

УДК 550.34

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

ДИНАМИКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ПРЕДЕЛАХ Г. БАТКЕН, КЫРГЫЗСТАН ЗА 1962-1977 гг.

Аннотация. Изложены результаты исследования динамики сейсмических воздействий в пределах города Баткен на основе анализа динамических параметров землетрясений: сейсмическая энергия E (Дж), моментная магнитуда M_w , сейсмический момент M_0 ($N \cdot m$), угловая - резонансная частота f_0 (Гц), характерный период сейсмических волн $T=1/f_0$ (сек), циклическая (или круговая) частота ω (рад/сек), спектральная плотность Ω_0 (мк/сек) – скорость смещения поперечных волн, сброшенное напряжение $\Delta\sigma$ (Па), радиус Брюна в очаге R (м), средняя подвижка D (см), предопределяющие уязвимость зданий и сооружений, необходимая для строительной инженерии и инженерной сейсмологии.

Ключевые слова: землетрясение, динамическое воздействие, динамический параметр, спектр, сейсмическая волна, сейсмическая энергия, сейсмический момент, моментная магнитуда, угловая - резонансная частота, характерный период, циклическая (или круговая) частота, спектральная плотность, сброшенное напряжение, радиус Брюна, средняя подвижка, очаг.

1962-1977 ЖЖ. КЫРГЫЗСТАНДЫН БАТКЕН ШААРЫНДАГЫ СЕЙСМИКАЛЫК ТААСИРДИН ДИНАМИКАСЫ

Кыскача мазмуну. Баткен шаарынын чегинде сейсмикалык таасирлердин динамикасын изилдөөнүн натыйжалары берилген. Алар жер титирөөлөрдүн динамикалык параметрлерин байкоо жүргүзүүнүн негизинде сейсмикалык толкундардын спектрлери аркылуу аныкталат: сейсмикалык энергия E (Дж), моменти M_0 , сейсмикалык момент M_0 ($N \cdot m$), бурчтук - резонанстык жыштык f_0 (Гц), сейсмикалык толкундардын мүнөздүү мезгили $T=1/f_0$ (сек), циклдик (же тегерек) жыштык ω (рад/сек), спектрдик тыгыздыгы Ω_0 (мк /сек) – жылышуу толкунунун жылышуу ылдамдыгы, түшкөн чыңалуу $\Delta\sigma$ (Па), очоктогу Брун радиусу R (м), орточо жылышуу D (см). Бул параметрлер курулуш инженерия жана инженердик сейсмология үчүн зарыл болгон имараттардын жана курулуштардын туруктуулугун аныктайт.

Негизги сөздөр: жер титирөө, динамикалык таасир, динамикалык параметр, спектр, сейсмикалык толкун, сейсмикалык энергия, сейсмикалык момент, момент магнитудасы, бурчтук - резонанстык жыштык, мүнөздүү мезгил, спектрдик тыгыздык, түшкөн чыңалуу, Брун радиусу, орточо жылышуу, очок.

DYNAMICS OF SEISMIC IMPACTS WITHIN THE BATKEN CITY, KYRGYZSTAN, IN 1962-1977

Abstract. The results of the dynamics of seismic impacts study within the Batken city are presented based on analysis the earthquakes' dynamic parameters: seismic energy E (J), moment magnitude M_w , seismic moment M_0 ($N \cdot m$), resonant angular frequency f_0 (Hz) , characteristic period of seismic waves $T=1/f_0$ (sec), cyclic (or circular) frequency ω (rad/sec), spectral density Ω_0 ($\mu m/sec$) – shear wave displacement velocity, stress drop $\Delta\sigma$ (Pa), source radius (*Brune's radius*) R (m), average displacement D (cm), that determine the vulnerability of buildings and structures, necessary for construction engineering and engineering seismology.

Keywords: earthquake, dynamic impact, dynamic parameter, spectrum, seismic wave, seismic energy, seismic moment, moment magnitude, resonant angular frequency, characteristic period, spectral density, stress drop, source *radius* (*Brune's radius*), average slip, source.

