

Омуралиев М., Омуралиева А.

СЕГМЕНТАЦИЯ И СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ ЗОНЫ  
ТАЛАСО-ФЕРГАНСКОГО РАЗЛОМА ТЯНЬ-ШАНЯ

M. Omuraliev, A. Omuralieva

SEGMENTATION AND SEISMIC HAZARD OF THE TALAS-FERGANA  
FAULT ZONE, TIEN SHAN

УДК:550.34

В статье приведены результаты изучения сегментации зоны Таласо-Ферганского разлома. Оценена максимальная величина сейсмического момента, моментной магнитуды землетрясений в сегментах. Показаны активные разломы и погребенные слои пород, образованные во время палеоземлетрясений. На основе изучения землетрясений за период 1962-2011 гг. установлена динамическая сегментация. Выделены векторы активизации, направленные с северо-запада на юго-восток. Отмечены квазипериодические периоды активизации и затишья. Установлена закономерность изменения кумулятивной сейсмической энергии в активных областях Таласо-Ферганского разлома.

The results of a study on segmentation of the Talas-Fergana Fault Zone are presented in this paper. The maximum values of seismic moment and moment magnitude of earthquakes in the segments were estimated. Active faults and buried layers formed during paleoearthquakes are shown. Dynamic segmentation was determined based on the study of earthquakes for the period of 1962 to 2011. Activation vectors directed from north-west to south-east were marked out. Semicyclic seismically active and calm periods are distinguished. The regularity of change in the cumulative seismic energy in the active areas of the Talas-Fergana fault was determined.

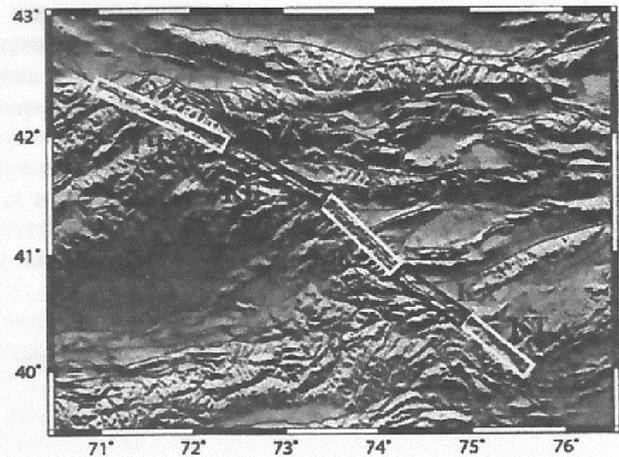
**Введение**

Таласо-Ферганский Разлом (ТФР) является секущей структурой северо-западного простирания области внутриконтинентального горообразования Тянь-Шаня. Данный разлом сдвигового типа (правосторонний) разделяет Западный и Центральный блоки Тянь-Шаня, Казахстанского щита и Туранской плиты, имеет протяженность более чем 500 км. Западный и Центральный блоки, в свою очередь, разделены на блоки, ограниченные разновозрастными активными разломами субширотного простирания взбросовош, надвигового, взбросо-сдвигового типов. На висячих крыльях таких разломов образовались поднятия устойчивые и инверсионные. Субширотные разломы вблизи зоны ТФР меняют дугообразно направление простирания, на восточном крыле приобретают северо-западное простирание и сдвиговую составляющую, а на западном крыле - юго-восточное простирание, также сдвиговую составляющую и сочленяются с ТФР под углом около 15° в плане. Это указывает на правосторонний сдвиг ТФР. Эти разломы представляют собой ответвления ТФР и в зоне разлома относительно них выделяются сегменты. Сначала этапа горообразования формировались относительно

долговременные сегменты, а на современном этапе наблюдается динамическая сегментация.

**1. Сегменты Таласо-Ферганского разлома и новейшие структуры**

Коктун-Тоюнский (КТ) сегмент является юго-западной частью ТФР, протягивается от Южно-Кельшинтагского и Южно-Майдантагского разломов в северо-западном направлении до Торугартского поднятия (рис.1). Общая протяженность сегмента составляет L=120 км. На висячих северных крыльях Южно-Кельгантагского и Южно-Майдантагского разломов формировались Кельпинтагское и Майдантагское поднятия.



**Рис. 1.** Сегменты ТФР (с юго-запада на северо-восток): КТ - Коктун-Тоюнский, КА - Каракул-жа-Арпинский, БЖ - Баубашата-Жазысуыйский, КБ<sup>III</sup> - Кетментобо-Баубашатинский, ТЧ - Таласо-Чаткальский. Сегменты обозначены белыми и черными прямоугольниками. Черными линиями показаны активные разломы.

На северо-восточном крыле проявились периклинали Кельпиктагского и Майдантагского поднятия, Тоюнская впадина, а на юго-западном крыле - Коктунская система поднятий. В Тоюнской впадине продлены кайнозойские базальты. Исторические сильные землетрясения, как Кашгарское (1902,  $M_{LH}=8.2$ ,  $K=18.5$ ) произошло в зоне Южно-Майдантагского разлома, а Кызылсуийское (1983,  $M_{LH}=6.7$ ,  $K=16.1$ ) - в пределах Коктунского поднятия.

Каракулжа-Арпинский (КА) сегмент простирается в северо-западном направлении от Торугартского поднятия до Южно-Алабугинского разлома (см. рис.1). Протяженность сегмента составляет

$L=70$  км. На северо-восточном крыле сегмента формировались Джамандаванские (южное и северное) поднятия (на висячем южном крыле Южно-Алабугинского разлома), и Арпинская северо-вергентная впадина. В данной впадине вдоль середины образовался активный разлом в виде уступа (эскарпа). На юго-западном крыле сегмента формировалась юго-восточная часть Ферганской антиклинали, поднятая до 4900м. Данная структура имеет крутое короткое северо-западное крыло и пологое длинное юго-западное крыло.

Баубашата-Жазысуйский (Ясышский) (БЖ) сегмент простирается в северо-западном направлении от Южно-Алабугинского разлома до Тахтекского поднятия (см. рис 1). Протяженность сегмента составляет около 100 км. На юго-западном крыле сегмента формировалась северо-западная часть Ферганского поднятия, зона Южно-Караункурского разлома, Кугартская и Караункурская впадины, зона Северо-Караункурского разлома. На южном висячем крыле Южно-Кугартского разлома формировалось Серюн-добонское поднятие. На висячем северном крыле образовалось Баубашатинское поднятие. При этом Караункурская и Кугартская впадины и их обрамляющие поднятия представлялись конвергентными структурами. В зоне Северо-Караункурского разлома имеются скальные оползни и завальное озеро, образованные вследствие палеоземлетрясений. На северо-восточном крыле сегмента формировалась Алабугинская впадина, которая разделилась Южно-Тогузтороуского разломом и инверсионным Чаарташ-Акшыйракским поднятием на собственно Алабугинскую и Тогузтороускую впадины. Чаарташ-Акшыйракское поднятие образовалось на висячем юго-восточном крыле Южно-Тогузтороуского разлома. В зоне последнего разлома имеется крупный скальный оползень Бешколский, образованный вследствие палеоземлетрясений. Соответственно, Баубашата-Жазысуйский сегмент состоит из Тогузтороуского и Алабугинского сегментов. Протяженность данных сегментов составляет  $L=50$  км. В Алабугинском сегменте в долинах рек широко развиты сейсмогенные разрывы (рвы) сбросо-сдвигового характера.

Кетментобо-Баубашатинский (КБ) сегмент простирается в северо-западном направлении от сочленения Северо-Караункурского разлома до сочленения Атойнокского разлома (см. рис.1). Протяженность сегмента составляет 125 км. На северо-восточном крыле сегмента формировались Кокиримтоо-Тахталыкское поднятие, зона Южно-Кетментобонского разлома, Кетментобонская впадина и зона Северо-Кетментобонского разлома. Кокирим-Тахталыкское устойчивое поднятие образовалось на южном висячем крыле Южно-Кетментобонского разлома. Данный разлом по мере приближения к зоне ТФР приобретает северо-западное простирание, с

которым сочленяется под острым углом около  $15^\circ$ . На юго-западном крыле данного сегмента разломы Северо-Караункурский, Карасуйский, Атойнокский ограничивают структуру центрального типа - диапира домезозойской породы. Рассматриваемый сегмент в структурном плане разделяется на Карасуйский и Узунакматский сегменты другого иерархического уровня. Протяженность их составляет 60 и 65 км, соответственно.

Таласо-Чаткальский (ТЧ) сегмент простирается в северо-западном направлении от сочленения Атойнокского разлома до Пскемского поднятия (см. рис.1.). Протяженность сегмента составляет 85 км. На восточном крыле сегмента сформировалось Таласское устойчивое поднятие. На юго-западном крыле образовались зона Атойнокского разлома, Чаткальское поднятие, одноименная впадина, зона Северо-Чаткальского разлома, Сандалашское инверсионное поднятие, зона Северо-Сандалашского разлома и Пскемское устойчивое поднятие. Эти складчатые разрывные структуры вергентны в южном направлении. Чаткальское поднятие формировалось на висячем северо-западном крыле Атойнокского разлома, Сандалашское поднятие - на висячем северо-западном крыле Северо-Чаткальского разлома, Пскемское поднятие - на висячем северо-западном крыле Северо-Сандалашского разлома.

