

УДК 550.34

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

ДИНАМИКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА СОЧЛЕНЕНИИ ОБЛАСТИ ГОРООБРАЗОВАНИЯ ТЯНЬ-ШАНЯ И КАЗАХСКОГО ЩИТА

Аннотация. В статье приводится динамика сейсмических процессов на сочленении области горообразования Тянь-Шаня и Казахского щита, обусловленной развитием зоны субдукции и передовой (краевой), срединной и дальней подзон в пределах активных структур Заилийского, Кунгейского и Терсейского поднятий.

Ключевые слова: щит, поддвигание и надвигание литосферы, землетрясение, область концентрации землетрясений, динамическая сегментация и секторизация активных структур, повторяемость землетрясений, последовательность проявления землетрясений, периоды сейсмической активизации и затишья, кумулятивная сейсмическая энергия, вектор сейсмической активизации.

ТЯНЬ-ШАНЬ ТОО ЖАРАЛУУ ОБЛАСТЫНЫН ЖАНА КАЗАК КАЛКАНЧЫНЫН КОШУЛГАН ЖЕРИНДЕГИ СЕЙСМИКАЛЫК ПРОЦЕССТЕРДИН ДИНАМИКАСЫ

Кыскача мазмуну. Макалада Тянь-Шань тоо жаралуу областынын жана Казак Калканчынын кошулган жериндеги сейсмикалык процесстердин динамикасы келтирилет. Ал субдукция зонасынын жана Заили, Күңгөй, Тескей тоо кыркаларындагы активдүү түзүмдөрдүн чегинде алдыңкы (четки), ортоңку жана алыскы майда зоналарынын өнүгүүсү менен шартталган.

Негизги сөздөр: калканч, литосферанын астына жана үстүнө жылышуусу, жер титирөө, жер титирөөлөрдүн топтолгон тармагы, активдүү түзүмдөрдүн динамикалык сегментациясы жана секторизациясы, жер титирөөлөрдүн кайталанышы, жер титирөөлөрдүн болушунун ырааттуулугу, сейсмикалык активдешүү жана басаңдоо мезгилдери, топтолгон (кошулмаланган) сейсмикалык энергия, сейсмикалык активдештирүүнүн вектору.

DYNAMICS OF SEISMIC PROCESSES AT THE JUNCTION OF THE TIEN SHAN AND THE KAZAKH SHIELD

Abstract. Dynamics of seismic processes at the junction of the Tien Shan and the Kazakh Shield is presented in the paper. This is conditioned by development of the subduction zone and frontal (marginal), middle and remote subzones within the active structures of the Zaili, Kungei, and Terskei mountain ranges.

Keywords: shield, lithosphere's subduction (underthrust) and overthrust, earthquake, earthquake concentration area, dynamic segmentation and sectorization of active structures, earthquakes' recurrence, sequence of earthquakes' manifestation, seismically active and calm periods, cumulative seismic energy, vector of seismic activation.

Введение. В зоне сочленения Тянь-Шаньского орогена (на юге) и Казахского щита (на севере) формируются (с севера на юг) Илийская впадина, Заилийское поднятие, Кеминская и Чиликская впадины, Кунгейское поднятие, Иссык-Кульская впадина и Терсейское поднятие (рис.1).

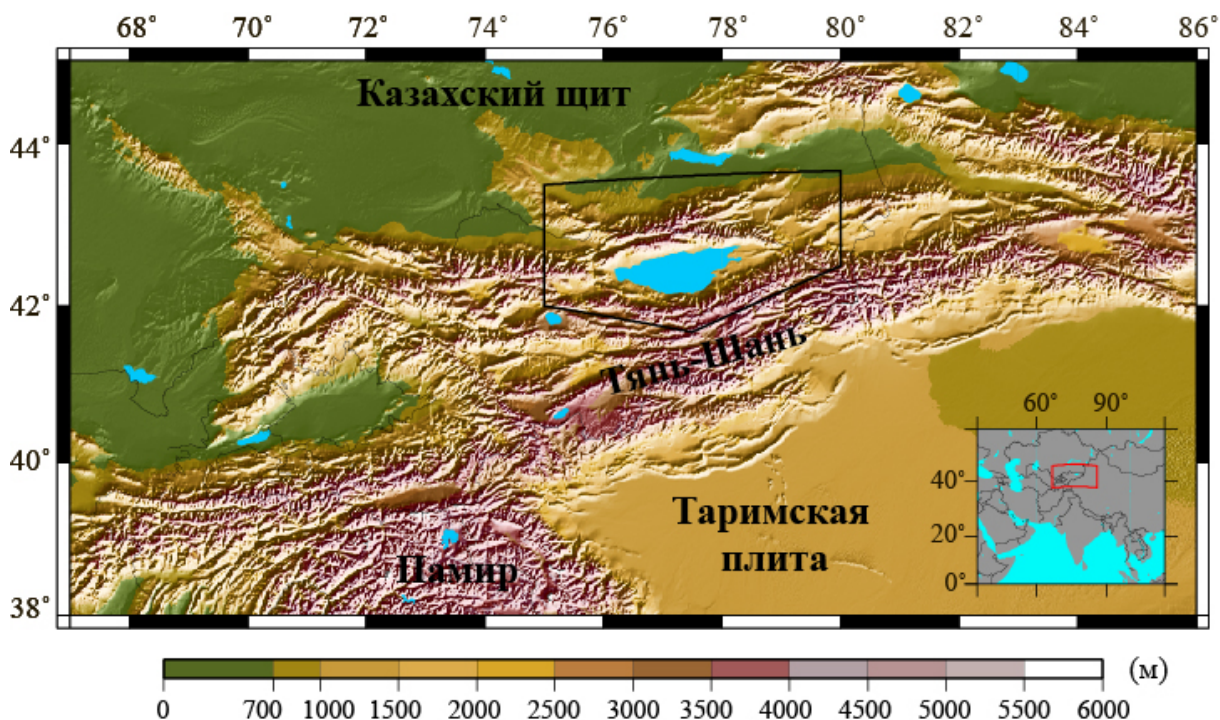


Рис.1. Схема расположения района изучения (чёрная рамка) – Заилийское, Кунгейское, Терсейское поднятия на сочленении Казахского щита и Тянь-Шаньского орогена. Вкладка в нижнем правом углу показывает географическое положение Тянь-Шаня, который оконтурен красной рамкой.

На основе изучения методом детальной сейсмической томографии Кыргызского Тянь-Шаня ([1], [2]) отмечено, что литосферная плита Казахского щита поддвигается под литосферу Тянь-Шаня на севере, а на юге литосферная плита Тарима поддвигается под литосферу Тянь-Шаня (рис.2). Под этими зонами имеются два потока низкоскоростных аномалий в мантии, которые внедряются в литосферу Тянь-Шаня. В этих геодинамических условиях проявляются землетрясения в рассматриваемом регионе.

В пределах зоны сочленения Тянь-Шаня и Казахского щита – северная зона субдукции, отмечаются краевая, срединная и дальняя подзоны. В краевой подзоне расположены активные структуры Илийской впадины и Заилийского поднятия; в срединной подзоне – активные структуры Кеминской и Чиликской впадин и Кунгейского поднятия; в дальней подзоне – активные структуры Иссыккульской впадины и Терсейского поднятия. Интересно отметить, что сильные сейсмособытия [3], такие, как: Верненское землетрясение (1887, $M=7.3$, $K=16.9$, $H=20$ км) произошло в земной коре в пределах Заилийского поднятия; Чиликское (1889, $M=8.3$, $K=18.5$, $H=40$ км) и Кеминское (1911, $M=8.2$, $K=17.8$, $H=25$ км) землетрясения – в нижних частях земной коры между Кунгейским и Заилийским поднятиями; Сарыкамьшское землетрясение (1970, $M=6.9$, $K=15.6$, $H=15$ км) – в земной коре Терсейского поднятия. Проявились и излияния кайнозойских базальтов на Торуайгырском, Тосорском и Учкудукском участках между Терсейским и Кунгейским поднятиями [4]. Внедрение

базальтов, возможно выражает низкоскоростные аномалии литосферы и мантии в нижних частях зоны субдукции.

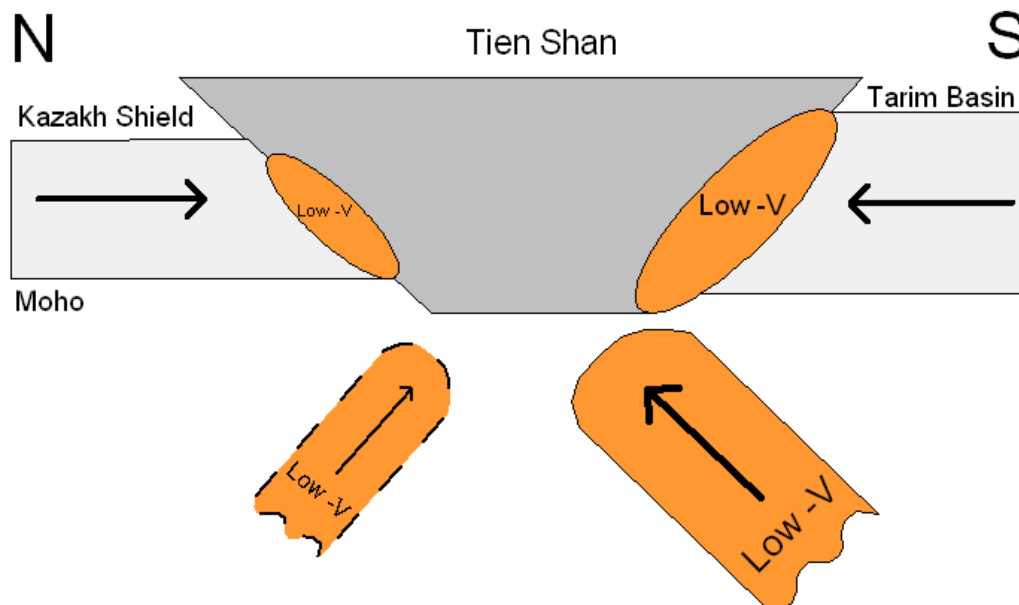


Рис.2. Модель поддвижения литосферы Казахского щита и Таримской плиты под Тянь-Шаньский ороген.