Оценка сейсмической опасности, сейсмического риска населённых пунктов и сооружений является актуальной проблемой. Здания и сооружения со времени постройки, а также грунты под ними, постоянно находятся под природным и техногенным воздействиями и являются динамическими системами. Уязвимость зданий и сооружений, а также грунты различных типов зависят от динамики сейсмических воздействий. Следует отметить, что динамика сейсмических воздействий изменяется во времени и пространстве. Приобретаются дополнительные новые свойства, в частности изменяются резонансные частоты, концентрация подвижек и др., которые определяют сейсмостойкость, устойчивость на разрушения. В связи с этим, учёт динамики сейсмических воздействий в строительной инженерии и инженерной сейсмологии необходим.

Район исследования находится в пределах города Баткен в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^{\circ}-40.80^{\circ}$, $\lambda=70.00^{\circ}-71.61^{\circ}$ (рисунок 1). На северных и южных частях его развиваются активные разломы: Сулуктунский и Катрантооский широтного простирания с северными азимутами падения, генерирующие землетрясения. В 31 января 1977 г. произошло Исфара-Баткенское землетрясение ($K_R=15.5$, $M=6.3$, $I_0=8$ баллов, $h=20$ км) [1].

В 1978 г. Институт сейсмологии НАН КР проводил сейсмическое микрорайонирование территории райцентра Баткен по традиционной методике [2, 3].

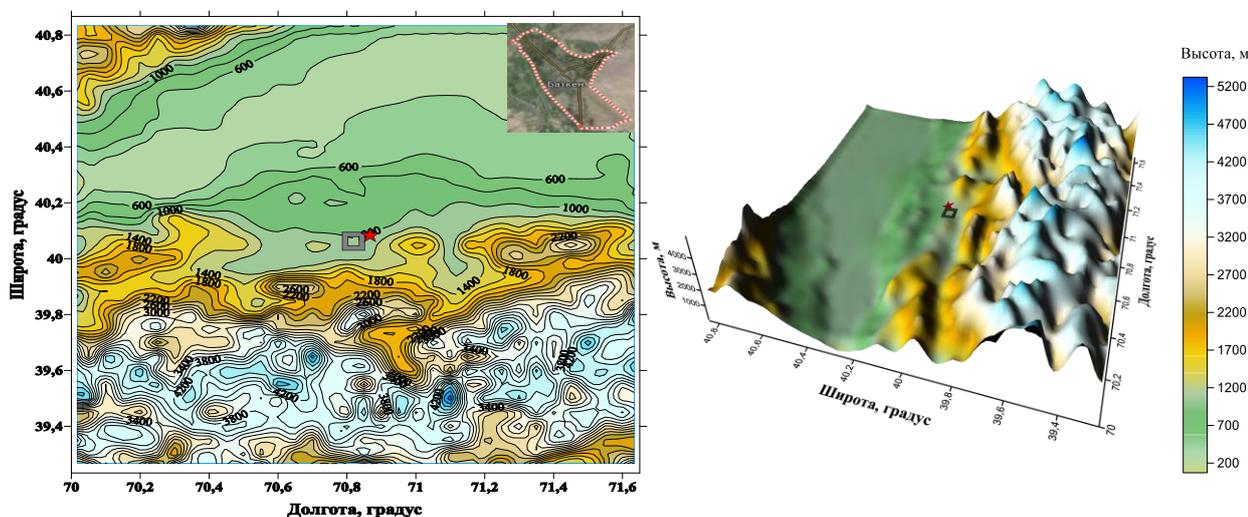


Рисунок 1. Карта-схема цифровой модели высот (левый) и 3D – модель (правый) (по данным SRTM – радиолокационной топографической миссии шаттла) района (в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^{\circ}-40.80^{\circ}$, $\lambda=70.00^{\circ}-71.61^{\circ}$) в пределах города Баткен (серый полый квадрат). Вырезка его площади показана в верхнем правом углу. Красной звёздочкой обозначен эпицентр Исфара-Баткенского землетрясения (31.01.1977 г., $K_R=15.5$, $M=6.3$, $I_0=8$ баллов, $h=20$ км).

