Каркыра(28.01.2013 г., $K=15.1$). Результаты оценки приведены на рисунке 12 и в таблице 4.



Рисунке 12. Соотношение между V_p , V_s , V_p/V_s очагов землетрясений Северного Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=41.5^\circ-43.5^\circ$ с.ш., $\lambda=72^\circ-80^\circ$ в.д. после землетрясения Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$) за период 28 января - 28 февраля 2013 г.

Кружочками обозначены наблюденные значения V_p/V_s . Значение $V_p/V_s=1.72$ выделено диагональной сплошной линией. Выше этой линии выделяются параллельные линии, где кружочки имеют малые значения $V_p/V_s < 1.72$, а ниже данной линии отмечаются параллельные линии, где кружочки имеют большие значения $V_p/V_s > 1.72$. Среднее значение $V_p = 6.31$ км/с обозначено вертикальной штрихованной линией. Среднее значение $V_s = 3.68$ км/с обозначено горизонтальной штрихованной линией.

Таблица 4. Состояния среды, в частности проявление флюидов, частичного плавления, высоких давлений в очагах землетрясений Северного Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=41.5^\circ-43.5^\circ$ с.ш., $\lambda=72^\circ-80^\circ$ в.д. за период 28 января - 28 февраля 2013 г. после землетрясения Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$).

Год	Месяц	Число	Час	Минута	Секунда	V_p , км/с	V_s , км/с	V_p/V_s	Состояние среды
2013	1	28	18	5	57	6.01	3.34	1.79	Частичное плавление
2013	1	29	10	3	36	6.23	3.57	1.74	Частичное плавление
2013	1	30	0	41	11	5.91	3.56	1.66	Флюиды
2013	1	30	6	32	4	6.29	3.61	1.74	Частичное плавление
2013	1	31	20	0	15	5.98	3.58	1.67	Флюиды
2013	2	2	10	55	39	6.28	3.58	1.75	Частичное плавление
2013	2	2	14	43	6	5.72	3.09	1.85	Частичное плавление

2013	2	3	2	4	26	6.45	3.84	1.67	
2013	2	3	4	23	12	5.95	3.59	1.65	Флюиды
2013	2	4	18	37	16	6.31	3.75	1.68	
2013	2	5	7	0	6	5.15	3.03	1.69	Флюиды
2013	2	6	12	53	3	6.43	3.73	1.72	
2013	2	7	5	41	13	6.22	3.66	1.69	Флюиды
2013	2	8	7	47	51	6.5	3.72	1.74	Высокое давление
2013	2	9	9	50	22	6.34	3.65	1.73	
2013	2	9	13	20	35	6.15	3.52	1.74	Частичное плавление
2013	2	9	18	32	30	6.87	3.97	1.73	Высокое давление
2013	2	11	9	10	2	6.44	3.7	1.74	Высокое давление
2013	2	12	7	41	54	6.67	3.96	1.68	
2013	2	12	12	28	11	6.33	3.64	1.73	
2013	2	13	9	17	2	5.84	3.32	1.75	Частичное плавление
2013	2	13	18	15	14	6.17	3.55	1.73	Частичное плавление
2013	2	14	10	40	25	6.29	3.67	1.71	
2013	2	14	16	42	12	6.66	3.93	1.69	
2013	2	14	19	19	50	6.55	3.85	1.7	
2013	2	15	9	30	16	6.06	3.9	1.55	Флюиды
2013	2	15	16	36	21	6.36	3.84	1.65	
2013	2	19	4	5	43	7.03	4.1	1.71	Высокое давление
2013	2	19	13	59	1	6.06	3.54	1.71	
2013	2	20	3	28	35	6.77	3.87	1.74	Высокое давление
2013	2	20	23	53	10	6.38	3.63	1.75	
2013	2	22	4	39	52	6.04	3.54	1.7	Флюиды
2013	2	22	10	51	6	7.02	4.12	1.7	
2013	2	22	21	43	4	6.77	4.04	1.67	
2013	2	25	11	16	39	6.95	4.1	1.69	
2013	2	25	21	27	52	5.94	3.42	1.73	Частичное плавление
2013	2	25	23	7	13	6.32	3.68	1.71	

2013	2	26	1	34	51	6.3	3.73	1.68	
2013	2	26	5	33	32	6.31	3.65	1.72	
2013	2	26	8	52	5	6.26	3.67	1.7	

Из таблицы 4 следует, что после главного толчка землетрясения Сарыджаз-Каркыра в очагах Северного Тянь-Шаня за 28.01.2013 г.-02.02.2013 г. отмечалось частичное плавление, за 03.02.-07.02.2013 г.- проявление флюидов, за 08.02.-20.02.2013 г. - высокое давление, 22.02.2013 г. – проявление флюидов и 25.02.2013 г.- частичное плавление.

Пространственное распределение проявления флюидов, частичного плавления и высоких давлений в квадрате $\varphi=41.5^{\circ}-43.5^{\circ}$ с.ш., $\lambda=72^{\circ}-80^{\circ}$ в.д. Северного Тянь-Шаня за 28 января-28 февраля 2013 г. после главного толчка землетрясения Сарыджаз-Каркыра приведён на рисунке 13.