Геодинамические элементы северной зоны субдукции имеют частичную аналогию с элементами зоны субдукции океанической и континентальной литосферных плит. На рис.3 (а,б), в качестве примера [5], представлена зона субдукции на северо-востоке Японии между Тихокеанской и Евразийской литосферными плитами. Землетрясения здесь проявляются в пределах зоны субдукции и на её висячем крыле в литосфере континента (под островом). В ближней части висячего крыла формируется дугообразное поднятие преддуговой зоны – fore-arc zone (краевая подзона), далее отмечаются поднятия средней подзоны, задуговой зоны - back-arc zone (дальней подзоны) и между ними вулканический фронт (volcanic front or arc). Однако, следует отметить, что имеющиеся в настоящее время данные (особенно о глубинах) землетрясений Тянь-Шаня не позволяют трассировать зону субдукции гипоцентрами землетрясений.

На рис.4 приведено распределение в пространстве землетрясений с $K \geq 7.0$ в изучаемом регионе за период 1960-2015 гг. по данным Института сейсмологии НАН КР, а также сеть активных разломов, оцифрованных с карты-схемы новейших блоков Северного Тянь-Шаня, составленной Абдрахматовым К.Е. на основе данных Трофимова А.К.

Из рисунка 4 видно, что эпицентры землетрясений приурочены к активным структурам Заилийского, Кунгейского и Терскейского поднятий. В распределении землетрясений проявляются динамическая сегментация вдоль активных структур и динамическая секторизация поперек активных структур.

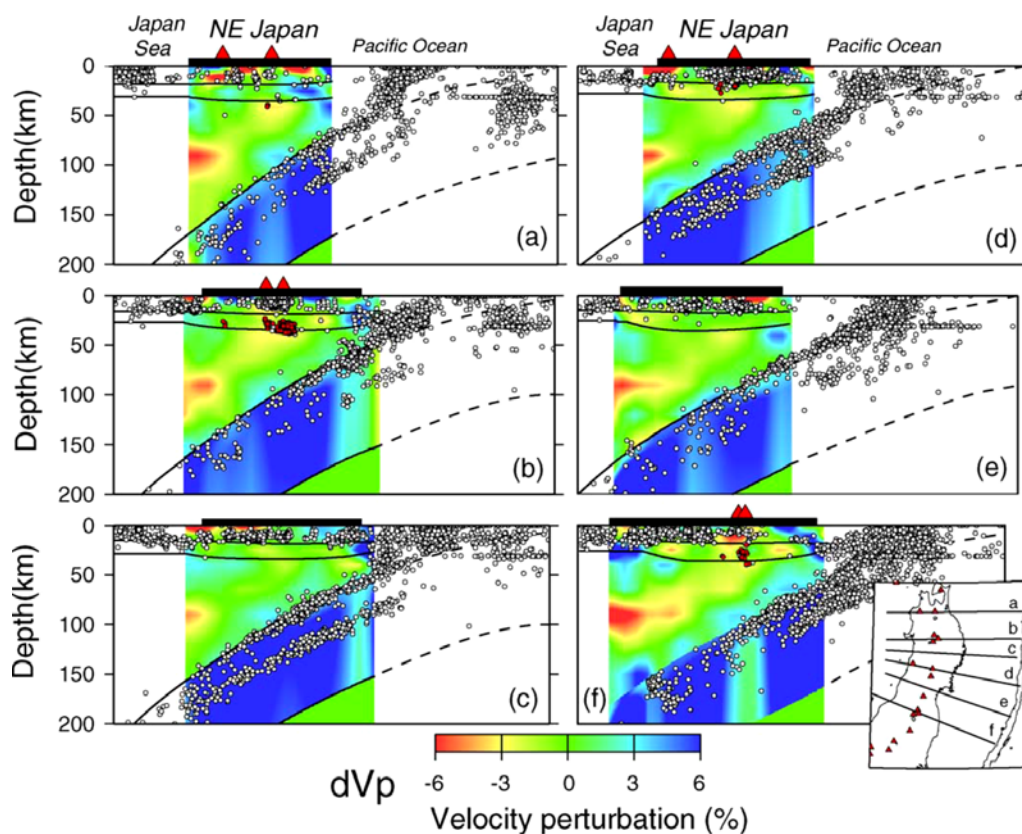


Рис. 3а. Вертикальные разрезы поперек дуги в северо-восточной Японии. Жирная чёрная линия и красные треугольники наверху означают сушу и активные вулканы, соответственно. Белые и красные кружки обозначают землетрясения и глубокие, низкочастотные микроземлетрясения, соответственно. Три чёрные изогнутые линии обозначают границы Конрада и Мохо и верхнюю границу погружающейся Тихоокеанской плиты. Пунктирная линия показывает нижнюю границу плиты [5].

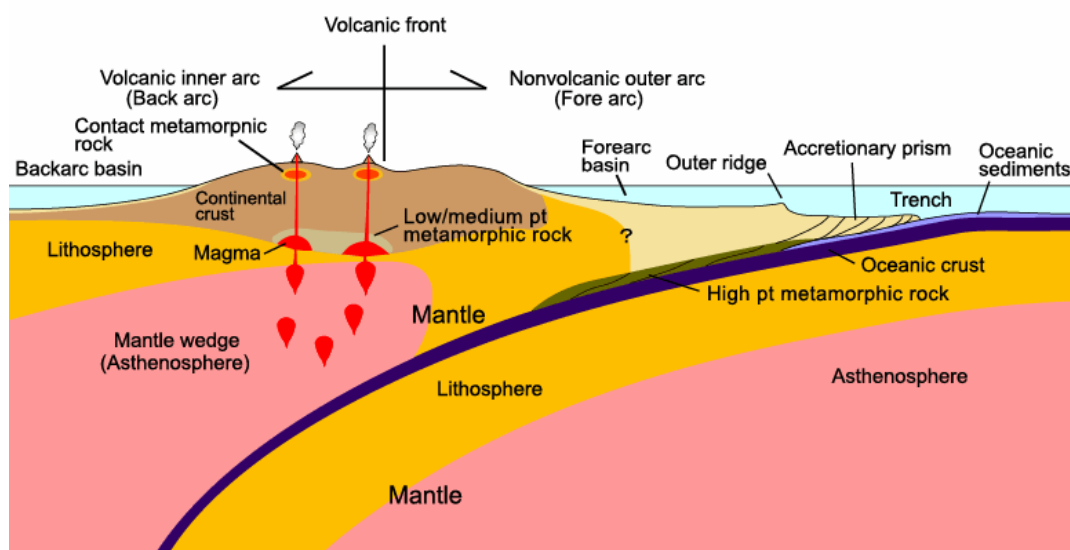


Рис. 3б. Обобщённая схема субдукционной зоны в районе островов Японии [6].

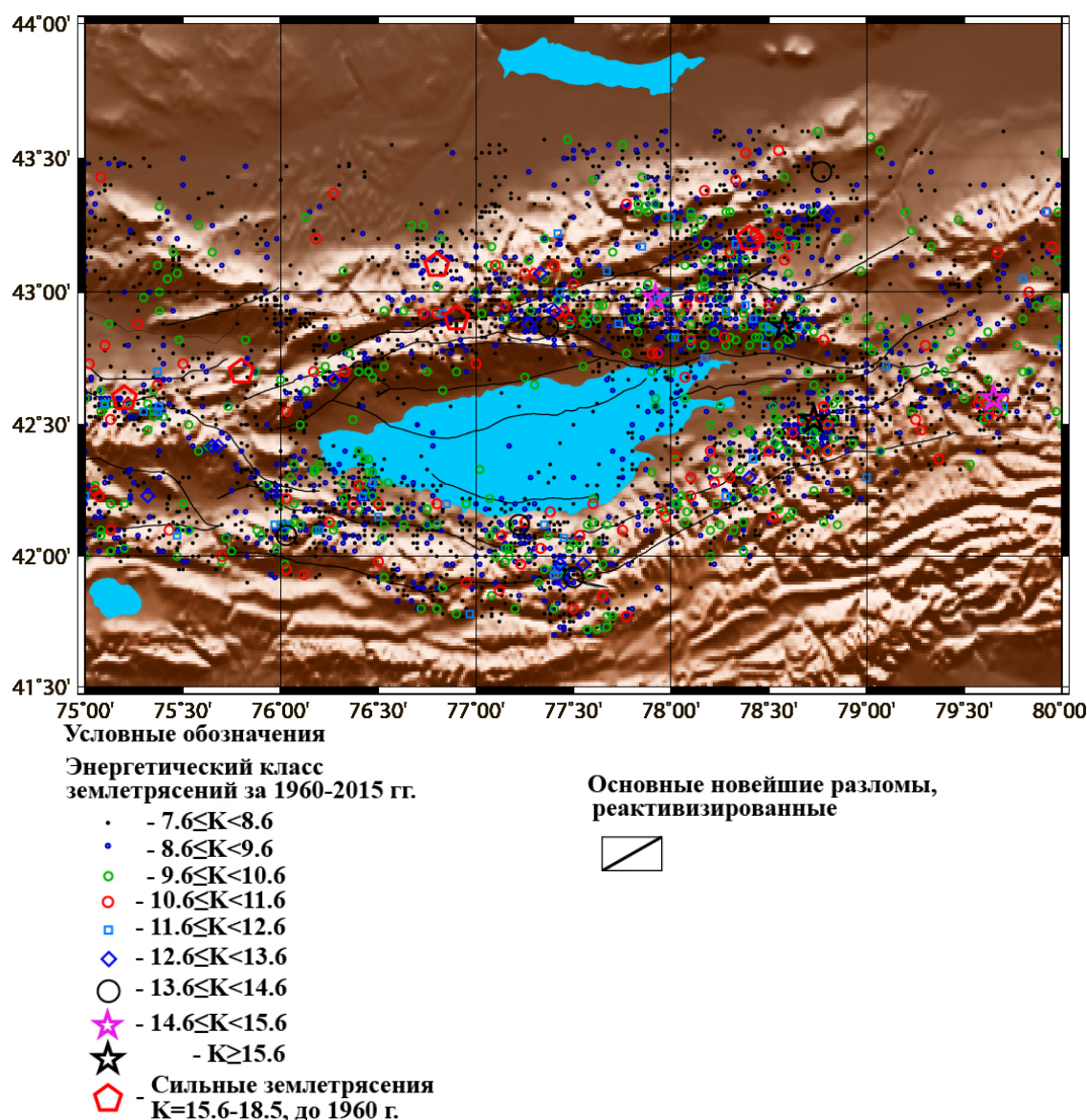


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений с $K \geq 7.0$ за период 1960-2015 гг. и сеть активных разломов (по данным Абдрахматова К.Е.) в изучаемом

Распределение плотности землетрясений с $K \geq 9.0$ на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита за период 1960-2015 гг. по данным Института сейсмологии НАН КР приведён на рис.5. При этом плотность определена в ячейках $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ (11.0×8.2 км). Величина плотности изменяется в пределах 0.001-0.36 землетрясений на 1 км^2 за 56 лет. Поле плотности землетрясений крайне неравномерное. Ячейки с относительно большой плотностью группируются в областях концентрации землетрясений. Области концентрации землетрясений проявлены в определённых сегментах и секторах активных структур. Им свойственны относительно частая повторяемость землетрясений и большая скорость высвобождения энергии. Краевая подзона (Зайлийское поднятие) характеризуется сравнительно малой плотностью, а срединная (Кунгейское поднятие) и дальняя (Терскее поднятие) подзоны – относительно большой плотностью землетрясений с $K \geq 9.0$.