## 2. Параметры сегментов и сейсмическая опасность

Параметры сегментов ТФР и возможные моментные магнитуды приведены в табл.1. Измеренное значение  $L$  позволило определить протяженность разлома по падению  $D$  и величину подвижки по разлому  $U$  на основании статистики мировых данных [3] соотношений  $L$  и  $D$ , также  $L$  и  $U$  сбросо-сдвиговых (правосторонних) разломов известных землетрясений. Значение сейсмического момента определялось по формуле Аки [8]:

$$M_0 = \mu ULD,$$

где  $M_0$  - сейсмический момент (дин-см),  $\mu$  - жесткость среды, обычно принимается равной  $3,7 \times 10^{11}$  дин/см<sup>2</sup>,  $U$  - величина подвижка по разлому (м),  $L$  - длина разлома,  $D$  - протяженность разлома по падению,  $L \times D$  - площадь разлома. Величина сброшенного напряжения определялась по формуле Аки:

$$\sigma = 8/3 \pi (\mu ULD),$$

Величина моментной магнитуды определялась по формуле [4], уточняющая формулу Канамори [11]:

$$M_w = (\lg M_0 / 1,5) + (0,0065 \sigma - 10,93), \quad (3)$$

№	Сегменты	Длина разлома L, км	Вероятная величина глубины разрыва очага D, км	Вероятная величина смещения U, м	Сейсмический момент $M_0$ , дин/см <sup>2</sup>	Сброшенное напряжение $\sigma$ , бар	$M_w$
1	Коктун-Тоюнский	120	30	5	5,4-1E+28	52	7,9
2	Каракулжа-Арпинский	70	20	3,5	1,47-1E+28	55	7,5
3	Такталык- Жазысуыйский	100	20	5	3-1E+28	79	7,9
3а	Тогузтороуский	50	12	2,4	4,32-1E+27	63	7,2
3б	Алабугинский	50	12	2,4	4,32-1E+27	63	7,2
4	Кетментюбе-Баубашатинский	125	30	5	5,62-1E+28	52	7,9
4а	Карасуыйский	60	15	3,5	9,45-1E+27	73	7,5
4б	Узунакматский	65	15	3,5	1,12-1E+28	73	7,6
5	Талас-Чаткальский	85	20	3,9	1,27-1E+28	61	7,7
5а	Чаткальский	50	12	2,4	4,32-1E+27	63	7,2
5б	Сандал ашский	35	12	2,4	3,02-1E+27	63	7,1

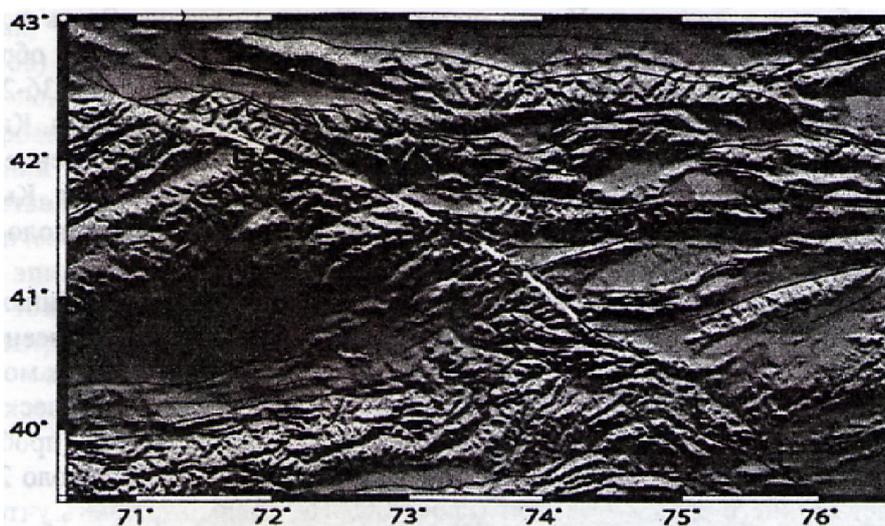
### 1. Активные разломы и палеоземлетрясения

На участках ТФР проявились активные разрывные структуры, которые в рельефе выражены в виде рвов, гребней и прямоугольных коленей русел рек. Колени русел рек имели правосторонний характер. Это указывало на сбросо-сдвиговый (правосторонний) характер разрыва. Гребни, образованные на лежащем крыле разрыва, перекрывали верхние части русел рек и во рве образовались водоемы. Где впоследствии отлагались органические почвы, которые наблюдаются при прохождении шурфов и траншей.

Колено русла водотока в зоне разлома может образовываться либо скачкообразным (разовым, кратным), либо постепенным (криповым) смещениями. Сдвиг может быть односторонним и двусторонним. При одностороннем сдвиге перемещается одна сторона (крыло) разлома, а при двустороннем - обе стороны разлома в противоположном направлении.

Буртман и др. [1, 9], Трифионов и др. [6, 15], Корженков и др. [12] на различных участках ТФР проводили замеры длины колен русел водотоков, которые и принимались за величину сдвигового смещения. Проходили шурфы на дне рвов, вскрывали новообразованные слои пород. Отбирали пробы органической почвы и определили радиоуглеродный <sup>14</sup>C возраст. Следует подчеркнуть, что проходка шурфов не доходила до поверхности активных разломов. Ими при документации шурфов не отмечены разрывы и явные признаки сдвигового смещения в новообразованных слоях. Отношение величины длины колена русла водотоков и абсолютного возраста органических материалов принималось за скорость сдвигового смещения. При этом допущен ряд предположений без явных признаков величин возможных смещений и интервалов времени. Например, на правом склоне долины р. Карасу длина колена одного водотока имеет длину 225 м, другого соседнего водотока - длину 170 м, а длина колена водотока между ними незначительная. В целом в вопросах механизма образования коленей русел водотоков существует ряд неясностей.

Очевидно, что предварительные стратиграфические колонки современных отложений в шурфах вдоль ТФР и возраст пород являются важными данными. Наши исследования показали, что активные разрывы представляют собой сейсмогенные разрывы сбросо-сдвигового типа, выраженные в рельефе в виде жерды [14] (Рис. 2).



**Рис. 2.** Разрывы и сейсмоползны в пределах ТФР, образованные во время палеоземлетрясений. Черными квадратиками обозначены скальные сейсмоползны, где образовались завальные озера, а жирными, белыми линиями - отрезки ТФР, где развиты сейсморазрывы - сейсморвы. Черными линиями показаны активные разломы.

Эта точка зрения поддержана Корженковым и др. [12]. Буртманом и др. [9] отмечено, что в долине р. Биргузи – гзосторонкий сдвиг составляет около 3 м и высота гребня -1-2 м, в долине р. Пычан высота гребня колеблется от 2 до 5 м и правосторонний сдвиговый компонент - от 10 до 20 м. На основании имеющихся данных можно оценить размеры векторов смещения. Если учесть, что мощность отложений в близко расположенных шурфах 5 и 8 около 1 м и 1,2 м, то глубина сбросов составляет около 2-3 м и 3,5-6,5 м, соответственно. При этом векторы смещения имеют модули равные около 4,5 м и 21 м, юш-восгочный азимут и углы падения около 48° и 18°. На левом борту р. Кара-гяжа (верхний приток р. Чаткал) высота гребня рва достигает 4-5 м. С учетом мощности современных отложений в азрасположенном шурфе 15, равная около 1,8 м, можно оценить вероятную глубину сброса, которая составляет около 7 м. Так, если за вероятную величину сдвиговой составляющей принять около 17 м, то вектор смещения имеет модуль 18,3 м, северо-западный азимут и угол падения порядка 23°. По данным [12] в траншее 2 в долине р. Кара-Бура главная плоскость сброса падает на юго-запад под углом около 60-65°. Величина сброса составляет более 1,6 м.

Нами на основании анализа кинематики активных сейсмогенных разрывов на участках ТФР установлено, что северо-западнее перевала Кок-Бел сдвинуты и сброшены юго-западные стороны (крылья) газрывов, а юго-восточнее от этого перевала сдвинуты и сброшены северо-восточные стороны (крылья) разрывов. Вместе с сейсморазрывами широко развиты крупные скальные оползни, образованные во время крупных палеоземлетрясений [14]. Некоторые сейсмоползны перекрыли русла рек, в результате чего образовались озера (с северо-запада на юго-восток): Каратоко (на северном склоне Чаткальского хребта), Сарычелек (на

южном склоне Чаткальского хребта), Карасу (в двух местах в долине одноименной реки), Кёл (на Баубашатинском хребте), Кулун (на юго-западном склоне Ферганского хребта).