Под территорией г. Баткен фундамент до глубины 6 км сложен среднепалеозойским геосинклинальным комплексом (мраморизованными известняками, сланцами и др.), на глубинах 6 км -10 км - серпентинитами, ниже 10 км – базит-гипербазитами [4]. Они покрыты четвертичными пролювиальными (pQ^2_{III}) и

аллювиальными отложениями (aQ_{IV}). Проллювиальные отложения представлены, преимущественно, суглинками, а аллювиальные отложения – галечниками. Глубина залегания уровня грунтовых вод в этих отложениях от 1 м до 8 м.

Исходными данными исследований является каталог динамических параметров землетрясений Кыргызстана Центра данных ИС НАН КР [5, 6]: сейсмическая энергия E (Дж), моментная магнитуда M_w , сейсмический момент M_0 (Н·м), угловая - резонансная частота f_0 (Гц), характерный период сейсмических волн $T=1/f_0$ (сек), спектральная плотность Ω_0 (мк/сек) – скорость смещения поперечных волн, циклическая (или круговая) частота ω (рад/сек), сброшенное напряжение $\Delta\sigma$ (Па), радиус Брюна в очаге R (м), средняя подвижка D (см).

На рисунке 2 (а) приведён график последовательности землетрясений с энергетическими классами $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$, с 1962 г. по 1977 г., на котором выделяется иерархия ассиметричных сейсмических циклов. Период циклов, например, третьего порядка составляет 1.4 -2.6 лет, второго порядка - 6.4-7.8 год. Соответственно, сейсмические воздействия на здания, грунты и др. в виде сейсмической энергии имел циклический характер.

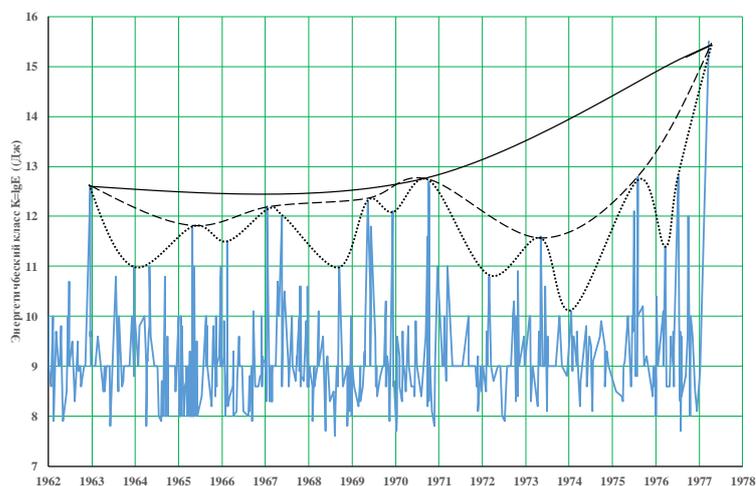


Рисунок 2 (а). Последовательность землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. Точечной линией обозначены сейсмические циклы третьего порядка, пунктирной линией – сейсмические циклы второго порядка, сплошной линией - цикл первого порядка.

На рисунке 2 (б) показана суммарная сейсмическая энергия (E_k), высвобожденная при землетрясениях с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. В 1977 году $E_k=0.39 \cdot E+14$ (Дж). График этой энергии неровный, ступенчатый, что выражает иерархию сейсмических циклов. Тренд её выражается формулой:

$$E_k=(0.0009T^2-3.6596T+3581.5) \times E+14, R^2=0.94,$$

T - время (год), R^2 - достоверность аппроксимации.