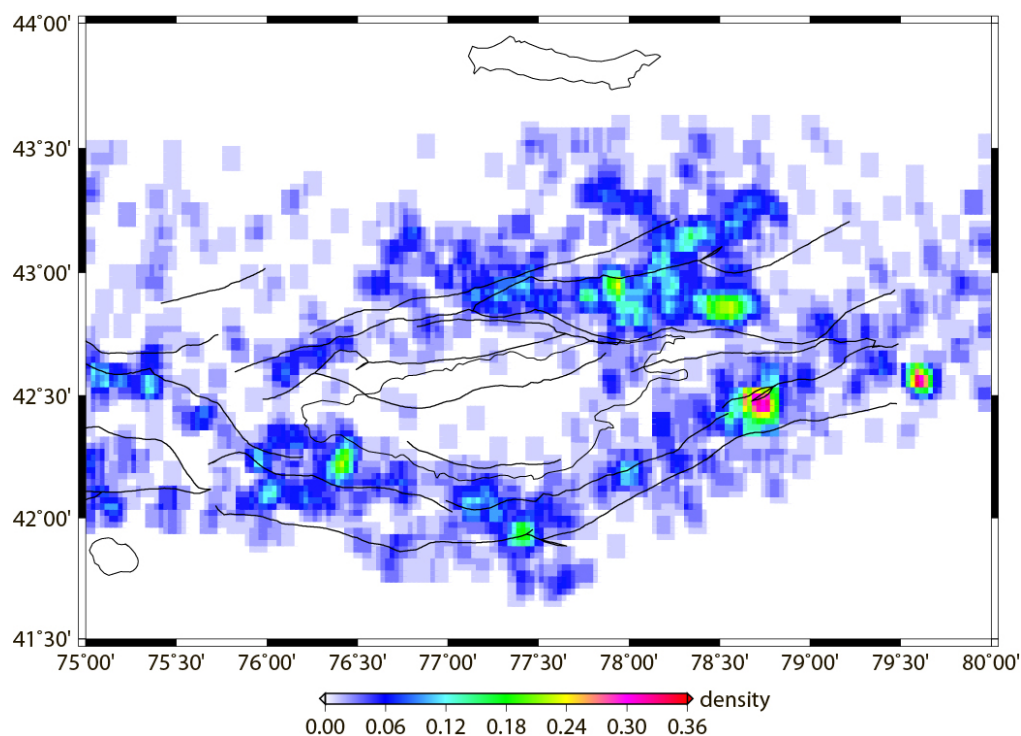
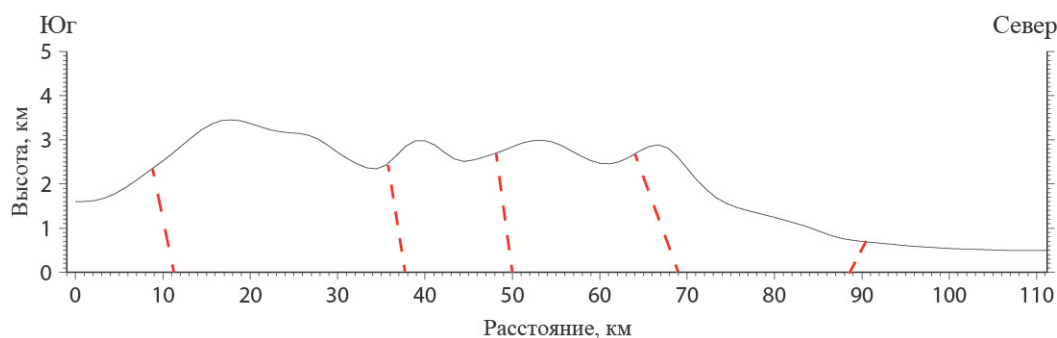


Рис. 5. Распределение плотности землетрясений с $K \geq 9.0$ на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита за период 1960-2015 гг. Цветная шкала плотности землетрясений показана внизу рисунка. Чёрными линиями обозначены активные разломы как на рис.4.

Динамическая секторизация активных структур Кунгейского и Зайлийского поднятий и пространственно- временное распределение землетрясений поперек структур

Основой исследований стал каталог землетрясений Института сейсмологии НАН КР. Рассмотрено пространственно-временное распределение землетрясений ([7], [8]) по поперечным профилям (по полосам шириной +15 км и -15 км) вдоль меридианов между широтами $\varphi=42.5^\circ-43.5^\circ$. Динамическая секторизация выражены сейсмическими «дорожками». По меридиану $\lambda=78.0^\circ$ сейсмические «дорожки» проявились в большей мере между Аксуйским и Чиликским разломами, в меньшей мере на крыльях Предсарытауского и Предкарачского разломов (рис.6). Следует отметить, что в 1979-1989 гг. землетрясения распределялись беспорядочно, т.е. сейсмические «дорожки» как бы разрушались. С 1990 г., после Байсорунского землетрясения ($K=15,3$), снова отмечались сейсмические «дорожки».



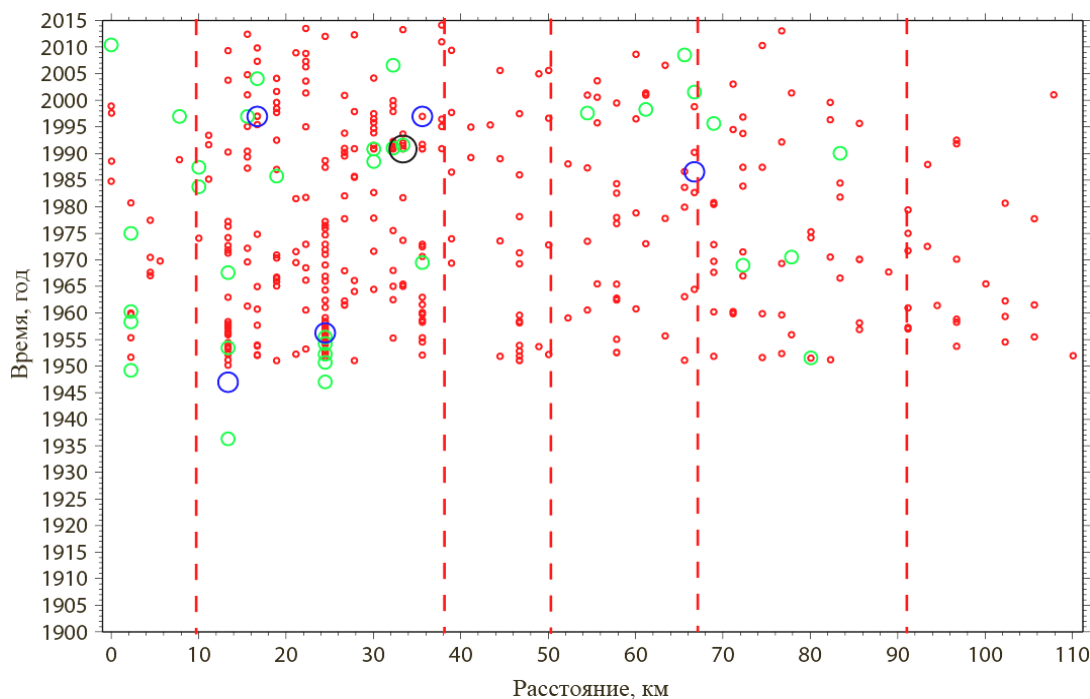


Рис.6. Пространственно - временное распределение землетрясений по поперечному профилю активных структур Кунгейского и Заилийского поднятий вдоль меридиана $\lambda=78.0^{\circ}$ (Байсорунского землетрясения 1990 г.). Пунктирными красными линиями обозначены активные разломы (с юга на север): Аксуйский, Чиликский, Предсарытауский, Предкарачский, Предзаилийский. Землетрясения с $K=8-9$ обозначены кружочками красного цвета, $K=10.0-11.0$ - кружочками зелёного цвета, $K=12.0-13.0$ – кружочками синего цвета, $K \geq 14.0$ – кружочками чёрного цвета.

По меридиану $\lambda=78.6^{\circ}$ сейсмические «дорожки» проявились на крыльях Чиликского и Предсарытауского разломов. На северном крыле Аксуйского разлома сейсмические «дорожки» отмечались после Жаланаш-Тюпского землетрясения (1978, $K=15.6$). Расстояние между «дорожками» составляло около 3 км и 11 км.

Следовательно, в результате изучения пространственно-временного распределения землетрясений поперек активных структур Заилийского, Кунгейского поднятий и сопряженных частей Илийской, Кеминской, Чиликской, Иссык-Кульской впадин на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита установлены сейсмические «дорожки». Они выражают процессы динамической секторизации дискретной геофизической среды. Отмечено, что перед землетрясениями, как Жаланаш-Тюпское (1978, $K=15.6$), Байсорунское (1990, $K=15.3$), проявления сейсмических дорожек прерывались.

Сравнительный анализ повторяемости землетрясений активных структур Заилийского, Кунгейского и Терской поднятий – краевой, срединной и дальней подзон

На рисунках 7-9 представлены графики повторяемости землетрясений $K=8.0-14.0$ за 1960-2015 гг. в пределах активных структур Заилийского, Кунгейского и Терской поднятий по закону Гутенберга-Рихтера [9].