В отложениях рвов, вскрытых шурфами, предполагаются коллювиальные образования - свалки склоновых отложений во время землетрясений и погребенные почвенно-растительные слои. Очевидно, возраст этих образований указывает на вероятное время сильных палеоземлетрясений. Имеющиеся данные [1, 9, 12] позволяют оценить повторяемость палеоземлетрясений в пределах долин рек Жилангач-Кылдау, Кекиликбел, Жанарыксу-Чаткал (Каракулжа), Кара-Бура относительно скорректированного (до настоящего времени) радиоуглеродного возраста. В пределах долин рек Жилангач, вероятно, проявилось палеоземлетрясение в интервалах времени 4400-4800 (шурф 4), 4410-4450 (шурф 1) лет тому назад. После, в интервалах времени 3962-4132 лет (шурф 11) северо-западнее от него проявилось землетрясение в пределах долины р.Кылдау. Основанием является возраст погребенного почвенно-растительного слоя в шурфе 11 в результате предполагаемого землетрясения. Период повторения этих событий составляет 300-500 лет, в интервале времени 3770-4570 лет тому назад (шурф 6) юго-восточнее шурфа 11, вероятно, произошло землетрясение в долине р. Пычан, период повторения составлял 200-400 лет. Здесь же в интервале 3359-3426 лет тому назад (шурф 7), вероятно, произошло землетрясение с периодом повторения около 400-800 лет. Через около 100-300 лет в интервале 3070-3360 лет тому назад (шурф 5) землетрясение повторилось. Основанием для этого является возраст погребенного почвенно-растительного слоя в результате предполагаемого землетрясения. После, вероятно, произошли землетрясения юго-восточнее от предыдущего события в долине р. Жилангач в

интервале времени 2777-2934 лет тому назад (шурф 2) и через 50-100 лет в интервале 2730-2815 лет тому назад (шурф 2), что отражает период сейсмической активизации. Следует отметить, что в шурфе 2 предполагаются погребенные почвенно-растительные слои разного возраста и коллювиальные отложения, образованные во время палеоземлетрясений. Через 100-200 лет в интервале времени 2540-2752 лет тому назад (шурф 8) северо-западнее от предыдущего события в долине р. Пычан проявилось землетрясение. Здесь в шурфе 8 отмечаются разновозрастные почвенно-растительные слои и коллювиальные отложения, образованные во время сильных предполагаемых палеоземлетрясений. После, в интервалах времени 2336-2351 (шурф 10), 2306-2350 (шурф 8), 1980-2450 (шурф 9) лет тому назад в пределах долин рек Пычан, Кылдау, вероятно, произошло землетрясение. Здесь же через примерно 300 лет проявилось землетрясение в интервале времени 2050-2340 лет тому назад. Северо-западнее от этого землетрясения в долине р. Кылдау, вероятно, произошло землетрясение в интервале времени 1330-1550 лет тому назад (через около 700-800 лет), т.е. после относительного сейсмического затишья.

По данным [12] 1 км северо-западнее от перевала Кок-Бел в шурфе на глубинах 0,85 м, 1,3 м имеются погребенные слои, которые, вероятно, образовались во время двух землетрясений. Вертикальная составляющая сбросового компонента сбросо-сдвигового разрыва по отношению к мощности современных отложений составляет более 1,5 м. Определение абсолютного возраста органических материалов в погребенных слоях показало 4900±290 лет (проба 80АН-7023) и 2340±120 лет (проба 80АН-7022), соответственно. Следовательно, повторяемость землетрясений здесь составляет около 2500 лет. Следует отметить, что возраст верхнего слоя 270±85 лет (проба 80АН-7021) может быть учтен при оценке повторяемости землетрясений при наличии доказательств, что данный слой образовался во время землетрясения. В долине р. Сары-Булак в шурфе 3 вскрыт погребенный слой [12]. Нижняя его часть (на глубине 1,5 м) имеет возраст 6120±170 лет (проба 80АН-6536), средняя часть (на глубине 1,4 м) - возраст 5200±140 лет (проба 80АН-6534), верхняя часть слоя (на глубине 1,1 м) - возраст 2415±100 лет (проба 80АН-6535). Повторяемость землетрясений здесь составляет около 1000 лет и 2800 лет, соответственно.

В долине р. Каракулжа в шурфах 17, 18 [9] отмечаются разновозрастные погребенные почвенно-растительные слои и коллювиальные отложения, образованные вследствие предполагаемых палеоземлетрясений. В интервале времени 1928-2030 лет тому назад (шурф 17) проявилось землетрясение. Через 600-700 лет в интервале 1306-1373 лет тому назад (шурф 15) и в интервале 1311-1361 лет тому назад (шурф 14) в долинах рек Каракулжа и Жанарыксу произошло повторное землетрясение. После, в пределах долины р. Каракулжа, вероятно,

проявилась сейсмическая активизация и в интервалах времени 1264-1308 (шурф 16), 1064-1250 (шурф 18), 988-1143 (шурф 17) лет тому назад повторились три землетрясения с периодами повторяемости около 50-100 лет.

В долине р. Кара-Бура в траншее 2 [12] на глубине 0,7 м органический материал в слое песка имеет возраст 5910±130 лет (проба 80АН-6526). Поблизости от него в шурфе 1 погребенный почвенно-растительный слой на глубине 1,1 м, образованный, вероятно, во время землетрясения, имеет возраст 6100±200 лет. Это землетрясение, возможно, является более ранним не только в пределах долины р. Кара-Бура, а еще в пределах долины Сулу-Бакаир (северо-западнее). Имеющиеся данные в долине р. Каракулжа (юго-восточнее) указывают на то, что землетрясение данного времени, вероятно, не проявилось на рассматриваемом отрезке ТФР.

Вышеотмеченная повторяемость палеоземлетрясений в зоне ТФР позволяет отметить, что в интервале радиоуглеродного возраста от 6100±200 лет тому назад до 1150±40 лет тому назад, вероятно, проявилось около 25 сильных событий. В последовательности их проявления можно выделить периоды сейсмической активизации и затишья. Повторяемость землетрясений в период сейсмической активизации составляет около 50-200 лет, а в период сейсмического затишья - 400-1000 лет, иногда 2800 лет.

Важно отметить, что определение возможной длины сейсмогенного разлома группированием отрезков ТФР с относительно близким (с разницей около 100 лет) возрастом слоев отложений [12], образованных во время предполагаемых палеоземлетрясений, содержит неточность и большую неопределенность. Это равносильно группированию сейсмразрывов, образованных, например, в Северо-Тянь-Шанской зоне в период 1865-1938 гг. (в течение 73 лет) через 22-27 лет, и отношению их к одному событию.

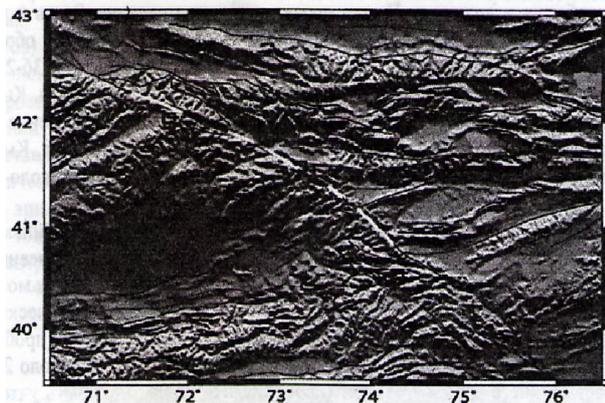
Магнитуду палеоземлетрясений можно оценить относительно магнитуды Чаткальского землетрясения (1946,  $M=7,5$ ) в связи с отсутствием явных данных длины сейсмогенного разлома и величины сбросо-сдвигового смещения. При Чаткальском землетрясении разрывы на поверхности не наблюдались, включением отдельных трещин и ряда обвалов. По данным [13] в очаге длина разлома составляла;  $l=10$  км, величина смещения -  $2\pm 0,5$  м. Активные разломы, образованные во время палеоземлетрясений, позволяют отметить, что магнитуда этих землетрясений имела значение  $M>7,5$ .

#### **Исторические землетрясения, динамические сегменты и современная активизация**

В пределах зоны ТФР проявились относительно сильные землетрясения [2], такие как Чаткальское (1946,  $M=7,5$ ,  $K=17$ ,  $\varphi=41,9^\circ$   $\lambda=72^\circ$ ), Кызылсуйское (1983,  $M=6,7$ ,  $K=16,1$ ,  $\varphi=40,23^\circ$   $\lambda=75,23^\circ$ ), Копгао-Санское (1997,  $M=5,9$ ,  $K=14,6$ ,  $\varphi=41,08^\circ$   $\lambda=74,32^\circ$ ).

Следует отметить, что Кашгарское землетрясение (1902,  $M=8,2$ ,  $K=18,5$ ) произошло в зоне Южно-Мейдантагского разлома. Не исключено, что Южно-Мейдантагского разлом является ответвлением на юго-западном окончании ТФР. Относительно пространства и времени проявления этих землетрясений можно определить предположительный вектор активизации ТФР. Так, после Чаткальского землетрясения (на сочленении Атойнокского и Таласо-Ферганского разломов) проявилось Кызылсуйское землетрясение на расстоянии около 345 км на юго-западном Коктун -Тоюнском сегменте. При этом величина кажущейся скорости активизации составляла 9,3 км/год. Далее проявилось Коштюбинское землетрясение северо-западнее от Кызылсуйского землетрясения на расстоянии около 135 км в пределах Алабугинского сегмента. Величина кажущейся скорости активизации составляла 9,2 км/год. Очевидно, векторы активизации отражают возможное распространение геодинамических процессов, в частности напряженно-деформационных волн [5] в зоне ТФР.