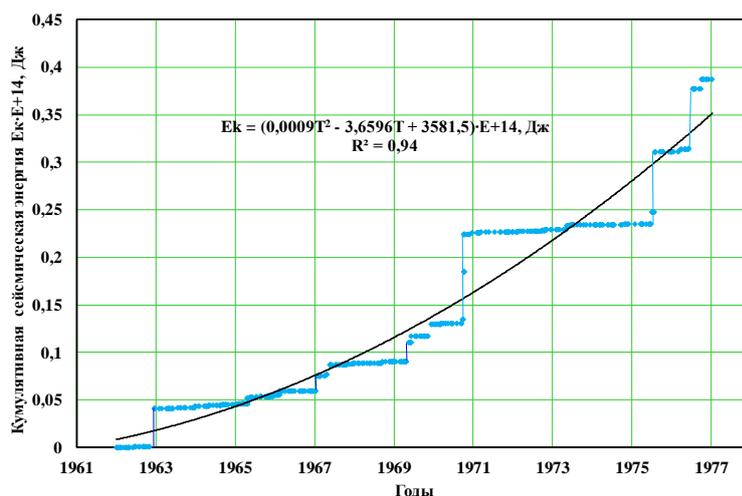


Рисунок 2 (б). Кумулятивная сейсмическая энергия E_k (Дж) в очагах землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$ в пределах города Баткен, за 1962-1977 гг. Сплошной чёрной линией обозначен тренд.

Распределение в пространстве и во времени эпицентров землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$ в пределах города Баткен, за 1962-1977 гг. приведено на рисунке 2 (в). Распределение времени проявления землетрясений имеет мозаичный характер, выражающий своеобразную динамическую сегментацию активных структур. Выделяются области раннего и позднего проявлений очагов землетрясений.

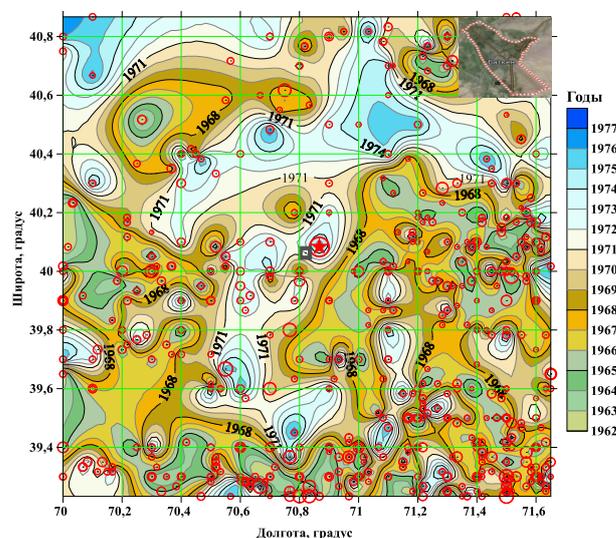


Рисунок 2 (в). Распределение времени проявления очагов землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$ в пределах города Баткен (серый полый квадрат), за 1962-1977 гг. Красными кружочками обозначены эпицентры событий, звёздочкой - эпицентр Исфара-Баткенского землетрясения (31.01.1977 г., $h=20$ км, $K_R=15.5$, $M=6.3$, $I_0=8$ баллов).

Последовательность моментной магнитуды землетрясений показана на рисунке 3 (а). На графике выделяются иерархии асимметричных сейсмических циклов, аналогичные циклам на последовательности энергетических классов.