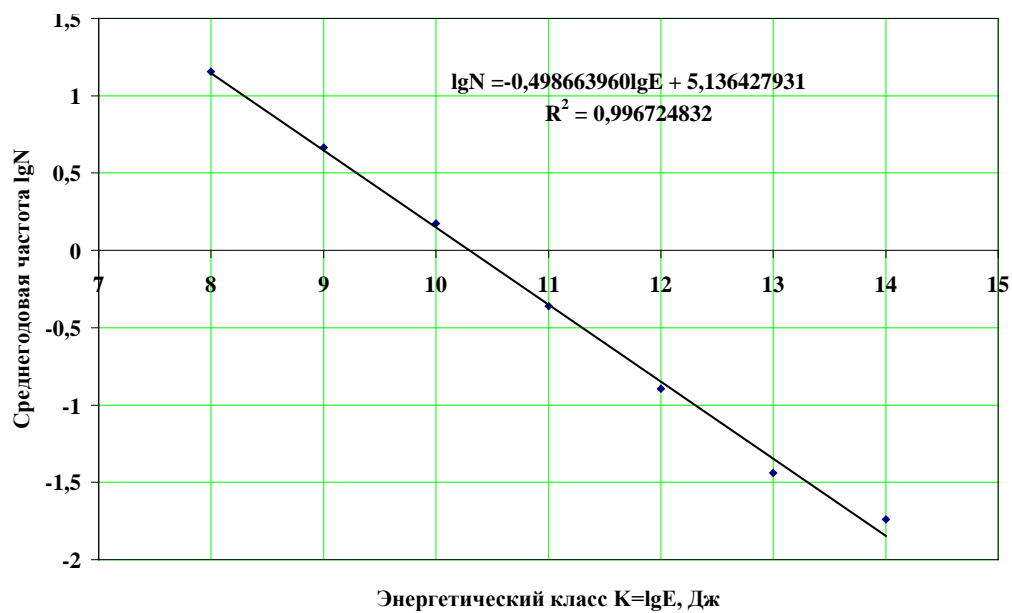


Рис. 7. График повторяемости землетрясений $K=8.0-14.0$ в пределах краевой подзоны (Илийской впадины и Заилийского поднятия) на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита за 1960-2015 гг.

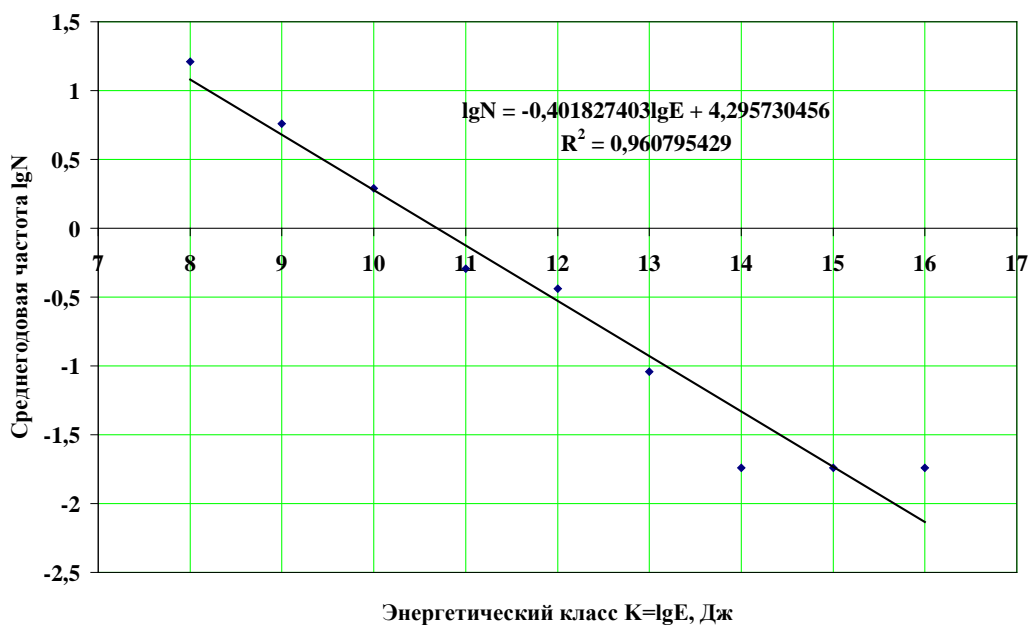


Рис. 8. График повторяемости землетрясений $K=8.0-16.0$ в пределах срединной подзоны (Кунгейского поднятия) на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита за 1960-2015 гг.

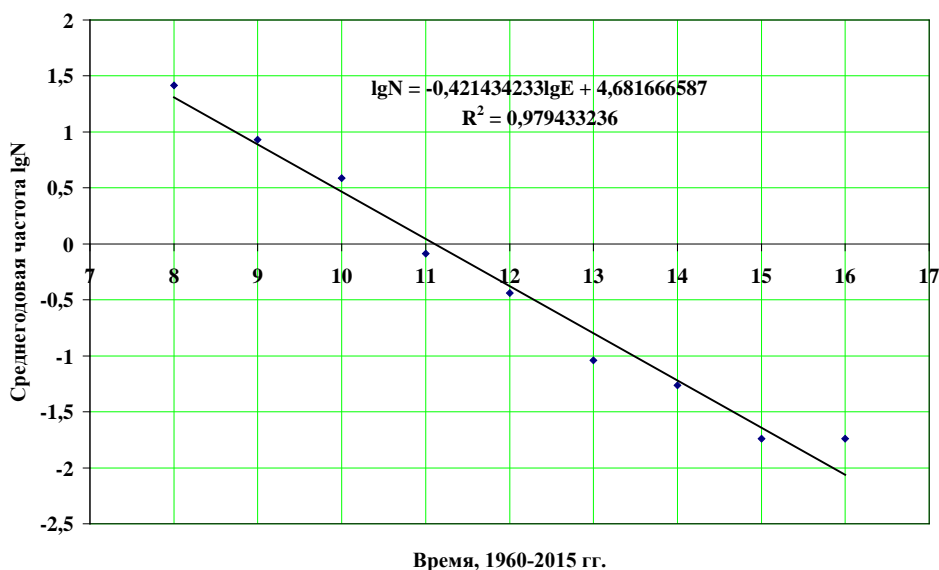


Рис. 9. График повторяемости землетрясений $K=8.0-16.0$ в пределах дальней подзоны (Терской поднятия) на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита за 1960-2015 гг.

В табл. 1 приведены эмпирические формулы повторяемости землетрясений в пределах активных структур Заилийского, Кунгейского, Терской поднятий и впадин Илийской, Кеминской, Чиликской, Иссык-Кульской, сформированных в краевой, срединной и дальней подзонах на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита.

Таблица 1

Название подзоны	Эмпирические формулы повторяемости землетрясений	Достоверность аппроксимации, R^2
Краевая – Илийская впадина, Заилийское поднятие	$\lg N = -0.498663960 \lg E + 5.136427931$	$R^2 = 0.9967$
Срединная – Кеминская, Чиликская впадины, Кунгейское поднятие	$\lg N = -0.401827403 \lg E + 4.295730456$	$R^2 = 0.9608$
Дальняя – Иссык-Кульская впадина, Терской поднятие	$\lg N = -0.421434233 \lg E + 4.681666587$	$R^2 = 0.9794$

Примечание: N- средняя годовая частота землетрясений, E- сейсмическая энергия, R^2 - достоверность аппроксимации.

Из эмпирических формул повторяемости землетрясений в табл. 1. видно, что коэффициент графика повторяемости в пределах краевой подзоны (Илийской впадины, Заилийского поднятия) относительно большой (0.498), в пределах срединной подзоны (Кеминской, Чиликской впадины, Кунгейского поднятия) – сравнительно низкий (0.401), а в пределах дальней подзоны (Иссык-Кульской впадины, Терской поднятия) – промежуточный (0.421).

Последовательность проявления землетрясений в зоне сопряжения Тянь-Шаня и Казахского щита

Последовательность проявления землетрясений с $K \geq 8.0$ в зоне сопряжения Тянь-Шаня и Казахского щита приведена на рис.10 [10]. После землетрясения с $K=12.8$ в 1960 г. наступил период сейсмической активизации. В 1970 г. и 1978 г. произошли Сарыкамьшское и Жаланаш-Тюпское землетрясения $K=15.6$. В дальнейшем отмечался спад активизации и в 1990 г. и 1996 г. произошли землетрясения $K=15.0$ (Байсорунское) и $K=13.2$. В дальнейшем наступил период затишья. С 2006 г. снова наступил период сейсмической активизации и произошло Кочкорское землетрясение, $K=14.2$, а в 2013 г. проявилось Каркыра-Сарыджазское землетрясение, $K=15.0$.

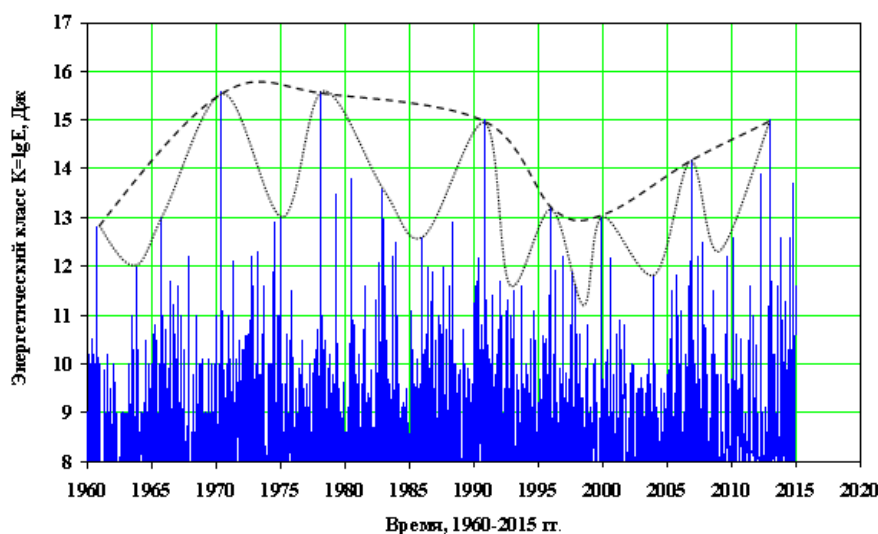


Рис.10. Последовательность проявления землетрясений с $K \geq 8.0$ в зоне сопряжения Тянь-Шаня и Казахского щита за 1960-2015 гг.. Сейсмическая активизация и затишье первого порядка обозначены пунктирной линией, сейсмическая активизация и затишье второго порядка - точечной линией.