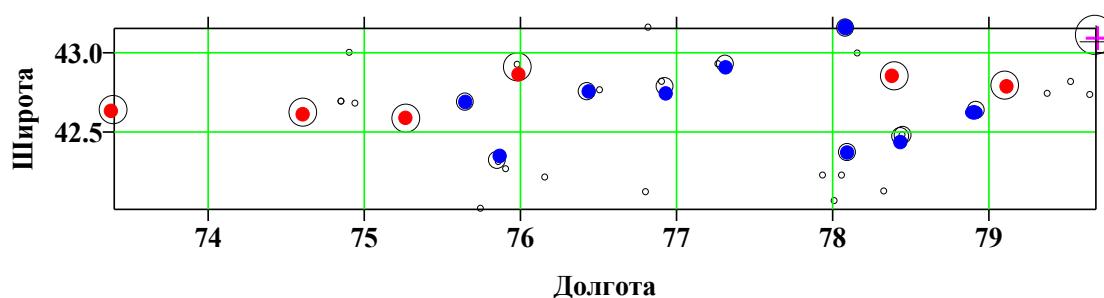


Рисунок 13. Пространственное распределение очагов с проявлениями флюидов, частичного плавление и высоких давлений в квадрате $\varphi=41.5^{\circ}-43.5^{\circ}$ с.ш., $\lambda=72^{\circ}-80^{\circ}$ в.д. Северного Тянь-Шаня за 28 января-28 февраля 2013 г. Очаг с проявлением флюидов обозначен кругом синего цвета. Очаг с проявлением частичного плавление отмечен кругом красного цвета. Очаг с проявлением высоких давлений обозначен окружностью с крестиком фиолетового цвета. Очаг землетрясения без заметных изменений состояний среды отмечен кругом чёрного цвета с малым радиусом

Результаты слежения коэффициента Пуассона среды в очагах землетрясений Северного Тянь-Шаня за период 28 января - 28 февраля 2013 г. приведены на рисунке 14.

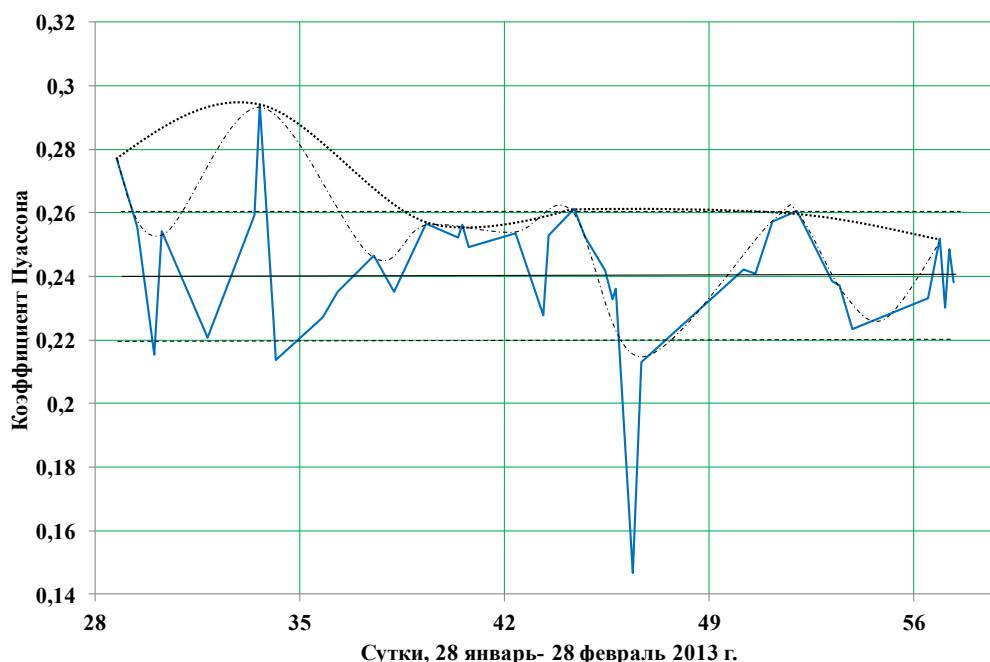


Рисунок 14. График вариация величины коэффициента Пуассона, σ - среды очагов землетрясений Северного Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=41.5^{\circ}-43.5^{\circ}$ с.ш., $\lambda=72^{\circ}-80^{\circ}$ в.д. после землетрясения Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$) за период с 28 января по 28 февраля 2013 г. Горизонтальной линией обозначено среднее значение - С. Горизонтальными точечными линиями обозначены значения (С+S) и (С-S) с учётом стандартного отклонения (S). Штрих-пунктирной линией обозначен цикл вариации третьего порядка; точечной линией – цикл вариации второго порядка; пунктирной линией – цикл вариации первого порядка.

Значения σ изменялись от 0.146 до 0.294. Аномально максимальная величина отмечалась 02.02.2013 г., аномально минимальная величина - 15.02.2013 г. При этом среднее значение составляло около $C = 0.24$, стандартное отклонение – $S = 0.02$ (см. табл.3). На графике вариации σ сначала определяются циклы, в частности третьего порядка, при значении $\sigma \geq 0.21$ на основе поэтапной оценки полиномиальных трендов с высокой достоверностью аппроксимации ($R^2 \geq 0.95$). По пикам циклов третьего порядка $\sigma \geq 0.25$ выделяются циклы второго порядка на основе полиномиального тренда. Длительность периода циклов третьего порядка составляет около 5.0 - 8.8 сутки, циклов второго порядка - около 10.7 сутки.

Аномальная максимальная величина $\sigma = 0.294$ очага 02.02.2013 г. позволяет сказать, что среда очага с проявлением частичного плавления (см. табл.4) вела себя, как «эластичный материал», а аномально минимальное значение $\sigma = 0.146$ очага 23.01.2013 г. позволяет предположить, что среда очага с проявлением флюидов (см. таблице 4) вела как «хрупкий материал».

На рисунке 15 приведено изменение сейсмического параметра Φ очагов землетрясений Северного Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=41.5^{\circ}-43.5^{\circ}$ с.ш., $\lambda=72^{\circ}-80^{\circ}$ в.д. после землетрясения Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$) за 28 января - 28 февраля 2013 г.