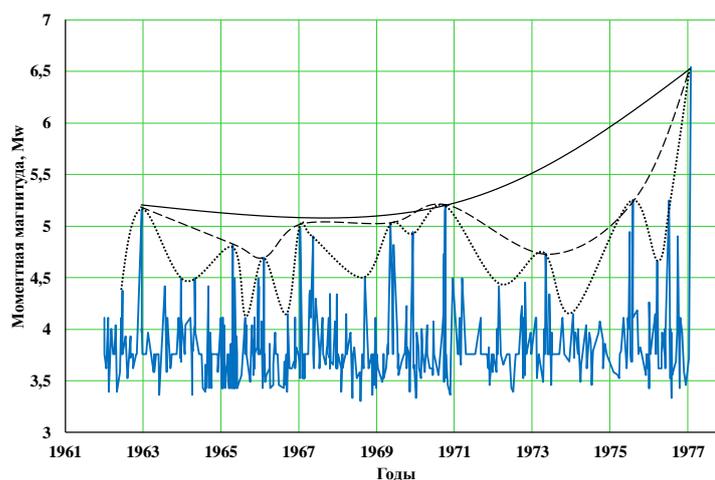


Рисунок 3 (а). Последовательность моментной магнитуды землетрясений с $M_w \geq 3.3$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. Точечной линией обозначены сейсмические циклы третьего порядка, пунктирной линией – сейсмические циклы второго порядка, сплошной линией – цикл первого порядка.

Кумулятивная моментная магнитуда землетрясений с $M_w(\text{cum}) \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. приведена на рисунке 3 (б). График этой магнитуды - неровный, ступенчатый, что выражает иерархию сейсмических циклов. Тренд её выражается формулой:

$$M_w(\text{cum}) = (41.979T - 82371) \times 800, R^2 = 0.99,$$

T- время (год), R^2 - достоверность аппроксимации.

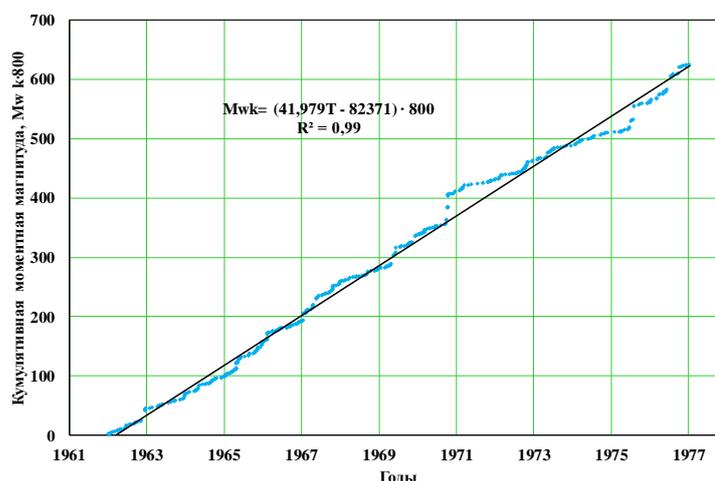


Рисунок 3 (б). Кумулятивная моментная магнитуда $M_w(\text{cum})$ спектра сейсмических волн в очагах землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$ в пределах города Баткен, за 1962-1977 гг. Сплошной чёрной линией обозначен тренд.

На рисунке 3 (в) представлена карта-схема распределения моментной магнитуды (M_w) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$ в пределах города Баткен, за 1962-1977

гг. Распределение моментной магнитуды землетрясений имеет мозаичный характер, также выражающий своеобразную динамическую сегментацию активных структур.