Последовательность проявления землетрясений с $K \geq 8.0$ в пределах активных структур Илийской впадины и Заилийского поднятия приведена на рис.11. В 1967 г. наступил период сейсмической активизации. Проявилось землетрясение $K=12.2$. Сейсмическая активизация в 1975 г. достигла своего максимума, произошло землетрясение с $K=13.0$. После отмечался спад активизации и в 1986 г. проявилось землетрясение с $K=12.6$. В дальнейшем наступил период затишья. В 2012 г. снова наступил период активизации и произошло землетрясение с $K=13.9$.

Последовательность проявления землетрясений с $K \geq 8.0$ в пределах активных структур Кеминской, Чиликской впадин и Кунгейского поднятия приведена на рис.12. В 1972 г. наступил период сейсмической активизации. Проявилось землетрясение с $K=12.2$. Сейсмическая активизация достигла своего пика в 1978 г., когда произошло Жаланаш-Тюпское землетрясение с $K=15.6$. После отмечался спад активизации и в 1990 г. проявилось землетрясение с $K=15.0$ (Байсорунское), а в 1999 г. – землетрясение с $K=13.0$. В дальнейшем наступил период затишья.

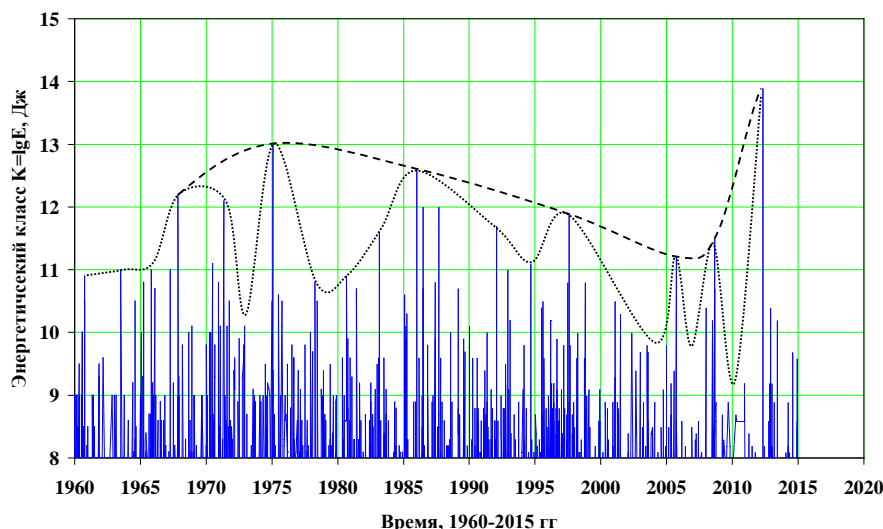


Рис.11. Последовательность проявления землетрясений с $K \geq 8.0$ в пределах активных структур Илийской впадины и Заилийского поднятия на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита за 1960-2015 гг. Сейсмическая активизация и затишье первого порядка обозначены пунктирной линией, сейсмическая активизация и затишье второго порядка - точечной линией.

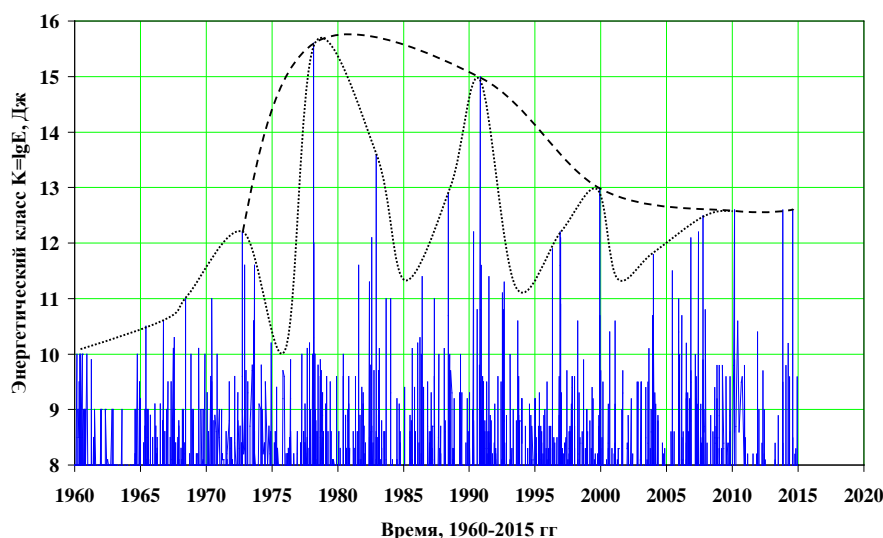


Рис.12. Последовательность проявления землетрясений с $K \geq 8.0$ в пределах активных структур Кеминской, Чиликской впадин и Кунгейского поднятия на сопряжении Тянь-Шаня и Казахского щита за 1960-2015 гг. Сейсмическая активизация и затишье первого порядка обозначены пунктирной линией, сейсмическая активизация и затишье второго порядка - точечной линией.

Последовательность проявления землетрясений с $K \geq 8.0$ в активных структурах Иссык-Кульской впадины и Терской поднятия приведена на рис.13. В 1960 г. наступил период сейсмической активизации. Проявилось землетрясение с $K=12.8$. Сейсмическая активизация достигла своего пика в 1970 г., произошло Сарыкамьшское землетрясение с $K=15.6$. После отмечался спад активизации и в 1980 г. проявилось землетрясение с $K=13.8$. В дальнейшем наступил период затишья. В 2006 г. снова наступил период сейсмической активизации и произошло Кочкорское землетрясение с

$K=14.2$, а в 2013 г. проявилось Каркыра-Сарыджазское землетрясение с $K=13.0$. При этом продолжительность сейсмического цикла (между началами периодов активизации в 1960 г. и 2006 г.) составила около 46 лет.

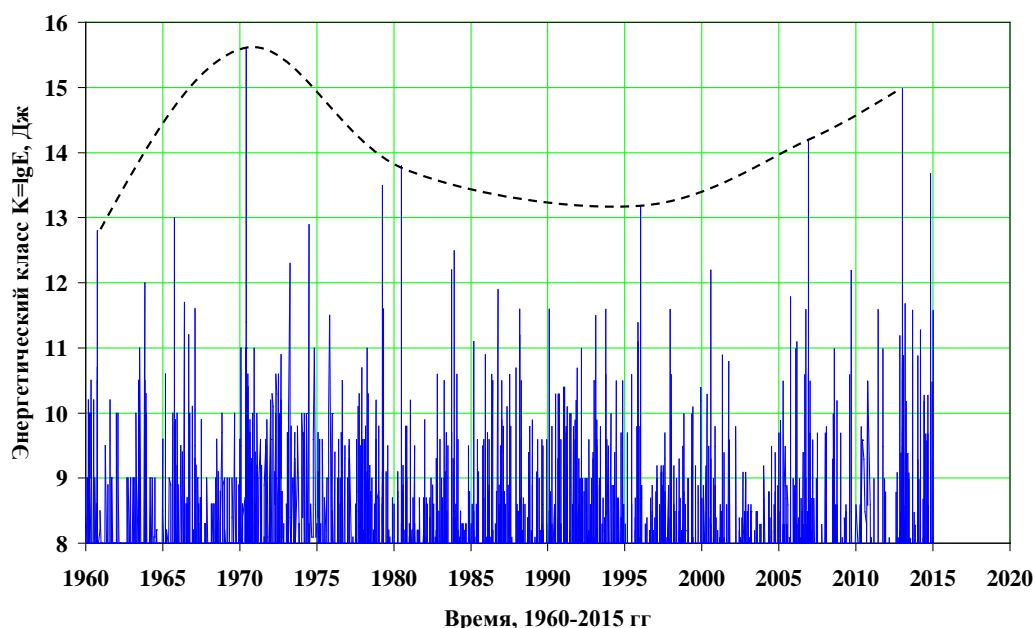


Рис.13. Последовательность проявления землетрясений с $K \geq 8.0$ в пределах активных структур Исык-Кульской впадины и Терской поднятия на сопряжении Тянь-Шаня и Казахского щита за 1960-2015 гг. Сейсмическая активизация и затишье первого порядка обозначены пунктирной линией, сейсмическая активизация и затишье второго порядка — точечной линией

Сравнительный анализ изменения кумулятивной сейсмической энергии в пределах активных структур Заилийского, Кунгейского, Терской поднятий — краевой, срединной и дальней подзон

Графики кумулятивной сейсмической энергии, высвобожденной при землетрясениях с $K \geq 8.0$ в пределах активных структур Заилийского, Кунгейского, Терской поднятий на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита за 1960-2015 гг. представлены на рисунках 14-16. На рис.14 видно, что землетрясения краевой подзоны до 2012 года произошли в условиях статического напряжения трения, так как график энергии находился вблизи нижней границы флуктуации, а с 2012 г. — в условиях динамического напряжения трения, поскольку график энергии находился вблизи верхней границы флуктуации [10]. На рис.15 видно, что землетрясения срединной подзоны до 1978 года произошли в условиях статического напряжения трения, а с 1978 г. — в условиях динамического напряжения трения [10].

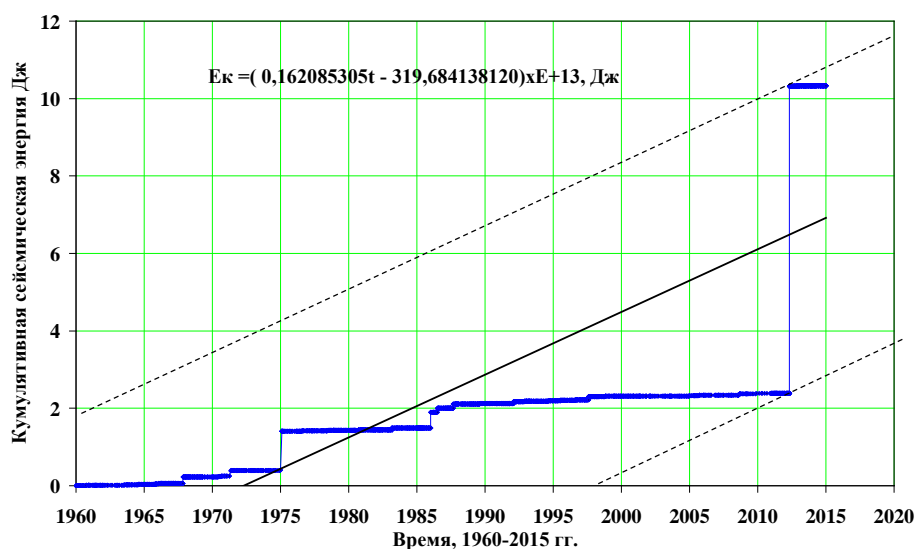


Рис. 14. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с $K \geq 8.0$ в пределах активных структур краевой подзоны - Заилийского поднятия, на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита за 1960-2015 гг.