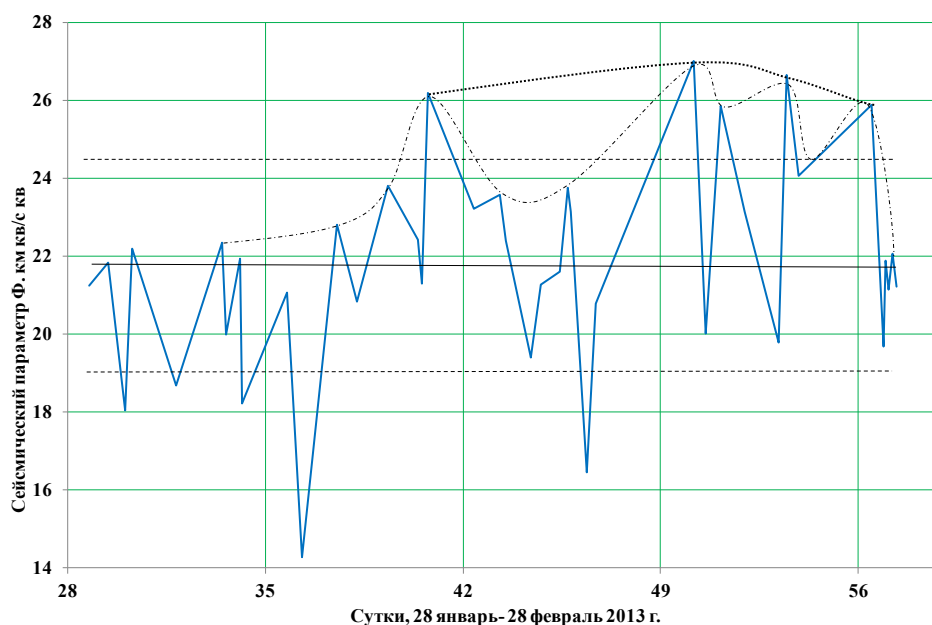


Рисунок 15. Вариация величины сейсмического параметра Φ ($\text{км}^2/\text{с}^2$) среды очагов землетрясений Северного Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=41.5^\circ-43.5^\circ$ с.ш., $\lambda=72^\circ-80^\circ$ в.д. после землетрясения Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$) за 28 января - 28 февраля 2013 г. Горизонтальной линией обозначено среднее значение - S . Горизонтальными точечными линиями обозначены значения $(C+S)$ и $(C-S)$ с учётом стандартного отклонения (S). Штрихпунктирной линией обозначен цикл вариации третьего порядка; точечной линией – цикл.

Значения Φ изменялись от $14.28 \text{ км}^2/\text{с}^2$ до $27.0 \text{ км}^2/\text{с}^2$. Аномально максимальная величина отмечалась 05.02.2013 г., аномально минимальная величина - 15.02.2013 г. При этом среднее значение составляло около $S=21.78 \text{ км}^2/\text{с}^2$, а стандартное отклонение - $S=2.65 \text{ км}^2/\text{с}^2$ (см. табл.3). На графике вариации Φ сначала определяются циклы, в частности третьего порядка, при значении $\Phi \geq 22.0 \text{ км}^2/\text{с}^2$ на основе поэтапной оценки полиномиальных трендов с высокой достоверностью аппроксимации ($R^2 \geq 0.95$). По пикам циклов третьего порядка $\Phi \geq 25.8 \text{ км}^2/\text{с}^2$ выделяются циклы второго порядка на основе полиномиального тренда. Длительность периода циклов третьего порядка составляет 7.0 и более суток. Особо выделяются относительно низкие значения $16.4 \text{ км}^2/\text{с}^2$ и сравнительно большие значения: $26.18 \text{ км}^2/\text{с}^2$, $25.86 \text{ км}^2/\text{с}^2$, $26.64 \text{ км}^2/\text{с}^2$, $25.88 \text{ км}^2/\text{с}^2$ 09.02.2013 г., 20.02.2013 г., 22.02.2013 г. и 25.02.2013 г., соответственно.

По формуле (5) для приращения $\Delta\rho = 0.1 \text{ г/см}^3$ приращения давления ΔP при низких значениях $\Phi = 14.28-16.4 \text{ км}^2/\text{с}^2$ очагов с проявлением флюидов (см. табл. 4) составляли $\Delta P = 14.28-16.4$ кбар, при высоких значениях $\Phi = 25.86-27.0 \text{ км}^2/\text{с}^2$ очагов с проявлением высоких давлений (см. табл. 4) могли иметь $\Delta P = 25.86-27.0$ кбар и при сравнительно больших значениях $\Phi = 25.88-26.18 \text{ км}^2/\text{с}^2$ очагов с проявлением частичного плавления приращение давления - $\Delta P = 25.88-26.18$ кбар.

Пространственное распределение скоростей V_p , V_s сейсмических волн очагов перед землетрясением Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$) приведено на рисунке 16 (а, б). Выделяются относительно высокоскоростные и низкоскоростные неоднородности. При этом системы субширотных активных разломов разделяются на сегменты. Землетрясение Сарыджаз-Каркыра проявилось в районе, где проявилась интенсивная динамическая сегментация.