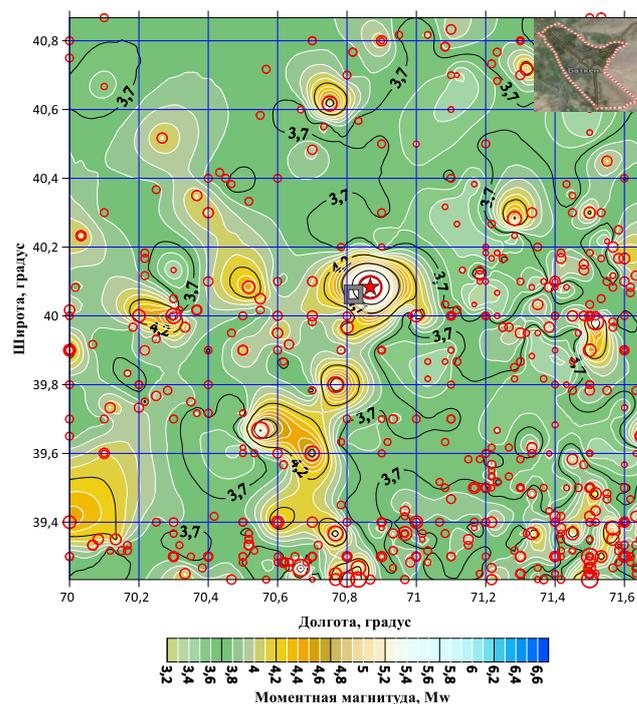


Рисунок 3 (в). Карта-схема распределения моментной магнитуды (M_w) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в пределах города Баткен с 1962 г. по 1977 г. Красными кружочками обозначены эпицентры событий. Звёздочкой обозначено Исфара-Баткенское землетрясение (31.01.1977, $K_R = 15.5$, $M = 6.3$, $I_0 = 8$ баллов, $h = 20$ км). Вырезка площади г. Баткен (серый квадрат) показана в верхнем правом углу.

На рисунке 4 (а) приведено изменение сейсмического момента во времени $\lg M_0 \geq 14.1$, на графике выделяются фаза активизации, пик активизации, фаза спада и фаза затишья иерархии асимметричных циклов. Сейсмический момент $\lg M_0$ на пиках сейсмических циклов, например, второго порядка в 1962,96 г. (18.12.1962 г.) составил $16.5 \text{ Н}\cdot\text{м}$, в 1970,76 г. (06.10.1970 г.) – $16.6 \text{ Н}\cdot\text{м}$, в 1977,08 г. (31.01.1977 г.) – $18.0 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

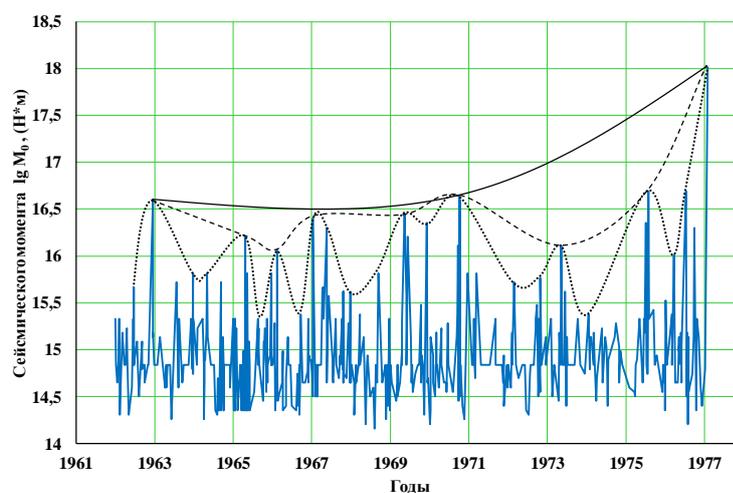


Рисунок 4 (а). Последовательность сейсмического момента землетрясений $\lg M_0 \geq 14.1$ ($\text{Н}\cdot\text{м}$) в квадрате, ограниченном координатами $\varphi = 39.20^\circ - 40.80^\circ$, $\lambda = 70.00^\circ - 71.61^\circ$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. Точечной линией обозначены сейсмические

циклы третьего порядка, пунктирной линией – сейсмические циклы второго порядка, сплошной линией - цикл первого порядка.

На рисунке 4 (б) приведён график кумулятивного сейсмического момента ($M_0(\text{cum})$) землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ$ - 40.80° , $\lambda=70.00^\circ$ - 71.61° в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. График этой магнитуды - неровный, ступенчатый, что выражает иерархию сейсмических циклов. Тренд её выражается формулой:

$$M_0(\text{cum}) = (0.612T - 1200.9) \times E+17, R^2=0.99,$$

T- время (год), R^2 - достоверность аппроксимации.