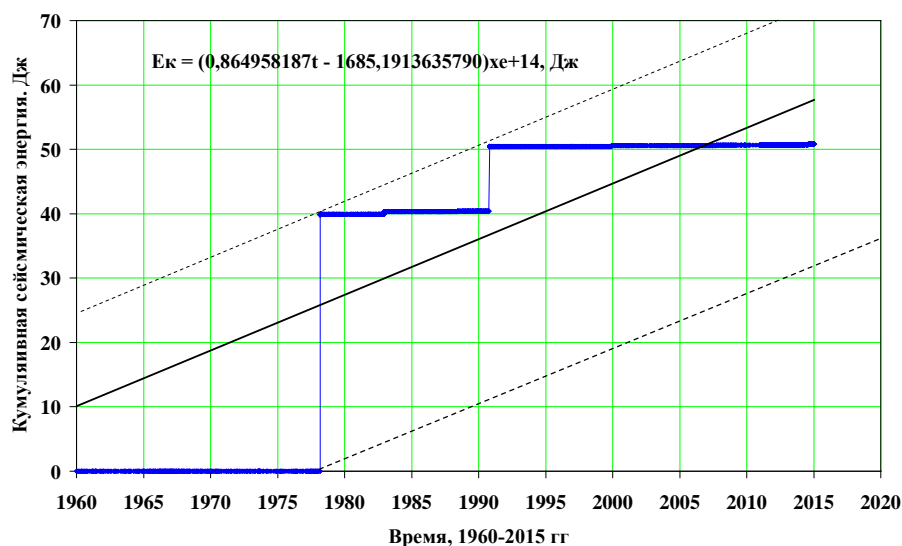


Рис. 15. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с $K \geq 8.0$ в пределах активных структур срединной подзоны - Кунгейского поднятия, за 1960-2015 гг.

На рис.16 видно, что землетрясения дальней подзоны до 1970 года произошли в условиях статического напряжения трения, а с 1970 г. – в условиях динамического напряжения трения. Соответственно, можно предположить, что динамическое напряжение трения мигрировало от дальней подзоны к средней подзоне, а после в краевую подзону.

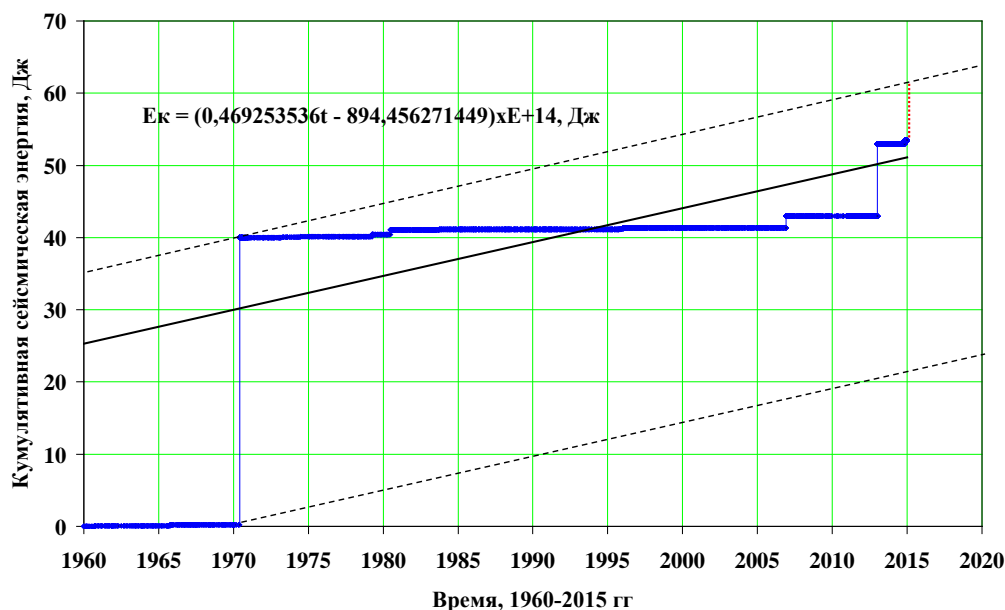


Рис. 16. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с $K \geq 8.0$ в пределах активной структуры дальней подзоны - Терской поднятия, за 1960-2015 гг.

В табл. 2 приведены эмпирические формулы высвобождения кумулятивной сейсмической энергии в пределах зоны сочленения Тянь-Шаня и Казахского щита - активных структур Заилийского, Кунгейского, Терской поднятий, сформированных в краевой, срединной и дальней подзонах

Таблица 2

Название подзоны	Эмпирические формулы высвобождения кумулятивной сейсмической энергии
Краевая – Илийская впадина, Заилийское поднятие	$E_k = (0.162085305t - 319.684138120) * 10^{13}, \text{ Дж}$
Срединная – Кеминская, Чиликская впадины, Кунгейское поднятие	$E_k = (0.864958187t - 1685.191363790) * 10^{14}, \text{ Дж}$
Дальняя – Иссык-Кульская впадина, Терской поднятие	$E_k = (0.469253536t - 894.456271449) * 10^{14}, \text{ Дж}$

Примечание: E_k - кумулятивная сейсмическая энергия, t - время

Из табл. 2. видно, что скорость высвобождения сейсмической энергии в пределах срединной подзоны (Кунгейское поднятие) относительно большая - $0.864958187 \times 10^{14}$ Дж/год, в пределах краевой подзоны (Заилийское поднятие) сравнительно низкая - $0.162085305 \times 10^{13}$ Дж/год, а в пределах дальней подзоны (Терской поднятие) промежуточная - $0.469253536 \times 10^{14}$ Дж/год.

Векторы сейсмической активизации Заилийского, Кунгейского, Терскойкой поднятий и сопряжённых частей Илийской, Кеминской, Чиликской, Иссык-Кульской впадин на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита

Для оценки вектора сейсмической активизации [8] рассмотрим распределение землетрясений вдоль и поперек активных структур (в квадрате $\varphi=41.84^{\circ}-43.70^{\circ}$, $\lambda=75^{\circ}-80^{\circ}$) во времени за 1960-2015 гг. по данным Института сейсмологии НАН КР ([11], [12]).

В распределении землетрясений во времени вдоль (по долготе) активных структур на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита отмечаются векторы сейсмической активизации (рис.17). Векторы активизации направлены с запада на восток и с востока на запад навстречу друг другу в пределах полосы $\lambda=77.3^{\circ}-78.7^{\circ}$, представляющей область концентрации значительных землетрясений. Кажущаяся скорость сейсмической активизации векторов, направленных с востока составляет около 12-16 км/год, а векторов, направленных с запада – около 8 км/год.

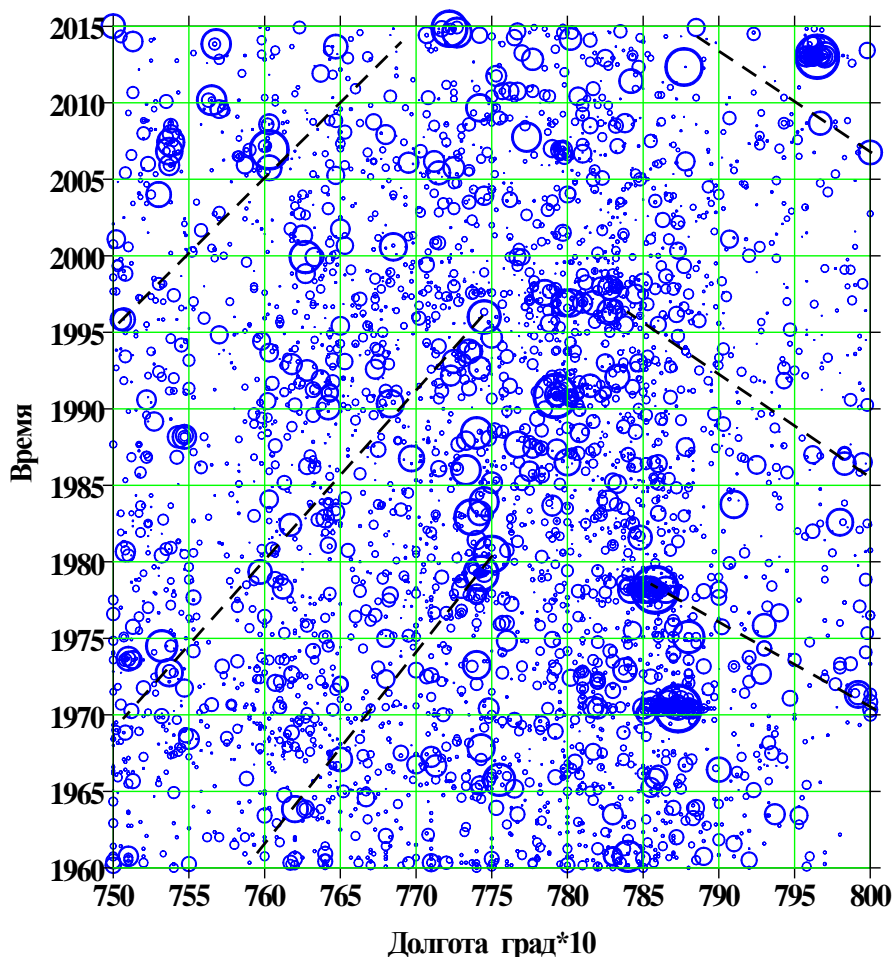


Рис. 17. Распределение землетрясений вдоль (с запада 75° на восток 80°) зоны сочленения Тянь-Шаня и Казахского щита во времени за 1960-2015 гг.

На рис.18 показано распределение землетрясений вдоль поднятий: Заилийского, Кунгейского и сопряжённых частей впадин: Илийской, Кеминской, Чиликской, Иссык-Кульской на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита во времени за 1960-2015 гг. Выделяются векторы сейсмической активизации. Векторы активизации направлены с запада на восток и с востока на запад навстречу в пределах полосы $\lambda=77.2^{\circ}-78.7^{\circ}$.

Кажущаяся скорость сейсмической активизации векторов, направленных с востока составляет около 13.5 км/год, а векторов, направленных с запада – около 8.2 км/год.