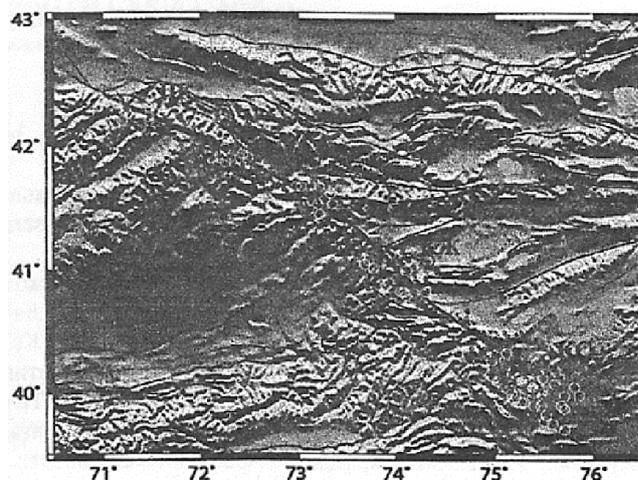
Распределение эпицентров землетрясений с  $K>8,6$  в интервале времени 1962-2011 гг. в полосах ширинами 5 км, 10 км, 15 км, 20 км, 25 км, 30 км вдоль зоны ТФР. В качестве примера на рис. 3 приведено распределение эпицентров землетрясений в полосах ширинами 5 км и 30 км.



**Рис 3а.** Распределение эпицентров землетрясений с  $K>8,6$  за 1962-2011 в полосе шириной 5 км. Землетрясения с  $8,6<K<11$  обозначены малыми кружками, землетрясения с  $11<K<13$  - кружками среднего радиуса,  $13<K<15$  - большими кружками. Звездочками обозначены сильные эпицентры Кашгарского (1912,  $K=18,5$ ), Кызылсуйского (1983,  $K=16,1$ ) и Чаткальского (1946,  $K=17,0$ ) землетрясений. Сплошными линиями указаны активные разломы. Активные области: КС - Кызылсуйская, КЖ - Кылдау-Жыланацкая, К - Карасуйская, У - Узунакмацкая, ПК - Пскем-Карабуринацкая

Эпицентры землетрясений с  $K>11,0$  приурочены к отдельным звеньям, которые представляют собой активные области. Между этими областями выделяются своеобразные сейсмические бреши. В то время эпицентры землетрясений с  $K>8,6$  и  $K<11,0$  концентрируются в активных областях и частично охватывают области сейсмических брешей. Подобное распределение землетрясений отмечено [17] в зоне разлома Сан-Андреас. Комплексом геофизи-

ческих работ и бурением скважин установлено, что область между активными областями отличается насыщенностью среды флюидами.

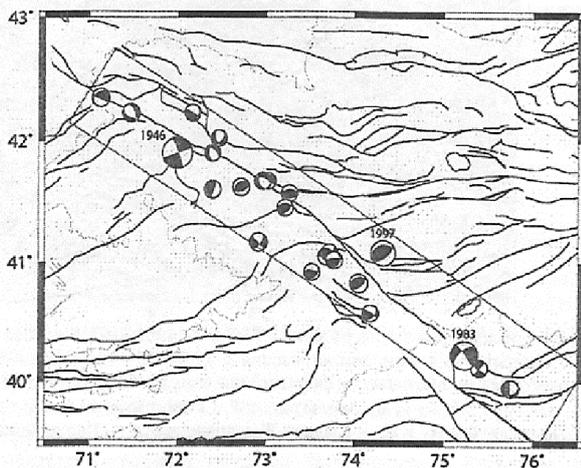


**Рис. 3б.** Распределение эпицентров землетрясений с  $K>8,6$  за 1962-2011 в полосе шириной 30 км. Землетрясения с  $8,6<K<11$  обозначены малыми кружками, землетрясения с  $11<K<13$  - кружками среднего радиуса,  $13<K<15$  - большими кружками. Звездочками обозначены сильные эпицентры Кашгарского (1912,  $K=18,5$ ), Кызылсуйского (1983,  $K=16,1$ ) и Чаткальского (1946,  $K=17,0$ ) землетрясений. Сплошными линиями указаны активные разломы. Активные области: КС - Кызылсуйская, КЖ - Кылдау-Жыланацкая, К - Карасуйская, У - Узунакмацкая, ПК - Пскем-Карабуринацкая

На рис.4 приведено распределение фокальных механизмов землетрясений с  $K>11,0$  за 1962-2011 гг. в полосе шириной 30 км в пределах ТФР. На рисунке также приведен механизм очага Чаткальского землетрясения (1946,  $K=17,0$ ). В очаге Чаткальского землетрясения ось сжатия направлена на северо-восток  $28^\circ$  под углом  $10^\circ$ , а ось растяжения - запад, северо-запад  $296^\circ$  под углом  $38^\circ$  [7]. Нодальные плоскости имеют азимуты  $340^\circ$ ,  $78^\circ$  и углы падения  $85^\circ$ ,  $70^\circ$ , соответственно. Азимут первой плоскости близок к азимуту ТФР, а азимут второй плоскости - к азимуту Атойнокского разлома. Тип деформации в очаге имеет сдвиговый характер.

В очаге Кызылсуйского землетрясения (1983,  $K=16,1$ ) ось сжатия направлена на юго-запад  $195^\circ$  под углом  $88^\circ$  ось растяжения - северо-запад  $295^\circ$  под углом  $12^\circ$  [10]. Нодальные плоскости имеют азимуты  $230^\circ$ ,  $323^\circ$  и углы падения  $60^\circ$ ,  $84^\circ$ , соответственно. Азимут второй плоскости близок к азимуту ТФР. Тип деформации в очаге имеет сдвиговый характер.

В очаге Кошпобинское землетрясения (1997,  $K=14,6$ ) ось сжатия направлена на юго-восток  $154^\circ$  под углом  $14^\circ$  ось растяжения - северо-запад  $290^\circ$  под углом  $72^\circ$ .



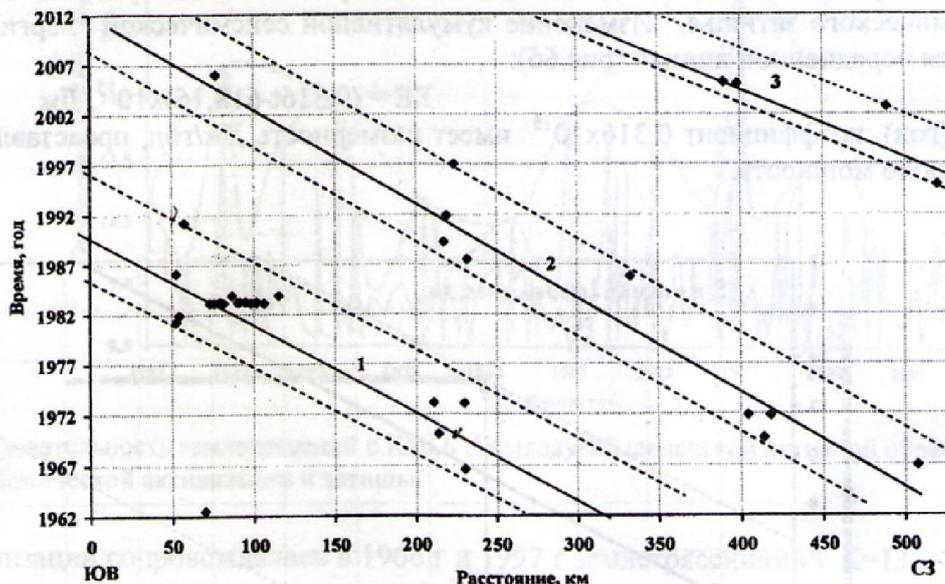
**Рис. 4.** Фокальные механизмы землетрясений с  $K > 11,0$  за 1962-2011 гг и Чаткальского землетрясения (1946,  $K=17,0$ ) в полосе шириной 30 км (черный прямоугольник) в пределах ТФР. Сплошными линиями указаны активные разломы.

Нодальные плоскости имеют азимуты  $53^\circ$ ,  $257^\circ$  и углы падения  $59^\circ$ ,  $34^\circ$ , соответственно. Тип деформации в очаге имеет взбросовый характер.

На северо-западе ТФР больше встречаются взбросовый и взбросо-сдвиговый типы деформации, в центральной части преобладают взбросовые типы

деформации, а на юго-западной части ТФР - сдвиговый, сбросо-сдвиговый типы деформации.

Активные области ТФР проявились в северо-западном Кызылсуйском звене Коктун-Тоюнского сегмента, в Кылдау-Жылангачском звене в пределах узла Арпинского и Баубашата-Жазысуйского сегментов, в Карасуйском звене в пределах узла Баубашата-Жазысуйского и Кетментюбе-Баубашатинского сегментов, в Узунакматском звене в пределах узла Кетментюбе-Баубашатинского и Чаткал-Таласского сегментов, в Пскем-Карабуринском звене северо-западной части Чаткал-Таласского сегмента. Вышеотмеченные активные области для краткости в дальнейшем будут называться Кызылсуйская, Кылдау-Жылангачская, Карасуйская, Узунакматская, Пскем-Карабуринская области. Они расположены на расстоянии около 90-135 км. Эти активные области представляют собой своеобразные гребни вероятных напряженно-деформационных волн, а расстояния между ними - длину волн  $\lambda$ . Изучение пространственно-временного распределения землетрясений в зоне ТФР за период 1962-2011 гг. показало, что в распределении землетрясений с  $K \geq 11,6$  и  $K \geq 12,6$  выделяется векторы активизации (рис.5): ранний первый, промежуточный второй, поздний третий, направленные с северо-запада на юго-восток вдоль зоны.