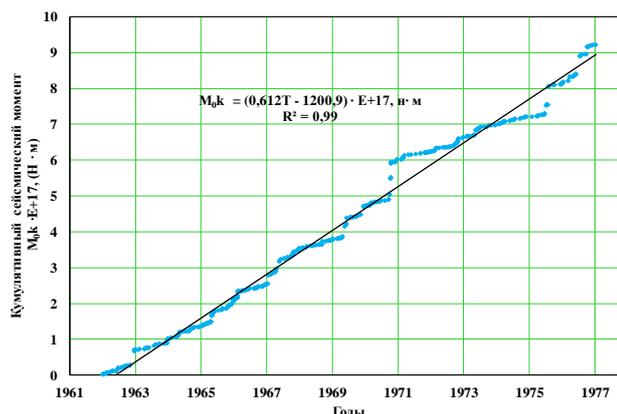


Рисунок 4 (б). Кумулятивный сейсмический момент $M_0(\text{cum})$ ($\text{H} \cdot \text{м}$) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ$ - 40.80° , $\lambda=70.00^\circ$ - 71.61° в пределах города Баткен, за 1962-1977 гг. Сплошной чёрной линией обозначен тренд.

Карта-схема распределения сейсмического момента ($\lg M_0$) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ$ - 40.80° , $\lambda=70.00^\circ$ - 71.61° в пределах города Баткен, за 1962-1977 гг. представлена на рисунке 4 (в). Распределение сейсмического момента поперечных волн землетрясений имеет мозаичный характер, также выражающий своеобразную динамическую сегментацию активных структур.

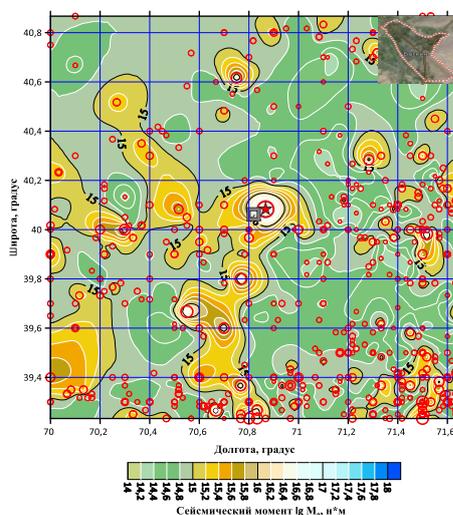


Рисунок 4 (в). Карта-схема распределения сейсмического момента ($\lg M_0$, $\text{H} \cdot \text{м}$) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в пределах города Баткен с 1962 г. по 1977 г.

Красными кружочками обозначены эпицентры событий. Звёздочкой обозначено Исфара-Баткенское землетрясение (31.01.1977 г., $K_R = 15.5$, $M = 6.3$, $I_0 = 8$ баллов, $h = 20$ км). Вырезка площади г.Баткен (серый квадрат) показана в верхнем правом углу.

Важно отметить, что сейсмический момент M_0 выражается формулой [7]:

$$M_0 = \mu UA,$$

где μ - жёсткость - модуль сдвига (дин/см²), U - средняя подвижка (см), A - площадь разлома. Соответственно, сейсмический момент представляет собой обобщённый параметр, при котором могут изменяться свойства постройки и грунта.

Важным параметром динамики сейсмического воздействия является угловая частота f_0 (Гц), определяемая по спектрам объёмных сейсмических волн землетрясений. Она представляет собой резонансную частоту. На рисунке 5 (а) приведена последовательность угловых частот поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi = 39.20^\circ - 40.80^\circ$, $\lambda = 70.00^\circ - 71.61^\circ$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. Значения их изменялись от 1.7 Гц до 3.9 Гц. На графике отмечаются флуктуации циклического характера. Угловая частота поперечных волн Исфара-Баткенского землетрясения составляла 0.9 Гц.