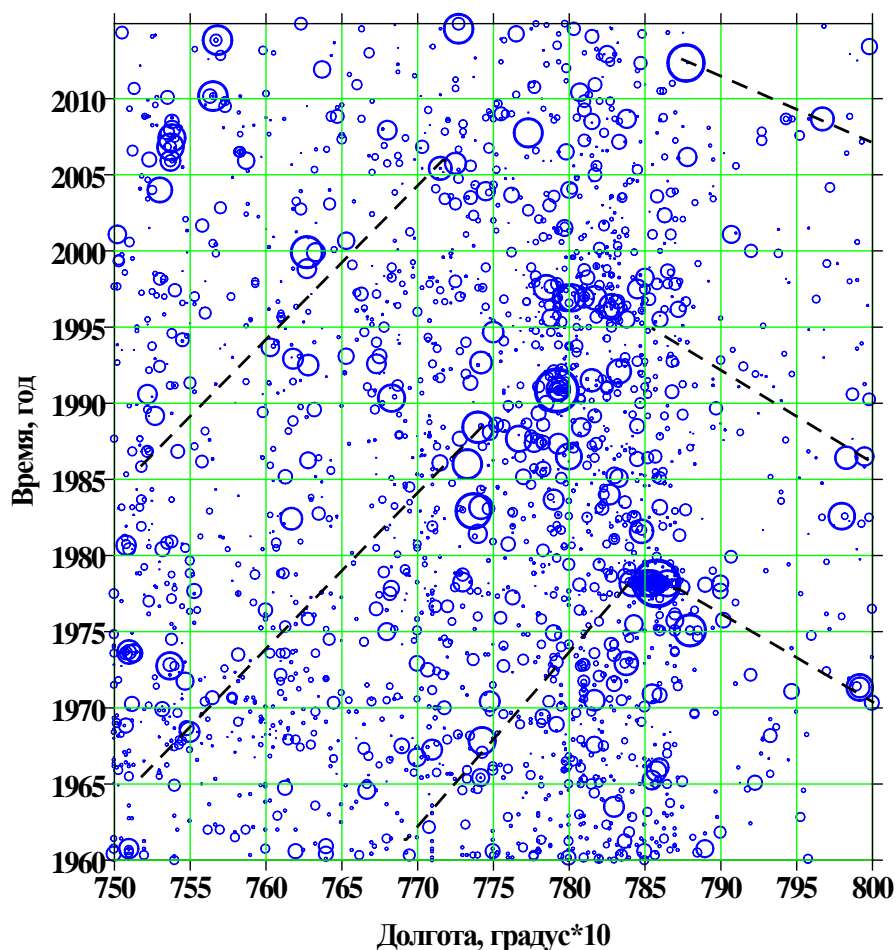


Рис. 18. Распределение землетрясений вдоль (с запада 75° на восток 80°) поднятий: Заилийского, Кунгейского и сопряженных частей впадин: Илийской, Кеминской, Чиликской, Иссык-Кульской на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита во времени за 1960-2015 гг.

Распределение землетрясений поперек поднятий: Заилийского, Кунгейского и сопряженных частей впадин: Илийской, Кеминской, Чиликской, Иссык-Кульской на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита во времени за 1960-2015 гг. показало, что векторы активизации направлены с севера на юг. Кажущаяся скорость сейсмической активизации векторов составляет около 1.0 км/год.

В распределении землетрясений во времени вдоль (по долготе) активных структур Заилийского поднятия в северной (передовой) части сочленения Тянь-Шаня и Казахского щита отмечаются векторы сейсмической активизации (рис. 19). Векторы активизации направлены с запада на восток и с востока на запад навстречу друг другу в пределах полосы $\lambda=77.5^\circ-78.5^\circ$. Кажущаяся скорость сейсмической активизации векторов, направленных с востока составляет около 13 км/год, а векторов, направленных с запада – около 11 км/год.

Распределение землетрясений поперек активных структур Заилийского поднятия и сопряженных частей впадин: Илийской, Кеминской, Чиликской на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита во времени за 1960-2015 гг. показало, что векторы активизации, направлены с севера на юг и их кажущаяся скорость около 1.1 км/год.

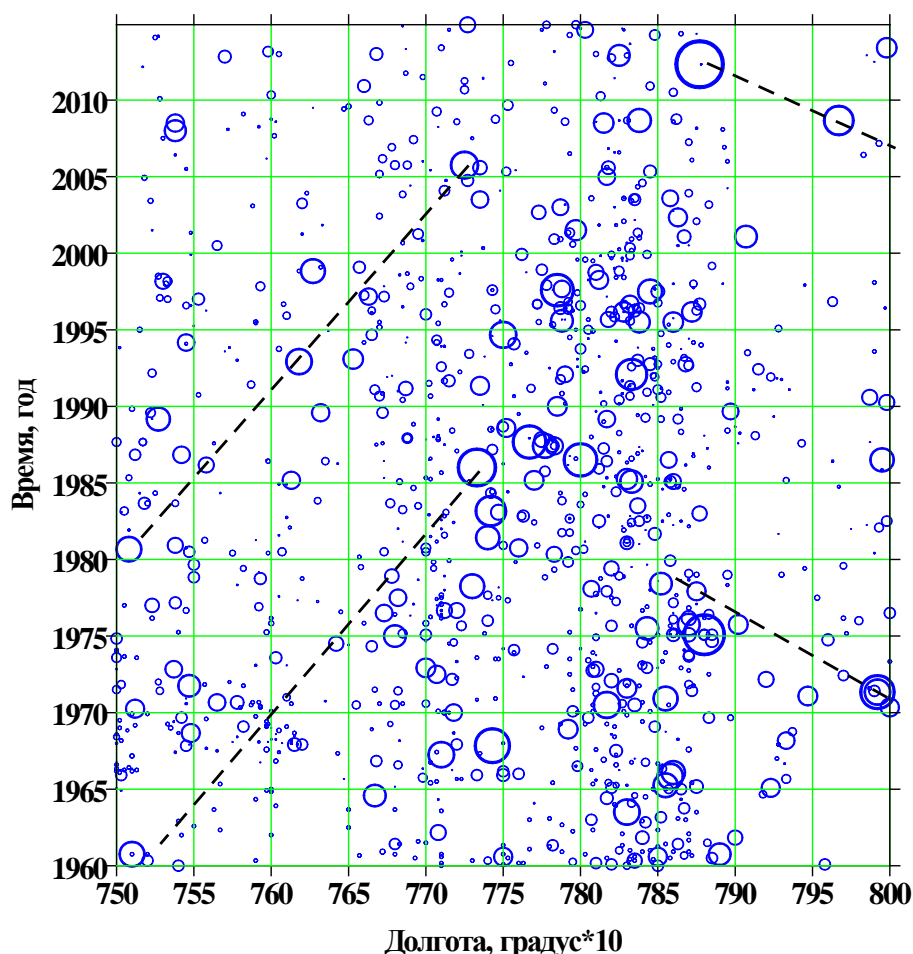


Рис. 19. Распределение землетрясений на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита вдоль активных структур Зайлийского поднятия и сопряжённых частей впадин: Илийской, Кеминской, Чиликской, во времени за 1960-2015 гг.

На рис. 20 показано распределение землетрясений вдоль активных структур Кунгейского поднятия и сопряжённых частей впадин: Кеминской, Чиликской, Иссык-Кульской на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита во времени за 1960-2015 гг. Выделяются векторы сейсмической активизации. Векторы активизации направлены с запада на восток и с востока на запад навстречу в пределах полосы $\lambda=77.7^{\circ}-78.3^{\circ}$. Кажущаяся скорость сейсмической активизации векторов, направленных с востока составляет около 18 км/год, а векторов, направленных с запада – около 8,2 км/год.

Распределение землетрясений поперек активных структур Кунгейского поднятия и сопряженных частей впадин: Илийской, Кеминской, Чиликской, Иссык-Кульской на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита во времени за 1960-2015 гг. показало что векторы активизации направлены с севера на юг и их кажущаяся скорость около 0.5 км/год.

Распределение землетрясений вдоль активных структур Терсейского поднятия и сопряженных частей Иссык-Кульской впадины в южной части сочленения Тянь-Шаня и Казахского щита во времени за 1960-2015 гг. показано на рис. 21. Выделяются векторы сейсмической активизации. Векторы активизации направлены с запада на восток и с востока на запад навстречу в пределах долготы $\lambda=77.5^{\circ}$. Кажущаяся скорость сейсмической активизации векторов, направленных с востока составляет около 11 км/год, а векторов, направленных с запада – около 8.2 км/год.

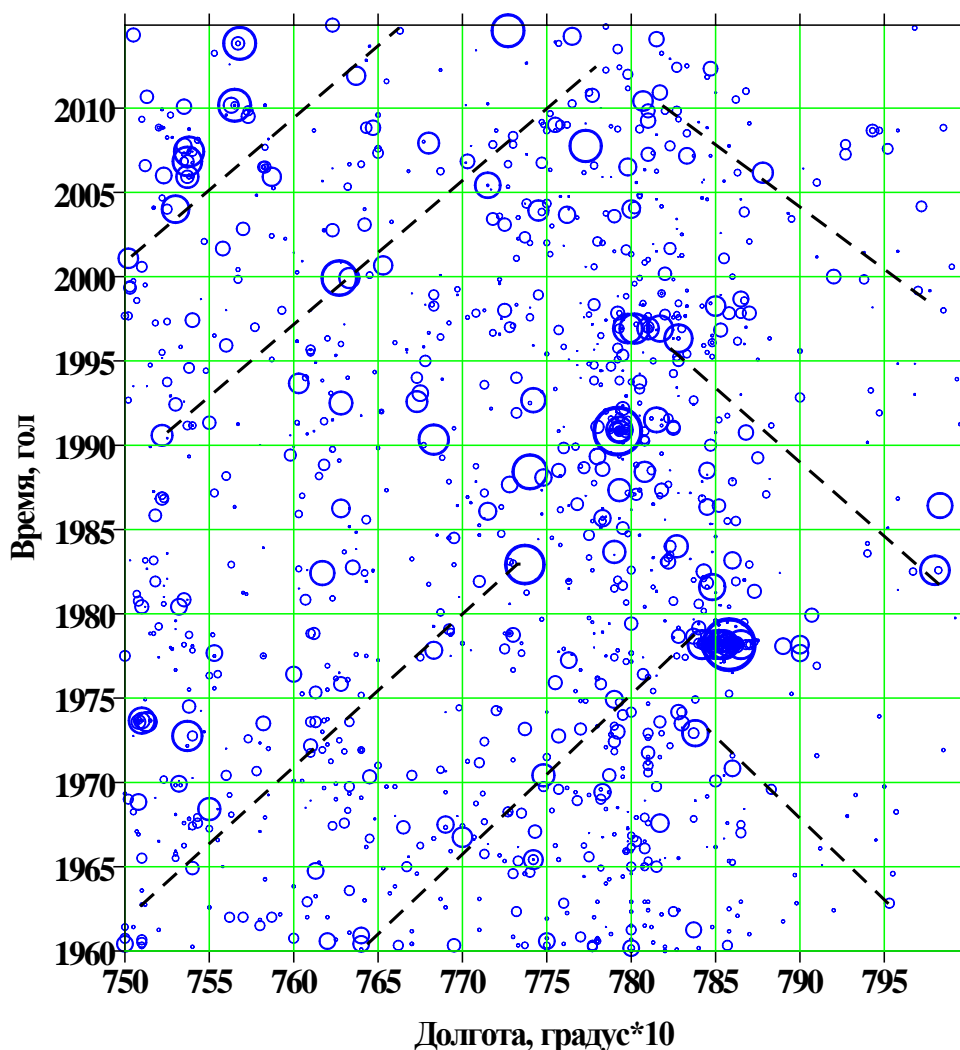


Рис.20. Распределение землетрясений на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита вдоль активных структур Кунгейского поднятия и сопряжённых частей впадин: Кеминской, Чиликской и Иссык-Кульской, во времени за 1960-2015 гг.