**Рис. 5.** График векторов активизации зоны ТФР разлома и проявления землетрясений с  $K \geq 11,6$ . Ось абсцисс - стояние от юго-восточного конца, км; ось ординат - годы возникновения землетрясений. 1-линия (тренд) первой относительно ранней активизации; 2 - второй промежуточной активизации; 3-третьей поздней активизации

Линии (тренды) этих векторов в распределении землетрясений с  $K \geq 11,6$  выражаются формулами:

$$t = -0,0879x + 1990,8 \text{ год}, R^2 = 0,82 \quad (4)$$

$$t = -0,0968x + 2013,3 \text{ год}, R^2 = 0,94 \quad (5)$$

$$t = -0,0642x + 2030,8 \text{ год}, R^2 = 0,74 \quad (6)$$

где  $t$  время (год),  $x$  -расстояние (км),  $R^2$ -достоверность аппроксимации. Коэффициенты перед  $x$  имеют размерность год/км, т.е. обратная величина скорости. Из (4)-(6) можно найти величину скорости  $y$ . 11,3 км/год, 10,3 км/год, 15,5 км/год, В соответствии с выражением (6) сейсмическая активизация в Кылдау-Жылангачской активной области наступит в 2016 г., а в Кызылсуйской активной области - в 2023 г.

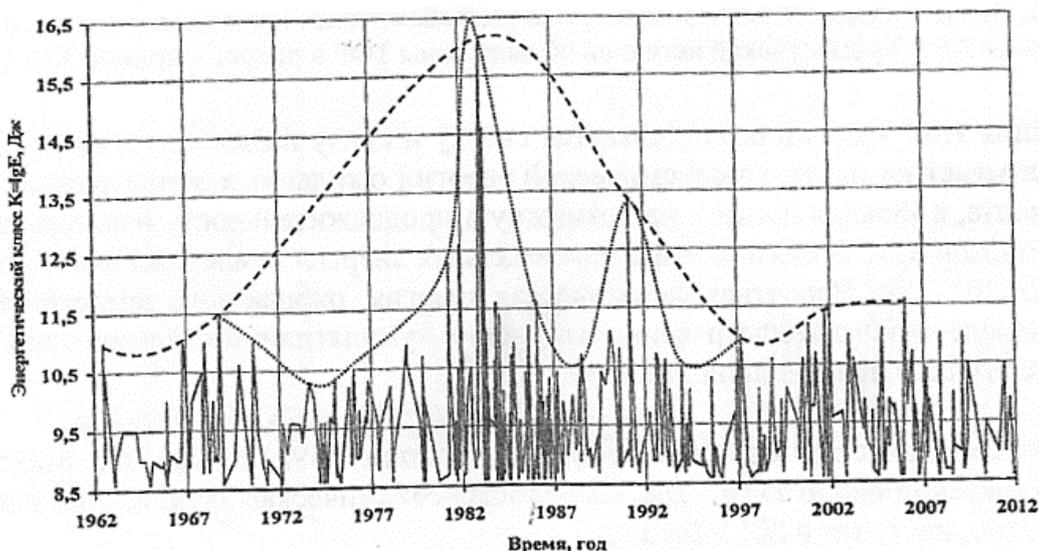
Линии векторов активизации в распределении землетрясений с  $K \geq 12,6$  выражаются формулами:

$$t = -0,1118x + 1993,0 \text{ год}, R^2 = 0,83 \quad (7)$$

$$t = -0,1300x + 2026,2 \text{ год}, R^2 = 1 \quad (8)$$

Третья линия не отмечена. Из коэффициентов (7), (8) находим величину скорости  $v$ : 8,9 км/год, 7,6 км/год. Отношение величин,  $\lambda/v$ , возможно, представляет собой период  $T$  напряженно-деформационных волн. В распределении землетрясений с  $K \geq 11,6$  период волн в первом векторе активизации составляет в целом 7,9-11,9 лет, во втором векторе - 11,9-13,1 лет, в третьем векторе - 5,8-8,7 лет.

Рассмотрим последовательность проявления землетрясений в активных областях. В Кызылсуйской активной области в 1968 г наступил период сейсмической активизации (рис.6а), который сопровождался одноименным землетрясением (1983,  $K=16,1$ ,  $M=6,7$ ).

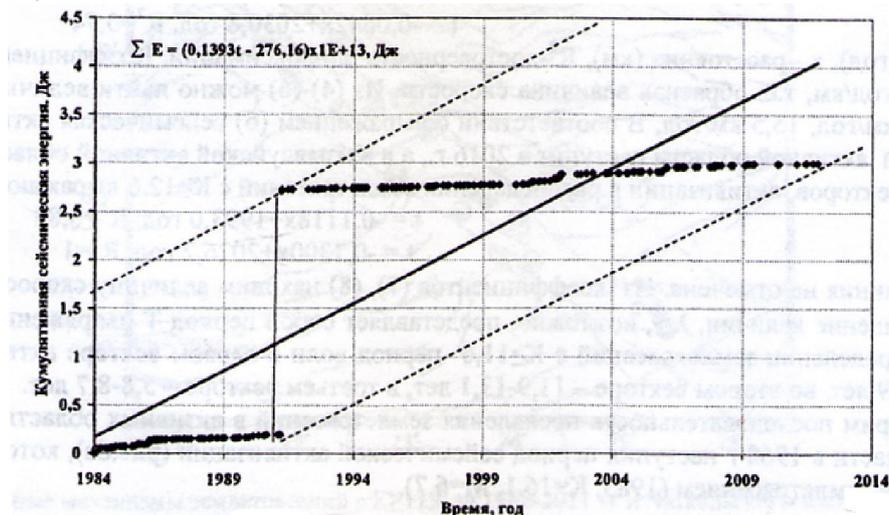


**Рис. 6 а.** Последовательность землетрясений с  $K \geq 8,6$  в Кызылсуйской активной области ТФР за 1962-2011 гг. и периоды сейсмической активизации и затишья. Пунктирной линией выделены обобщенные периоды сейсмической активизации и затишья (относительно низкочастотные), точечными линиями - локальные периоды сейсмической активизации и затишья

С 1992 г. наблюдался период сейсмического затишья. В 2002 г снова наступил период сейсмической активизации. Следует отметить, что до и после Кызылсуйского землетрясения отмечались локальные периоды сейсмического затишья. Изменение кумулятивной сейсмической энергии с 1962 г по 2011 г характеризуется осредненной линией (рис.6б):

$$\Sigma E = (0,3161 - 618,16) \times 10^{15}, \text{ Дж} \quad (9)$$

где  $t$  - время (год), коэффициент  $0,316 \times 10^{15}$  имеет размерность Дж/год, представляет собой своеобразную сейсмическую мощность.



**Рис. 6 б.** Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с энергетическими классами больше 8,6 в Кызылсуйской активной области зоны ТФР в полосе шириной 30 км с 1962 г по 2011 г

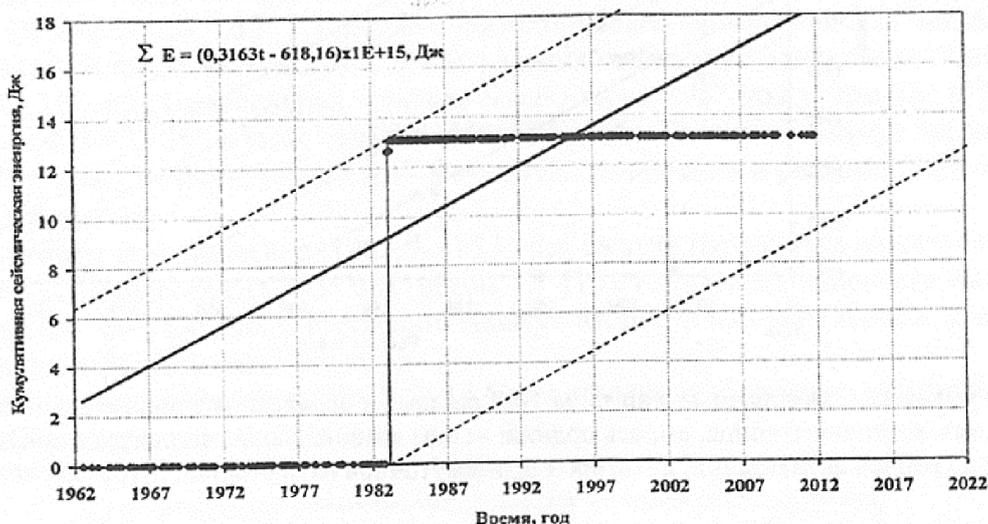


Рис. 6 б. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с энергетическими классами больше 8,6 в Кызылсуьской активной области зоны ТФР в полосе шириной 30 км с 1984 г по 2011 г

Флуктуация этой энергии ограничивается сверху и снизу параллельными прямыми линиями. Верхняя линия указывает на интервал сейсмической энергии ожидаемых землетрясений по вертикали от последнего момента, а нижняя линия - на возможную продолжительность периода затишья от последнего момента по горизонтали. В связи с этим максимальная энергия землетрясения в данной области составляет около  $1,3 \times 10^{17}$  Дж. Вероятная сейсмическая энергия ожидаемого землетрясения в 2012 г до  $10^{17}$  Дж. После Кызылсуьского землетрясения изменение кумулятивной сейсмической энергии с 1984 г по 2011 г характеризуется осредненной линией:

$$\Sigma E = (0,139t - 276,16) \times 10^{13}, \text{ Дж} \quad (10)$$

Величина сейсмической мощности составляет около  $1,39 \times 10^{12}$  Дж/год. Максимальная возможная энергия землетрясений около  $2 \times 10^{13}$  Дж. Следующая сейсмическая активизация и всплеск сейсмической энергии, вероятно, наступит в 2012-2013 гг.