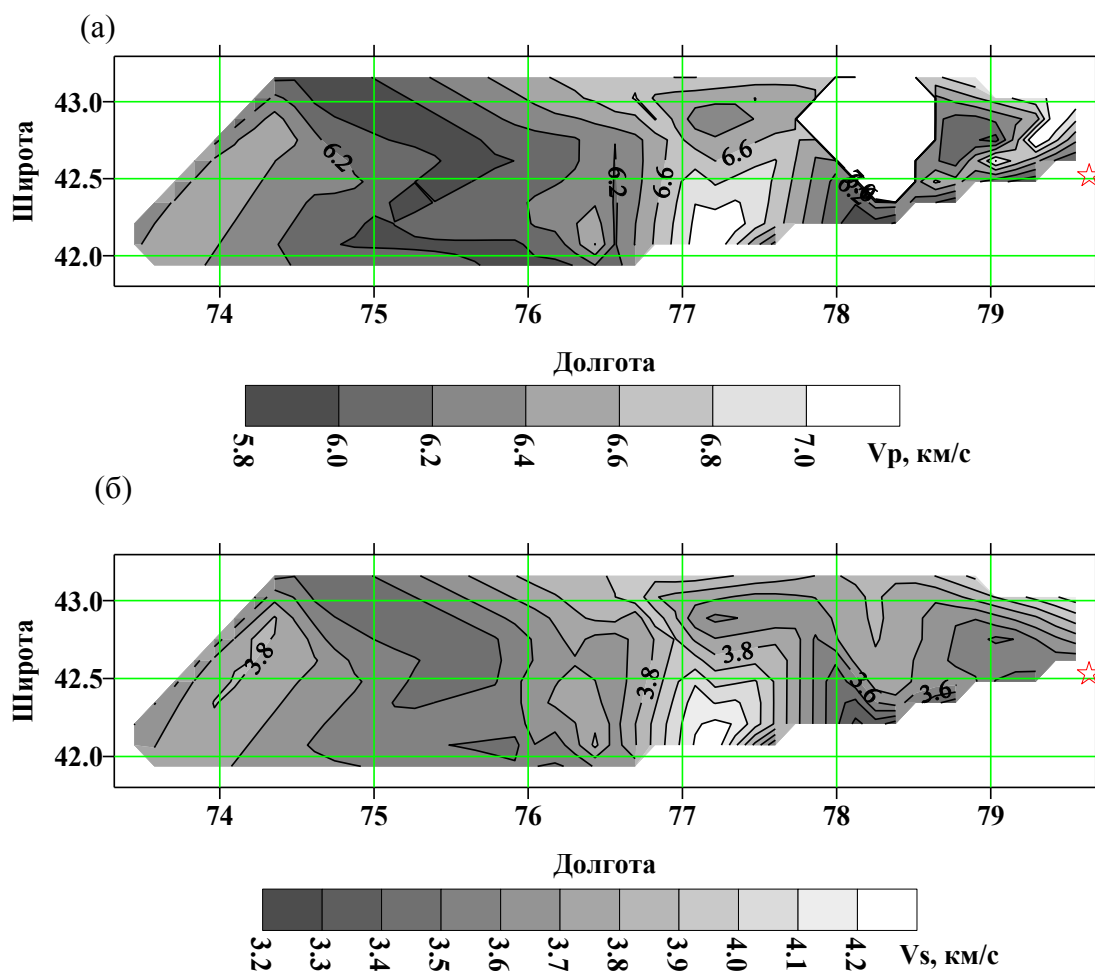


Рисунок 16 (а, б). Пространственное распределение скоростей V_p (а), V_s сейсмических волн очагов землетрясений активных разломов в пределах Кунгейского, Заилийского, Терскойкой, Кыргызского, Суусамыртооского и Таласского активных субширотных поднятий (в квадрате $\varphi=41.5^\circ-43.5^\circ$, $\lambda=72^\circ-80^\circ$). Звёздочкой обозначен эпицентр землетрясения Сарыджаз-Каркыра ($K=15.1$, 28.01.2013 г.).

Пространственное распределение коэффициента Пуассона σ , сейсмического параметра Φ ($\text{км}^2/\text{с}^2$) среды очагов землетрясений приведено на рисунке 16 (в, г). Выделяются участки очагов с относительно высокими («эластичными материалами», большими приращениями давления) и низкими («хрупкими материалами», малыми приращениями давления) значениями этих параметров. При этом системы субширотных активных разломов разделяются на сегменты. Землетрясение Сарыджаз-Каркыра проявилось в районе, где проявилась интенсивная динамическая сегментация.