Следовательно, во всей изученной зоне сочленения Тянь-Шаня и Казахского щита, и её частях отмечаются векторы сейсмической активизации (табл. 3). Центральная часть зоны в пределах полосы $\lambda = 77.2^{\circ}-78.7^{\circ}$ представляет собой особый сегмент, где встречаются векторы активизации, проявленные вдоль активных структур. Можно отметить, что на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита, где литосфера Казахского щита подвигается под область горообразования, а литосфера Тянь-Шаня надвигается на щит, сформировалась сейсмогенерирующая зона. Данная зона состоит из северной (передовой) - Заилийской, срединной - Кунгейской и южной (дальней) - Терской сейсмогенерирующих подзон (секторов). Ширина их на плане составляют 35-40 км, 30-35 км и 55-90 км, соответственно.

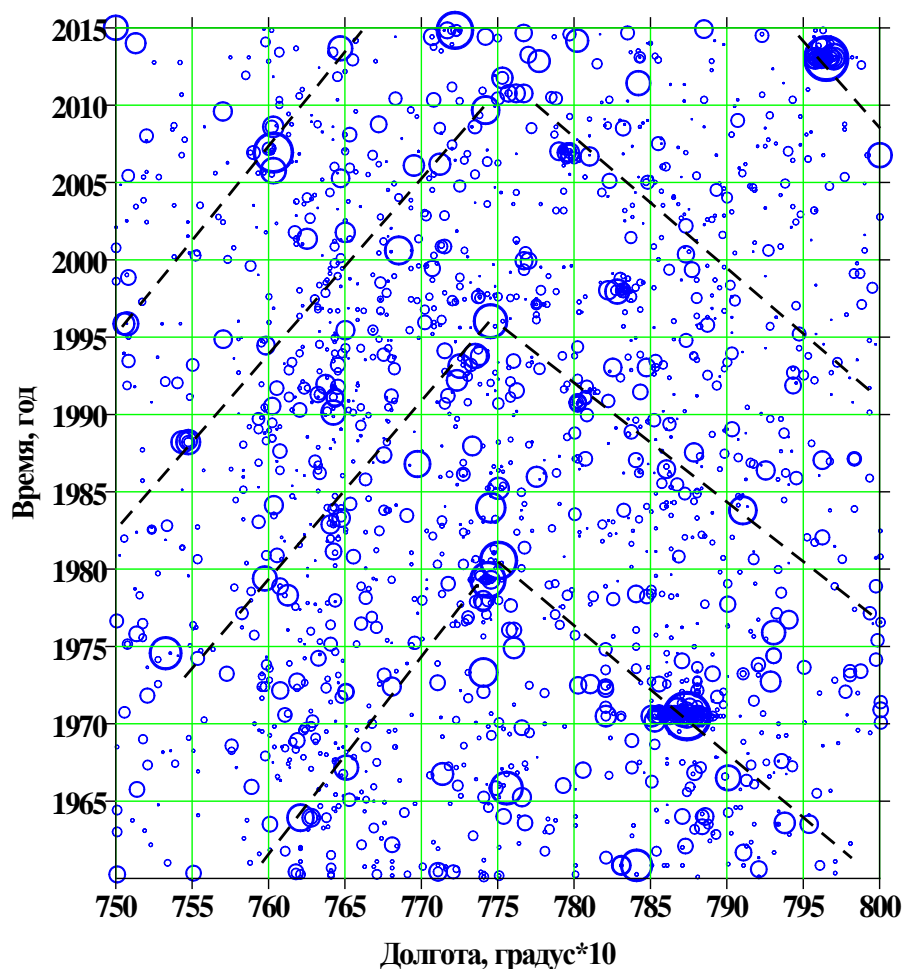


Рис.21. Распределение землетрясений вдоль активных структур Терской возвышенности и сопряжённых частей Иссык-Кульской впадины в южной части сочленения Тянь-Шаня и Казахского щита во времени за 1960-2015 гг.

Таблица 3.

Векторы сейсмической активизации на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита

№	Районы сочленения Тянь-Шаня и Казахского щита	Скорость векторов сейсмической активизации (км/год), направленных		
		поперёк активных структур	вдоль активных структур	
			с севера на юг	с запада на восток до центра
1	Заилийское, Кунгейское, Терское поднятия и сопряжённые части Илийской, Кеминской, Чиликской, Иссык-Кульской впадин		8.0	12.0-16.0
2	Заилийское, Кунгейское поднятия и сопряжённые части Илийской, Кеминской, Чиликской, Иссык-	1.0	8.2	13.5

	Кульской впадин			
3	Заилийское поднятие и сопряжённые части Илийской, Кеминской, Чиликской, впадин	1.1	11.0	13.0
4	Кунгейское поднятие и сопряжённые части Кеминской, Чиликской, Иссык-Кульской впадин	0.5	8.2	18.0
5	Терскейское поднятие и сопряжённые части Иссык-Кульской впадины	0.9	8.2	11.0

Заключение

1. Отмечено, что литосфера Тянь-Шаня надвигается на литосферу Казахского щита, а литосфера Казахского щита поддвигается под литосферу Тянь-Шаня - развивается зона субдукции, формируются краевая (активные структуры Илийской впадины, Заилийского поднятия), срединная (активные структуры Кеминской, Чиликской впадин, Кунгейского поднятия), дальняя (активные структуры Иссык-Кульской впадины, Терскейского поднятия) сейсмогенерирующие подзоны.
2. В распределении землетрясений в пространстве и во времени наблюдаются проявления областей их концентрации. Цепочки областей концентрации землетрясений вдоль и поперек Заилийского, Кунгейского, Терскейского поднятий и Илийской, Кеминской, Чиликской, Иссык-Кульской впадин выражают динамическую сегментацию и динамическую секторизацию активных структур.
3. Поперёк активных структур установлены сейсмические «дорожки» землетрясений (скрытые разрывы, разломы), отражающие процессы динамической секторизации дискретной геофизической среды. Отмечено, что перед Жаланаш-Тюпским (1978, $K=15.6$) и Байсорунским (1990, $K=15.3$) землетрясениями проявления сейсмических дорожек прерывались.
4. Краевая, срединная и дальняя сейсмогенерирующие подзоны зоны субдукции на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита характеризуются собственными графиками повторяемости землетрясений, изменениями кумулятивной сейсмической энергии, последовательностями проявления землетрясений и периодов сейсмической активизации, затишья. Вдоль активных структур установлены векторы сейсмической активизации, направленные с запада на восток и с востока на запад с разными скоростями. Поперёк активных структур наблюдаются векторы сейсмической активизации, направленные с севера на юг и с юга на север с разными скоростями. Миграция вектора сейсмической активизации по дискретным областям концентрации землетрясений представляет собой своеобразную деформационную волну литосферы и астеносферы. Сейсмические процессы предопределяются циклами сейсмической активизации и затишья.

Литература

1. Lei J., Zhao D. Teleseismic P-wave tomography and the upper mantle structure of the Central Tien Shan orogenic belt. //Physics of the Earth and Planetary Interiors, 2007, v.162. –p.165-185. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pepi.2007.04.010>
2. Omuralieva A., Nakajima J., Hasegawa A. Three-dimensional seismic velocity structure of the crust beneath the central Tien Shan, Kyrgyzstan: Implications for large- and small-scale mountain building. //Tectonophysics, 2009. -v.465. -p.30-44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2008.10.010>
3. Джанузаков К.Д., Омуралиев М., Омуралиева А., Ильясов Б.И., Гребенникова В.В. Сильные землетрясения Тянь-Шаня. Бишкек: Илим, 2003. – 216 с.
4. Omuraliev M., Omuralieva A. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan. Bishkek: Ilim, 2004, 166 p.
5. Hasegawa, A., J.Nakajima, N. Umino and S. Miura, Deep structure of the northeastern Japan arc and its implications for crustal deformation and shallow seismic activity, //Tectonophysics, 403/1-4, 59-75, 2005.
6. Электронные ресурсы: http://www.glgarcs.rgr.jp/figurepage/fig_arc-trench.html
7. Шерман С.И. Сейсмический процесс и прогноз землетрясений: тектонофизическая концепция. Новосибирск: Академическое издательство «ГЕО», 2014. -359 с.
8. Омуралиев М., Омуралиева А. Сегментация и сейсмическая опасность зоны Таласо-Ферганского разлома Тянь-Шаня. //Наука и новые технологии, 2012. -№3. - С.70-83.
9. Gutenberg B., Richter C.F. Seismicity of the Earth and associated phenomena, 2nd edition, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1954. -310 pp.
10. Касахара К. Механика землетрясений (перев. с англ.) Москва: Мир, 1985, 264 с.
11. Проект МНТЦ #KR-1176 The Central Asia Seismic Risk Initiative <http://www.istc.int/ru/project/8BA4EA8987923E8AC3256FE300375E83>
12. Мамыров Э.М. Землетрясения Тянь-Шаня: магнитуда, сейсмический момент и энергетический класс. Бишкек: «Инсанат», 2012. – 234 с.

Рецензент: к.ф.-м.н. Фролова А.Г.