В Кылдау-Жыланачской активной области с 1962 г по 1973 г и с 1987 г по 1997 г проявились периодическая активизации, разделенные периодом сейсмического затишья (рис.7а).

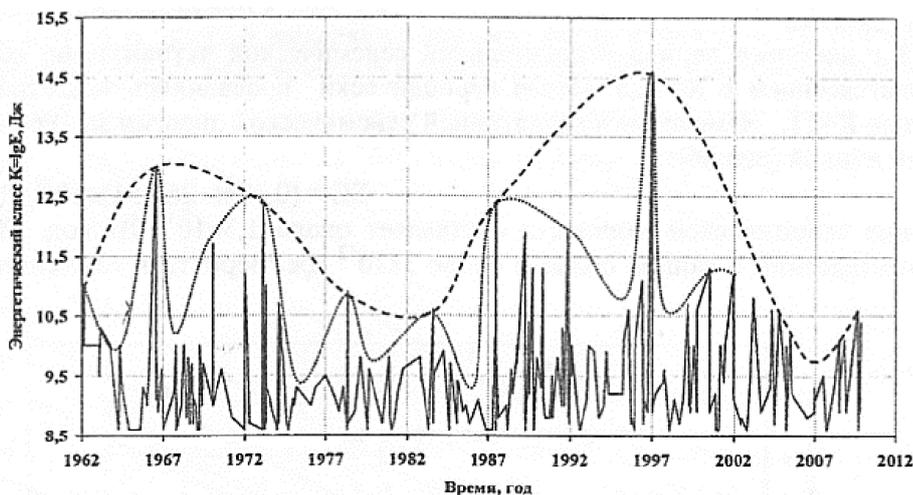
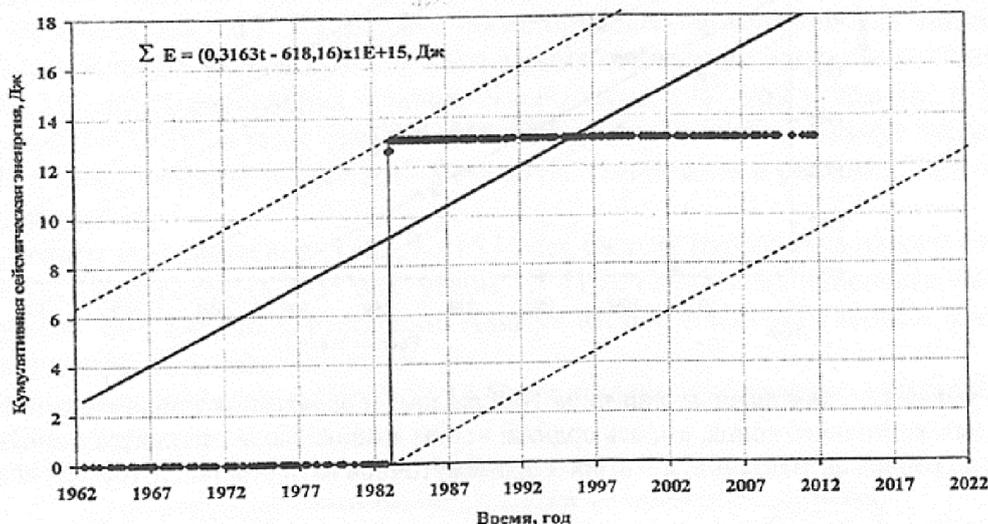


Рис. 7 а. Последовательность землетрясений с  $K \geq 8,6$  в Кылдау-Жыланачской активной области ТФР за 1962- 2011 гг. и периоды сейсмической активизации и затишья

Периоды активизации сопровождалась в 1966 г и 1997 г землетрясениями с  $K=13$  и  $K=14,6$  (Кошдо-онское). Период повторения этих землетрясений составлял около 30 лет. Изменение кумулятивной сейсмической энергии за 1962-2011 гг. характеризуется осредненной линией (рис.7б):

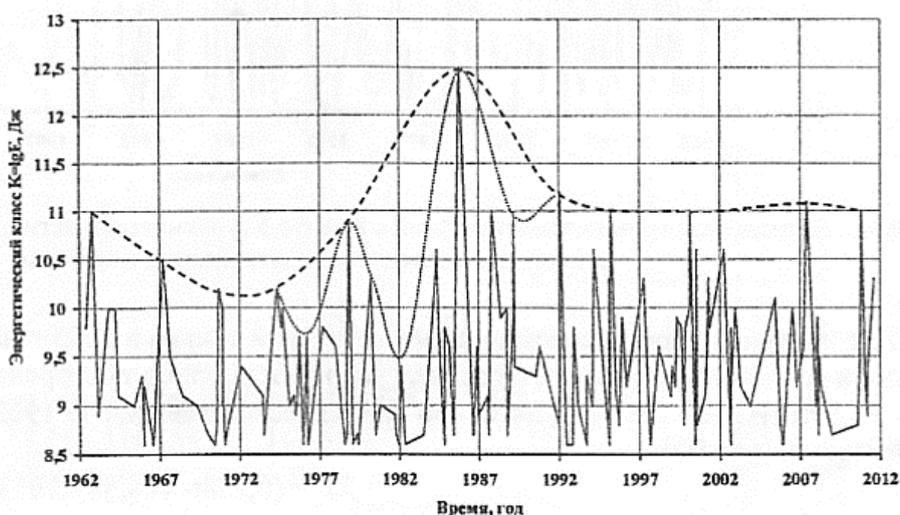
$$\Sigma E = (0,0951t - 188,45) \times 10^{14}, \text{ Дж} \quad (11)$$

Величина сейсмической мощности составляет около  $9,5 \times 10^{12}$  Дж/год. Максимальная возможная энергия землетрясений в данной области около  $4 \times 10^{14}$  Дж. Вероятная сейсмическая энергия в 2012 г до  $10^{14}$  Дж.



**Рис. 7 б.** Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с энергетическими классами больше 8,6 в Кдау-Жыланачской активной области зоны ТФР в полосе шириной 30 км с 1962 г по 2011 г

В Карасуйской активной области с 1967 г по 1977 г проявился период сейсмического затишья



**Рис. 8а.**

Последовательность землетрясений с  $K \geq 8,6$  в Карасуйской активной области ТФР за 1962-2011 гг. и периоды сейсмической активизации и затишья. Пунктирной линией выделены обобщенные периоды сейсмической активизации и затишья (относительно низкочастотные), точечными линиями - локальные периоды сейсмической активизации и затишья

В 1978 г наступил период относительной сейсмической активизации, который сопровождался в 1985 г землетрясением с  $K=12,5$ . После периодически проявлялись землетрясения с энергетическим классом около  $K=11$ . Изменение кумулятивной сейсмической энергии за 1962-2011 гг. характеризуется осредненной линией (рис.8б):

$$\Sigma E(0,1341-263,51) \times 10^{12}, \text{ Дж} \quad (12)$$

Величина сейсмической мощности составляет около  $1,3 \times 10^{11}$  Дж/год. Максимальная возможная энергия землетрясений в данной области около  $3 \times 10^{12}$  Дж. Вероятная сейсмическая энергия в 2012 г до  $2 \times 10^{12}$  Дж.

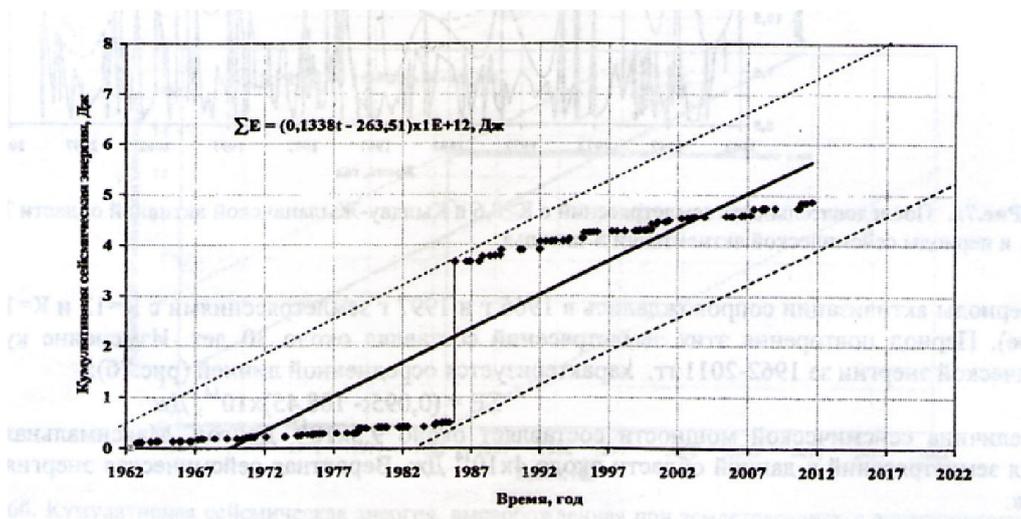


Рис. 8 б. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с энергетическими классами больше 8,6 в Карасуйской активной области зоны ТФР в полосе шириной 30 км с 1962 г по 2011 г.