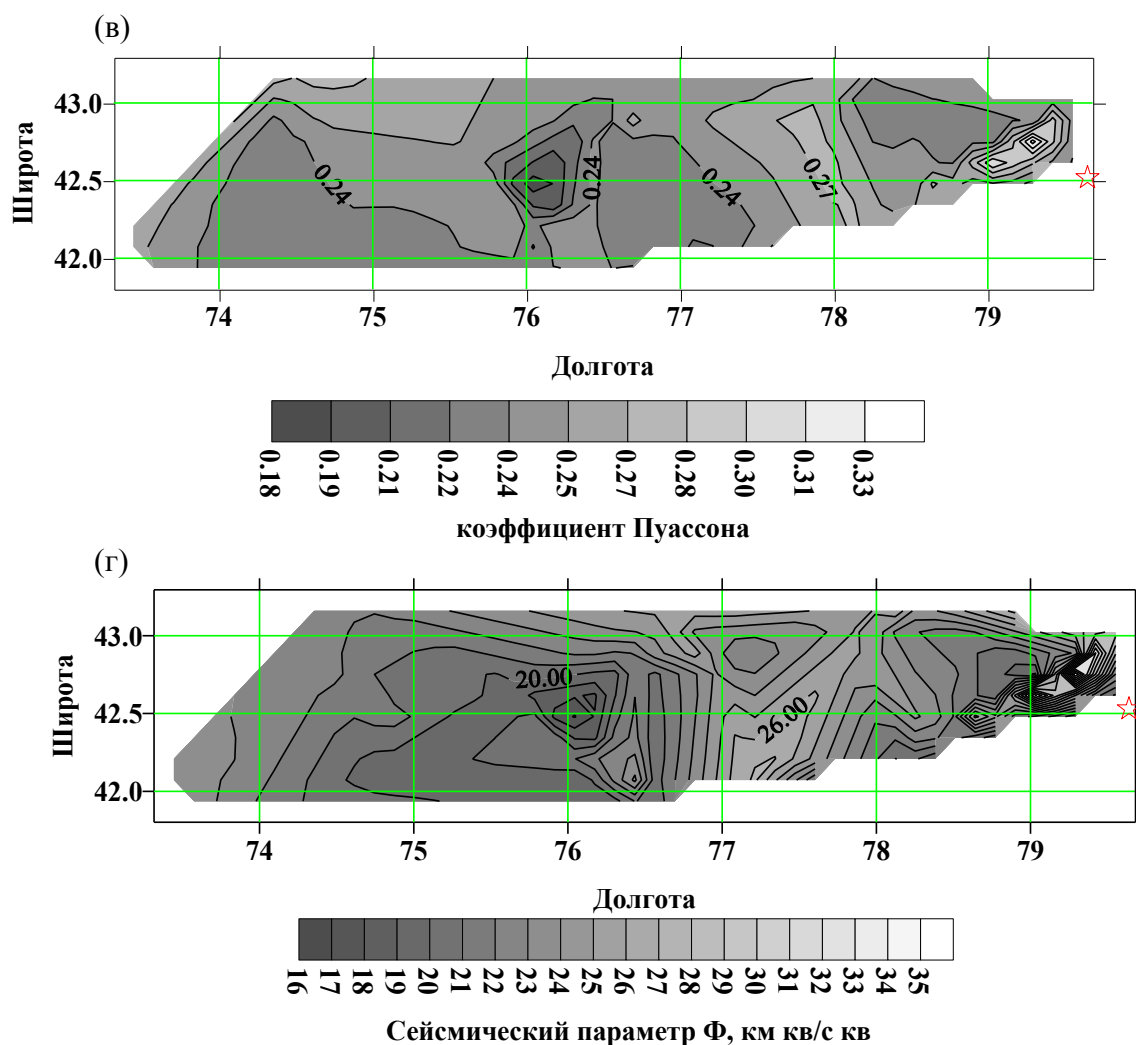


Рисунок 16 (в, г). Пространственное распределение коэффициента Пуассона σ ; (в) - сейсмического параметра Φ ($\text{км}^2/\text{с}^2$); (г) - среды очагов землетрясений активных разломов в пределах Кунгейского, Заилийского, Терской, Кыргызского, Суусамыртооского и Таласского активных субширотных поднятий (в квадрате $\varphi=41.5^\circ-43.5^\circ$, $\lambda=72^\circ-80^\circ$). Звёздочкой обозначен эпицентр землетрясения Сарыджаз-Каркыра ($K=15.1$, 28.01.2013 г.).

Пространственное распределение скоростей V_p , V_s сейсмических волн очагов Северного Тянь-Шаня (в квадрате $\varphi=41.5^\circ-43.5^\circ$, $\lambda=72^\circ-80^\circ$) после землетрясения Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$) приведено на рисунке 17 (а, б). Выделяются относительно высокоскоростные и низкоскоростные неоднородности. При этом в системе субширотных активных разломов между $72^\circ-77^\circ$ отмечается динамическая сегментация, а между $77^\circ-80^\circ$ наблюдаются динамическая сегментация и секторизация.

(а)

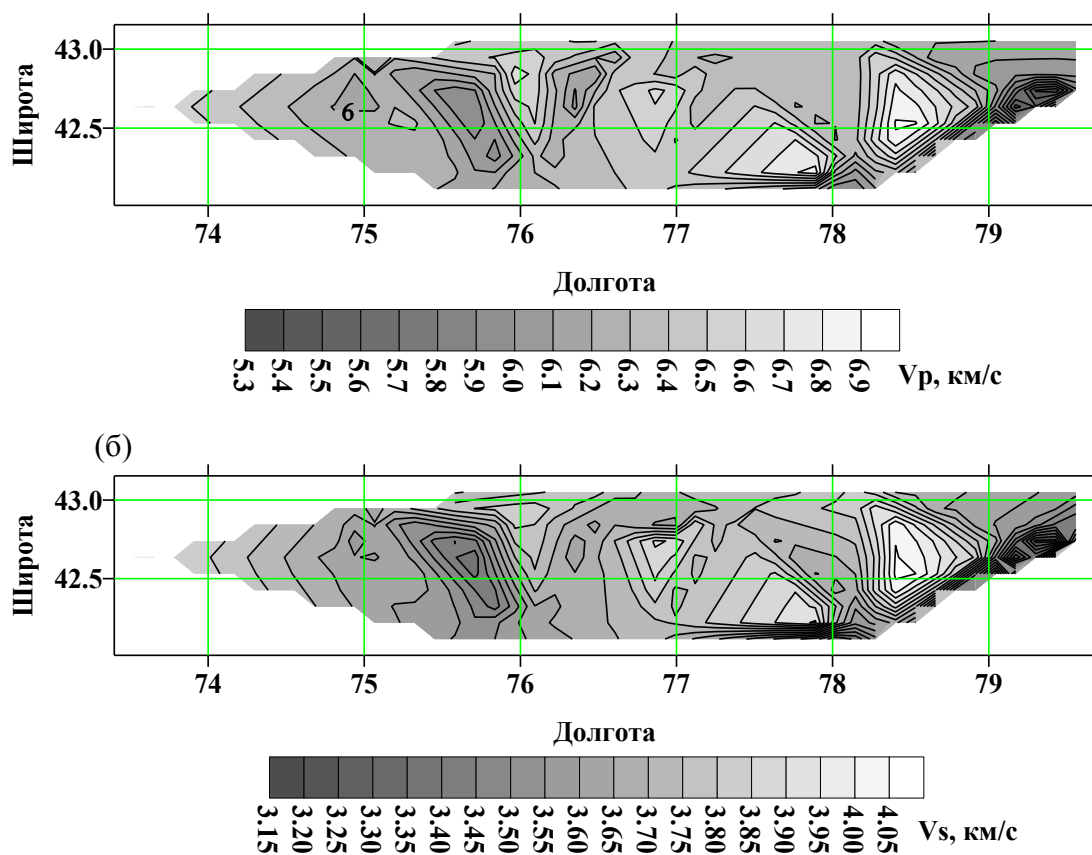
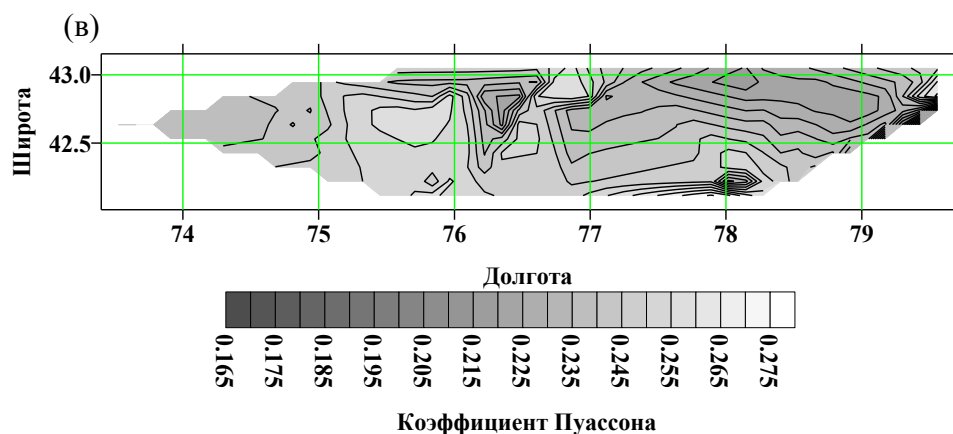