В Узунакматской активной области с 1969 г по 1971 г проявился период сейсмической активизации, который сопровождался в 1971 г землетрясением с  $K=12,5$  (рис.9а).

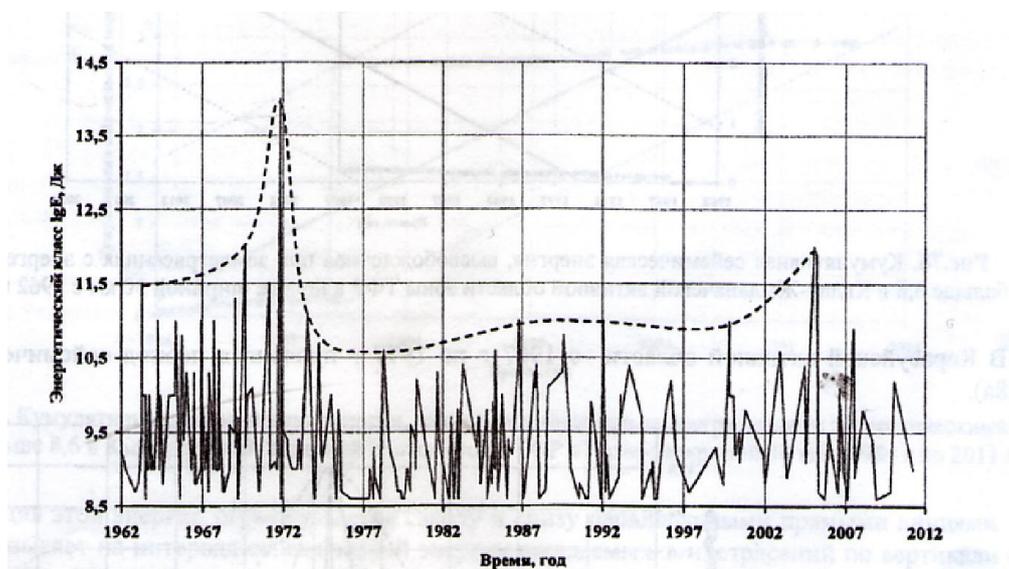


Рис. 9 а. Последовательность землетрясений с  $K \geq 8,6$  в Узунакматской активной области ТФР за 1962-2011 гг. и периоды сейсмической активизации и затишья.

В 1972 г наступил период сейсмического затишья и только в 2005 г наступил период сейсмической активизации и сопровождался землетрясением с  $K=11,9$ . Период повторения этих землетрясений составлял около 34 лет. Изменение кумулятивной сейсмической энергии за 1962-2011 гг. характеризуется осредненной линией (рис.9б):

$$\Sigma E = (0,2281t - 444,58) \times 10^{13}, \text{ Дж} \quad (13)$$

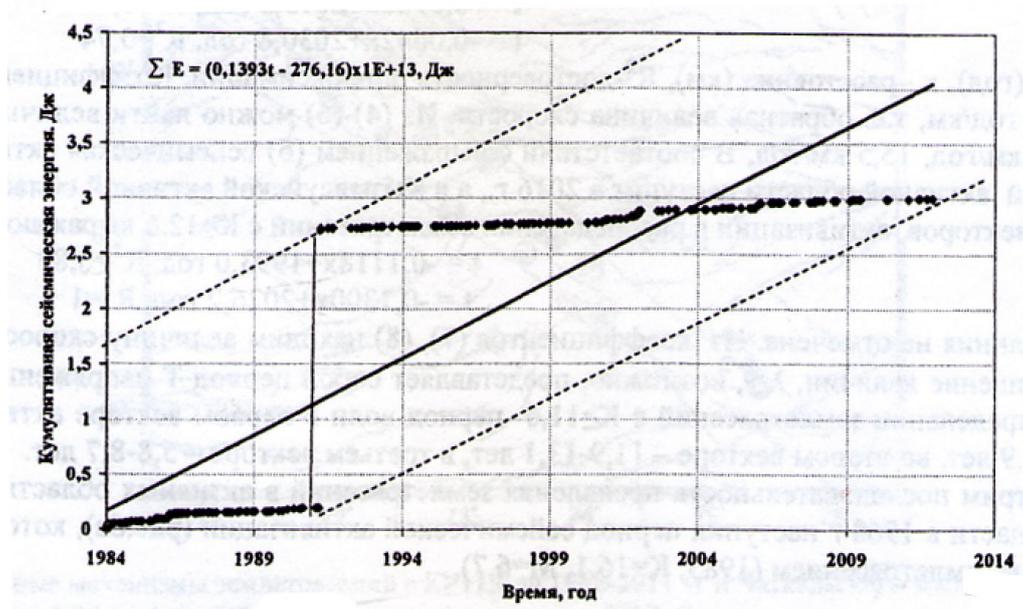


Рис. 9 б. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с энергетическими классами больше 8,6 в Узунакматской активной области зоны ТФР в полосе шириной 30 км с 1962 г по 2011 г

Величина сейсмической мощности составляет около  $2,2 \times 10^{12}$  Дж/год. Максимальная возможная энергия землетрясений в данной области около  $10^{14}$  Дж. Вероятная сейсмическая энергия в 2012 г до  $8 \times 10^{13}$  Дж.

В Пскем-Карабурунской активной области с 1966 г по 1970 г проявился период относительной сейсмической активизации и сопровождался в 1966 г землетрясением с  $K=11,6$  (рис.10а).

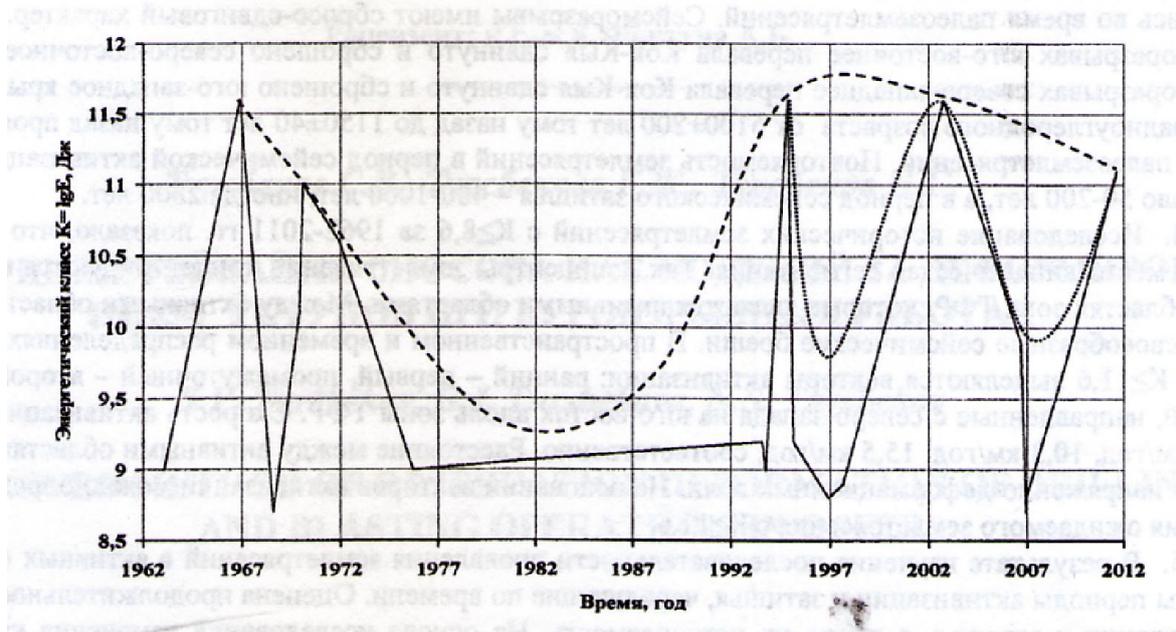


Рис.10 а. Последовательность землетрясений с  $K \geq 8,6$  в Пскем-Карабурунской активной области ТФР за 1962- 2011 гг. и периоды сейсмической активизации и затишья. Пунктирной линией выделены обобщенные периоды сейсмической активизации и затишья, точными линиями - локальные периоды сейсмической активизации и затишья

После по 1993 г наблюдался период сейсмического затишья. В 1994 г снова наступила слабая сейсмическая активизация и сопровождалась серией землетрясений с  $K=11,0-11,6$ , которые повторялись через 8-9 лет. Интервал времени между периодами активизации составлял около 28 лет. Изменение кумулятивной сейсмической энергии за 1962-2011 г характеризуется осредненной линией (рис.10б):

$$\Sigma E = (0,025t - 49,76) \times 10^{12}, \text{ Дж} \quad (14)$$

Величина сейсмической мощности составляет около  $2,5 \times 10^{10}$  Дж/год. Максимальная возможная энергия землетрясений в данной области около  $6 \times 10^{11}$  Дж. Вероятная сейсмическая энергия в 2012 г до  $9 \times 10^{10}$  Дж.

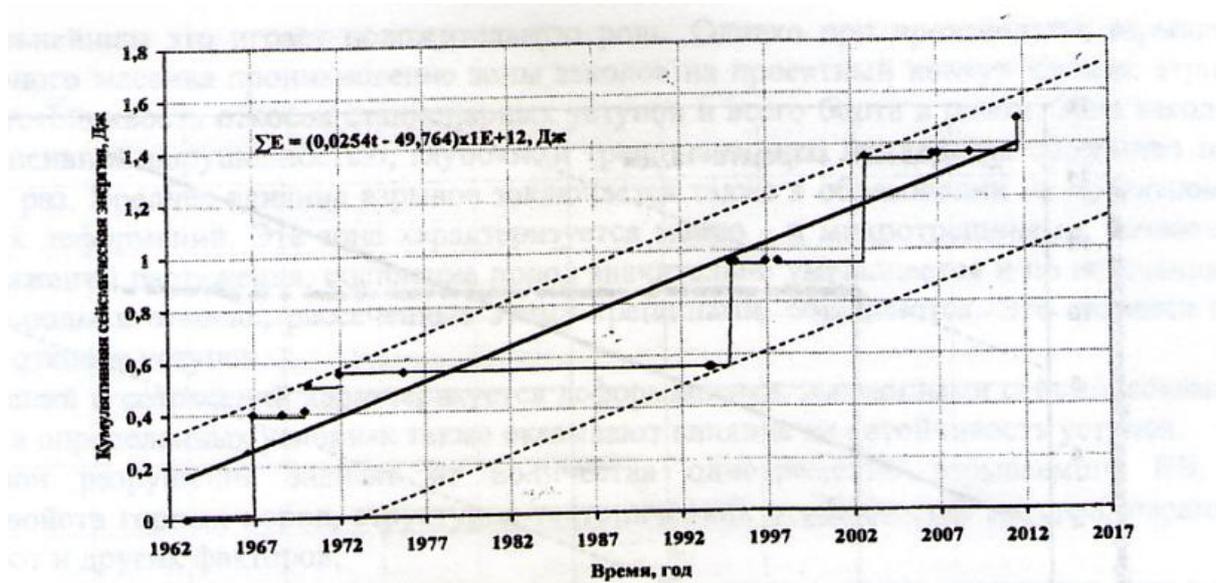


Рис. 10 б. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с энергетическими классами больше 8,6 в Пскем-Карабулакской активной области зоны ТФР в полосе шириной 30 км с 1962 г по 2011 г

### Заключение

1. Сегментация зоны ТФР происходит во взаимосвязи с разрывными и складчатыми новейшими структурами на её северо-восточном и юго-западном крыле. Процесс сегментации развивается сначала этапа внутриконтинентального горообразования Тянь-Шаня.

2. В результате выделения сегментов зоны ТФР определены их длина, вероятная величина их подвижки по разлому и протяженность разлома по падению. На основании этих данных оценена максимальная величина сейсмического момента, сброшенного напряжения и моментной магнитуды. Значение моментной магнитуды может достигать  $M_w=7,9$ .

3. В результате анализа имеющихся данных об активных разрывных структурах, погребенных слоях в скрытых шурфах и возрасте погребенных слоев установлено, что разрывы и погребенные слои образовались во время палеоземлетрясений. Сейсморазрывы имеют сбросо-сдвиговый характер. При этом в сейсморазрывах юго-восточнее перевала Кок-Кыя сдвинуто и сброшено северо-восточное крыло, а в сейсморазрывах северо-западнее перевала Кок-Кыя сдвинуто и сброшено юго-западное крыло. В интервале радиоуглеродного возраста от  $6100 \pm 200$  лет тому назад до  $1150 \pm 40$  лет тому назад проявились около 25 палеоземлетрясений. Повторяемость землетрясений в период сейсмической активизации составляет около 50-200 лет, а в период сейсмического затишья - 400-1000 лет, иногда 2800 лет.

4. Исследование исторических землетрясений с  $K \geq 8,6$  за 1962-2011 гг. показало, что в зоне ТФР имеет место динамическая сегментация. Так, эпицентры землетрясений концентрируются в определенных областях зона ТФР, которые являются активными областями. Между активными областями выделяются своеобразные сейсмические бреши. В пространственном и временном распределениях землетрясений с  $K \geq 11,6$  выделяются векторы активизации: ранний - первый, промежуточный - второй, поздний - третий, направленные с северо-запада на юго-восток вдоль зоны ТФР. Скорость активизации составляет 11,3 км/год, 10,3 км/год, 15,5 км/год, соответственно. Расстояние между активными областями выражает длину напряженно-деформационных волн. На основании векторов активизации можно определить место и время ожидаемого землетрясения с  $K \geq 11,6$ .

5. В результате изучения последовательности проявления землетрясений в активных областях выделены периоды активизации и затишья, чередующие по времени. Оценена продолжительность периодов активизации и затишья, а также их повторяемость. На основе исследования изменения кумулятивной сейсмической энергии получены эмпирические формулы - статистические закономерности, оценены величина сейсмической мощности в активных областях, интервалы энергии ожидаемых землетрясений и вероятная продолжительность сейсмического затишья.

Благодарность

В работе были использованы данные с каталога землетрясений Института сейсмологии НАН КР за 1962-2011 гг., полученные сейсмическими станциями и обработанные Центром Данных (ЦД) при институте. Авторы выражают благодарность всем сотрудникам станций и ЦД. Рисунки и таблицы были построены с помощью программ Generic Mapping Tool (GMT) [16] и Microsoft Office.

Литература:

1. Буртман В.С., Скобелев С.Ф., Сулержицкий Л.Д. Таласо-Ферганский разлом: современные смещения в Чаткальском районе Тянь-Шаня // ДАН СССР. — 1987,- Т.296. №5. - С.1173-1176.
2. Джанузакوف К.Д., Омуралиев М., Омуралиева А., Ильясов Б.И., Гребенникова В.В. Сильные землетрясения Тянь-Шаня. Бишкек: Илим, 2003.-216 с.
3. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир, 1985.-264 с.
4. Омуралиев М., Омуралиева А., Ачакеев Э. Атлас пиковых ускорений сильных землетрясений и законы затухания пиковых ускорений сейсмогенных зон. Бишкек, 2009. - 164 с.
5. Омуралиев М., Омуралиева А., Землянский А.А. Управляющие параметры проявления сильных землетрясений в зонах активных разломов Тянь-Шаня. // Сборник докладов 7-го Казахстанско-Китайского Международного Симпозиума. 2-4 июня, 2010г., Алматы. - 2010. - С. 161-165.
6. Трифонов В.Г., Макаров В.И., Скобелев С.Ф. Таласо-Ферганский правый сдвиг // Геотектоника. 1990. 5. - С 81-92.
7. Широкова Е.И. Детальное изучение напряжений и разрывов в очагах землетрясений Средней Азии /У Изв. АН СССР.-1974.-№11. - С.22-36.
8. Aki, K. Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 14, 1964. Part 2. Estimation of earthquake moment, released energy and stress-strain drop from G wave spectrum.// Bulletin of the Earthquake Research Institute - 1966. - v. 44. - pp. 73-88.
9. Burtman, V.S., S.F. Skobelev, P. Molnar. Late Cenozoic slip on the Talas-Fergana fault, the Tien Shan, central Asia.//Geol.Soc.Am.Bull. – 1996. – v. 108. – pp. 1004-1021.
10. Global CMT Catalog Search. <<http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>>
11. Kanamori, H. The energy release in great earthquakes. // Journal of Geophysical Research. -1977. – v. 82. – pp. 2981-2987.
12. Korjenkov A.M., D. Rust, A. Tibaldi and S.V. Abdieva Earthquake Research and Analysis – Seismology, Seismotectonic and Earthquake Geology, ISBN: 978-953-307-991-2. Parameters of the strong paleoearthquakes along the Talas-Fergana Fault, the Kyrgyz Tien Shan. DOI: 10.5772/27352.
13. Molnar, P., S. Seismic movements of major earthquakes and the rate of shortening across the Tien Shan.// Geophysical Research Letters. – 2000. – v.27(16). - pp. 2377-2380.
14. Omuraliev M., A. Omuralieva. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan, Kyrgyzstan, Central Asia. Bishkek, 2004. -166 p.
15. Trifonov V.G., V.I. Makarov, and S.F. Skobelev. The Talas-Fergana active right-lateral fault. // Annales Tectonicae. -1992. – v. 6, suppl. - pp. 224-237.
16. Wessel, P., and W. H. F. Smith. Free Software helps Map and Display Data. // EOS Trans. AGU. - 1991. - v. 72, 441. - pp. 445-446.
17. Zoback, M.D., S. Hickman, W. Ellsworth. Scientific drilling into the San Andreas Fault zone. // Eos Trans. AGU – 2010. – v. 91. - № 22. - pp. 197-199.

Рецензент: к.г.-м.н. Фортуна А.Б.