Рисунок 17 (а, б). Пространственное распределение скоростей V_p (а), V_s сейсмических волн очагов землетрясений активных разломов в пределах Кунгейского, Зайлийского, Терской, Кыргызского, Суусамыртооского и Таласского активных субширотных поднятий в квадрате $\varphi=41.5^{\circ}-43.5^{\circ}$, $\lambda=72^{\circ}-80^{\circ}$ Северного Тянь-Шаня.

Пространственное распределение коэффициента Пуассона σ , сейсмического параметра Φ ($\text{км}^2/\text{с}^2$) среды очагов Северного Тянь-Шаня (в квадрате $\varphi=41.5^{\circ}-43.5^{\circ}$, $\lambda=72^{\circ}-80^{\circ}$) после землетрясения Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$) приведено на рисунке 17 (в, г). Выделяются участки очагов с относительно высокими («эластичными материалами», большими приращениями давления) и низкими («хрупкими материалами», малыми приращениями давления) значениями этих параметров. При этом системы субширотных активных разломов разделяются на сегменты и секторы.



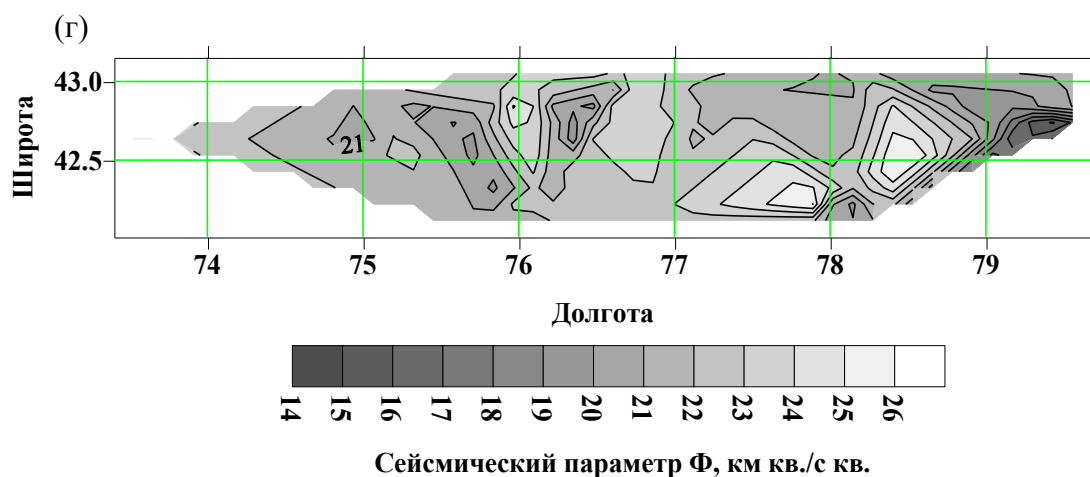


Рисунок 17 (в, г). Пространственное распределение коэффициента Пуассона σ ; (в) - сейсмического параметра Φ ($\text{км}^2/\text{с}^2$); (г) - среды очагов землетрясений активных разломов в пределах Кунгейского, Заилийского, Терсейского, Кыргызского, Суусамыртооского и Таласского активных субширотных поднятий в квадрате $\varphi=41.5^\circ-43.5^\circ$, $\lambda=72^\circ-80^\circ$ Северного Тянь-Шаня.

Важно провести сравнительный анализ состояния среды очагов землетрясений и механизма этих очагов. В качестве примера выбраны механизмы очагов ряда землетрясений с $K = 12.2-15.1$ по данным Института сейсмологии НАН Кыргызской Республики (табл.5).

Таблица 5. Параметры механизмов очагов землетрясений с $K=12.2-15.1$ Северного Тянь-Шаня в квадрате $\varphi=41.5^\circ-43.5^\circ$ с.ш., $\lambda=72^\circ-80^\circ$ в.д. за 2006- 2013 гг.

Дата			Координаты				К	Оси главных напряжений					
год	месяц	день	широта		долгота			P		B		T	
			гр.	мин.	гр.	мин.		PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM
2006	12	25	42	5	76	02	14	21	318	48	254	33	214
2007	6	6	42	34	75	23	12	4	355	84	130	4	265
2010	3	2	42	42	75	65	12,6	8	150	82	352	4	240
2013	1	28	42	34	79	46	15.1	5	13	84	250	8	103
Дата			Координаты				Нодальные плоскости						Вид деформации
ГОД	месяц	Число	широта		долгота		NP1			NP2			
			гр.	мин.	гр.	мин.	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
2006	12	25	42	5	76	02	0	50	10	264	82	140	взброс
2007	6	6	42	34	75	23	40	85	0	310	90	175	сдвиг
2010	3	2	42	42	75	65	285	82	-177	195	87	-8	сдвиго-сброс
2013	1	28	42	34	79	46	148	81	178	238	88	9	сдвиг

Физические параметры геофизической среды очагов данных землетрясений приведены в табл.6.

Таблица 6. Физические параметры геофизической среды очагов ряда значительных землетрясений: Кочкор (25.12.2006 г., $K=14.2$), Шамси-Тюндюк (06.06.2007 г., $K=12.2$), Окторкой (02.03.2010 г., $K=12.6$) и Сарыджаз-Каркыра (28.01.2013 г., $K=15.1$).

№	Год	Месяц	Число	широта	долгота	V_p , км/с	V_s , км/с	V_p/V_s	$K = \lg E$, Дж	Состояние среды
1	2006	12	25	42.17	76.06	5.92	3.45	1.71	14.2	флюиды
2	2007	6	6	42.71	75.36	6.43	3.62	1.77	12.2	высокое давление
3	2010	3	2	42.54	75.74	6.48	3.73	1.73	12.6	высокое давление
4	2013	1	28	42.56	79.77	5.86	3.51	1.67	15.1	флюиды

№	Вероятный состав среды очага	Плотность ρ , г/см ³ [36]	Коэффициент Пуассона σ	Модуль сдвига μ , кбар	Модуль сжатия K , кбар	Сейсмический параметр Φ , км ² /с ²
1	гранодиориты ордовика	2.66	0.24	932	510	19.18
2	метаморфические породы рифея	2.8	0.26	1157	668	23.87
3	метаморфические породы рифея	2.8	0.25	1175	656	23.44
4	известняки карбона	2.67	0.22	916	475	17.82

Из таблиц 5 и 6 следует, что в геофизических средах очагов землетрясений: 1-Кочкор (2006) и 4 - Сарыджаз-Тарагай (2013) проявились флюиды и величины физических параметров (модуль сдвига, модуль сжатия, сейсмический параметр) были сравнительно малыми. Однако, вид деформации в очаге землетрясения Кочкор был взбросовый, а в очаге Сарыкамыш-Каркыра - сдвиговый. В геофизических средах очагов землетрясений: 2-Шамси-Тюндюк (2007), 3-Окторкой (2010) проявились высокие давления и величины физических параметров были относительно большими. Вид деформации в очагах этих землетрясений были сдвиговый и сдвиго-сбросовый, соответственно. Геофизическая среда очагов землетрясений: Кочкор, Сарыджаз-Каркыра вела себя, как сравнительно «хрупкий материал», а очагов землетрясений: Шамси-Тюндюк, Окторкой – как относительно «эластичный материал».

Заключение

1. На основе данных цифровых сейсмических станций сетей KNET и KRNET изучены сейсмические волны коровых землетрясений Северного Тянь-Шаня, определены скорости V_p , V_s , V_p/V_s , сейсмический параметр Φ , коэффициент Пуассона геофизической среды каждого очага и осуществлено слежение последовательности проявления очагов в квадрате $\varphi=41.5^\circ-43.5^\circ$ с.ш., $\lambda=72^\circ-80^\circ$ в.д.

2. Отмечено, что в изменениях величин V_p , V_s , V_p/V_s , сейсмического параметра Φ , коэффициента Пуассона очагов во времени выделяется иерархия нелинейных циклов, в частности, третьего, второго, первого порядков в низких, средних и высоких значениях соответственно. Длительность циклов третьего порядка составляет около 1.4-7.0 сутки, второго порядка- около 9.9-20.0 сутки, первого порядка – более 20 суток. Геофизическая среда очагов землетрясений в соответствии с коэффициентом Пуассона ведёт как «эластичный», «хрупкий» и «обычный» материалы. Величина сейсмического параметра позволяет определить значение давления в очагах для одинаково определённого приращения плотности (например, на 0.1 г/см^3).
3. По имеющимся достоверным данным V_p , V_s , V_p/V_s установлено четыре вида очагов землетрясений: 1- с проявлением флюидов, 2- с проявлением частичного плавления, 3 - с проявлением высоких давлений, 4 - без проявления флюидов, частичного плавления и высоких давлений.
4. На распределении V_p , V_s , V_p/V_s , сейсмического параметра Φ , коэффициента Пуассона очагов в пространстве очаги землетрясений группируются в скоростные неоднородности, наблюдаются динамическая сегментация и секторизация устойчивых поднятий и активных разломов Северного Тянь-Шаня. Очаг землетрясения, например, Сарыджаз-Каркыра (2013, $K=15.1$), развивался на северном крыле Восточно-Терской устойчивого поднятия, в зоне Предтерской активного разлома.
5. Сравнительный анализ очагов значительных землетрясений Северного Тянь-Шаня показал, что в геофизических средах очагов землетрясений: 1-Кочкор (2006), 4-Сарыджаз-Тарагай (2013) проявились флюиды и величины физических параметров (модуль сдвига, модуль сжатия, сейсмический параметр) были сравнительно малыми. Однако, вид деформации в очаге землетрясения Кочкор был взбросовый, а в очаге Сарыкамыш-Каркыра - сдвиговый. В геофизических средах очагов землетрясений: 2-Шамси-Тюндюк (2007), 3-Окторкой (2010) проявились высокие давления и величины физических параметров были относительно большими. Вид деформации в очагах этих землетрясений были сдвиговый и сдвиго-сбросовый, соответственно. Геофизическая среда очагов землетрясений: Кочкор, Сарыджаз-Каркыра вела как сравнительно «хрупкий материал», а очагов землетрясений: Шамси-Тюндюк, Окторкой – как относительно «эластичный материал».

Литература

1. Omuraliev M., Omuralieva A. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan. Bishkek: Ilim, 2004. 166 p.
2. Джанузаков К.Д., Омуралиев М., Омуралиева А., Ильясов Б.И., Гребенникова В.В. Сильные землетрясения Тянь-Шаня. Бишкек: Илим, 2003. 216 с.
3. Richter C. F. An instrumental earthquake magnitude scale. Bull. Seismol. Soc. Am., 1935, 25, 155-63.
4. Richter C. F. Elementary Seismology. San Francisco. 1958.
5. Gutenberg B., Richter C.F. Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration/ Bull. Seismol. Soc. Am., 1956, 46, 105-45.
6. Kawasumi H. An historical sketch of the development of knowledge concerning the initial motion of an earthquake. Publ. Bur. Cent. Seism. Int. 1937, A15, 258 330.
7. Касахапа К. Механика землетрясений. М.: Мир, 1985. 264 с.
8. Love A.E.H. Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity. 1944.

9. Nakano H. Notes of the nature of the forces which give rise to the earthquake motions. *Seismol. Bull., Central Meteorological obs. Japan.* 1923. 92-120.
10. Maruyama T. *Basic Theory of Seismic Waves. Part 1 of Earthquakes, Volcanoes and Rock mechanics.* Tokyo. 1968.
11. Reid H. F. The elastic-rebound theory of earthquakes. *University of California Publ. Geol. Sci.* 1911. 6, 413-44.
12. Benioff H., Press F., Smith S.W. Excitation of the free oscillations of the earth by earthquakes. *J. Geophys. Res.* 1961.66, 605-618.
13. Aki K. Scaling law of seismic spectrum. *J. Geophys. Res.* 1967. 72, 1217-31.
14. Bath M. *Spectral Analysis in Geophysics, Developments in Solid Earth Geophysics Series, vol. 7, Elsevier Sci., Amsterdam.* 1974. p. 580.
15. Brune J. N. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. *J. Geophys. Res.* 1970. 75, 26, 4997-5009.
16. Раутиан Т.Г., Халтурин В.И., Кунакова О.К. Очаговые спектры и параметры землетрясений Средней Азии, Копетдага, Северного Тянь-Шаня и сопредельных территорий. М.: Землетрясения в СССР в 1990 году, 123-126
17. Мячкин В.И., Костров Б.В., Соболев Г.А., Шамина О.Г. Основы физики очага и предвестники землетрясений// Основы физики очага и предвестники землетрясений// Физики очага землетрясения. М.: Наука. 1975. С.6-29.
18. Scholz C.H., Sykes L.R., Aggarwai J.P. Earthquake prediction: A physical basis. *Science.* 1973. 181. 803.
19. Anderson L.D., Whitcomb J.H. The dilatancy-diffusion model of earthquake prediction. *Stanford University Publ. Geol. Sci.* 1973. Vol. 13. p.417.
20. Ризниченко Ю.В. Методы массового определения координат очагов близких землетрясений и скоростей сейсмических волн в области расположения очагов. *Изв. АН СССР,* 1957.
21. Сабитова Т.М. Годографы сейсмических волн для северной Киргизии и их интерпретация. *Изв. АН Киргиз. ССР,* 1976, №3.
22. Грин Т.П., Кальметьева З.А. Определение скоростных разрезов и глубин землетрясений при детальном сейсмологических наблюдениях//Геолого-геофизическая характеристика сейсмогенных зон Киргизии. Фрунзе. 1976, С. 13-31.
23. Соболев К.А., Завьялов А.Д. О концентрационном критерии сейсмогенных разрывов //ДАН СССР. 1980. Т.252. №1. С.69-71.
24. Садовский М.А., Болховитдинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М.: Наука, 1987.100 с.
25. Омуралиев М. О роли термоакустического и массопереносакустического эффектов в геологических процессах литосферы. //Известия АН КиргССР, 1987, №4, с. 44-49.
26. Омуралиев М. Спектры объёмных сейсмических волн в ближней зоне и динамические параметры очага землетрясения Тянь-Шаня по широкополосным записям станций сейсмологической сети KNET. //Наука и Новые Технологии, 1998, №4, с. 44-50.
27. Omuraliev M. Tectonophysical properties and relation of seismic moment and seismic energy of the Tien Shan, Pamir and Hindukush earthquakes. //Science and New Technology, 1999, №1, с. 75-77.
28. Nakajima J., Matsuzawa T., Hasegawa A., Zhao D. Three-dimensional structure of V_p , V_s and V_p/V_s beneath northeastern Japan: Implications for arc magmatism and fluids // *J. Geophys. Res.* – 2001. – V. 106. – P. 21843–21857

29. Омуралиев М., Омуралиева А. Сейсмическое излучение в близких зонах от землетрясений по данным локальной сети сейсмических станций. //Известия НАН КР, 2006, №1, с. 34-43.
30. Омуралиева А., Омуралиев М. Вероятные участки проявления флюидов и частичного плавления в земной коре Центральной части Тянь-Шаня по данным сетей "GHENGIS" и "KNET" //Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Материалы V Международного симпозиума. – Бишкек. 2011. – С. 73–76.
31. Омуралиева А., Омуралиев М. Динамика сейсмичности Тянь-Шаня. //Вестник Института сейсмологии НАН КР. -2015. -№5. –С.102-112.
32. Абдрахматов К. Е., Омуралиев М., Омуралиева А. Распределение флюидов. температуры в зонах Центрального Тянь-Шаня и подготовка сильных землетрясений. – Бишкек: Триада принт. 2015. – 206 с.
33. Омуралиева А., Омуралиев М. Динамика сейсмических процессов на сопряжении областей горообразования Памира и Тянь-Шаня: Заалайского поднятия и Алайской впадины. //Вестник Института сейсмологии НАН КР. -2018. -№1(11). -С.57-78 (Электронный журнал <http://www.journal.seismo.kg/index.php/arkhiv/zhurnal-2018-1-11>).
34. Омуралиева А., Омуралиев М. Динамика сейсмичности северной части Ферганской впадины, Кураминского и Чаткальского поднятий Тянь-Шаня. //Вестник Института сейсмологии НАН КР. -2018. -№2(12). –С.53-62 (Электронный журнал <http://www.journal.seismo.kg/index.php/arkhiv/zhurnal-2018-2-12>).
35. Омуралиев М. Динамика сегментации активного разлома и развития очага землетрясения. //Вестник ИС НАН КР. -2018. -№2(12). –С.63-79 (Электронный журнал <http://www.journal.seismo.kg/index.php/arkhiv/zhurnal-2018-2-12>).
36. Юдахин Ф.Н. Геофизические поля, глубинное строение и сейсмичность Тянь-Шаня Фрунзе: Илим. 1983. – 248 с.

Рецензент: к. г.-м.н. Фортуна А.Б.