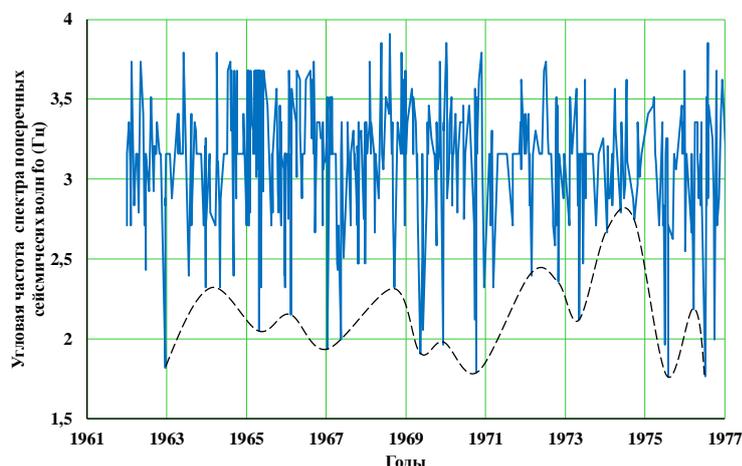


Рисунок 5 (а). График последовательности угловой резонансной частоты f_0 (Гц) поперечных волн землетрясений в квадрате, ограниченном координатами $\varphi = 39.20^\circ - 40.80^\circ$, $\lambda = 70.00^\circ - 71.61^\circ$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. Нижний предел флуктуации f_0 обозначен пунктирной линией.

График кумулятивной угловой частоты $f_0(\text{cum})$ (Гц) спектра сейсмических волн в очагах землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi = 39.20^\circ - 40.80^\circ$, $\lambda = 70.00^\circ - 71.61^\circ$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. - неровный, ступенчатый, что выражает иерархию сейсмических циклов (рисунок 5 (б)). Тренд её выражается формулой:

$$f_0(\text{cum}) = (6.9359T - 13606) \times 15, R^2 = 0.98,$$

T - время (год), R^2 - достоверность аппроксимации.

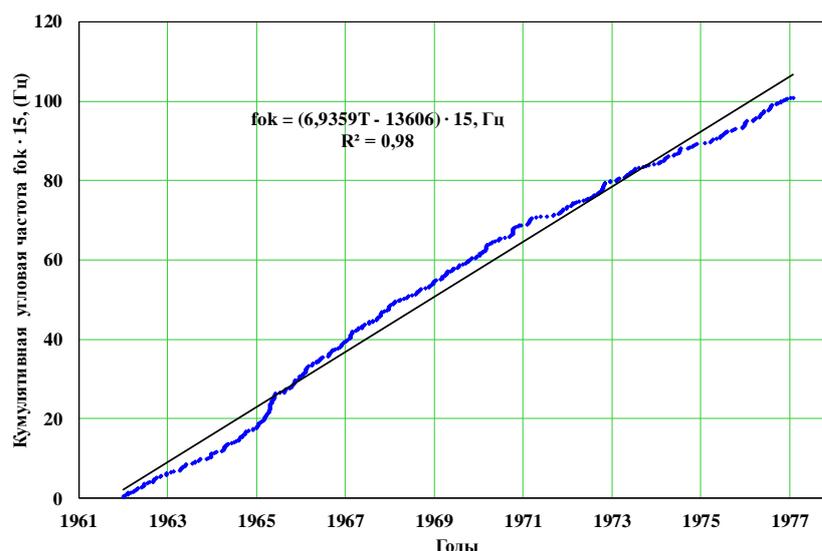


Рисунок 5 (б). Кумулятивная угловая частота $fo(\text{cum})$ (Гц) спектра сейсмических волн в очагах землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$ в пределах города Баткен, за 1962-1977 гг. Сплошной чёрной линией обозначен тренд.

Карта-схема распределения угловой (резонансной) частоты fo (Гц) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$ в пределах города Баткен, за 1962-1977 гг. показана на рисунке 5 (в). Распределение резонансной частоты поперечных волн землетрясений имеет мозаичный характер, выражающий поле динамики сейсмического воздействия.

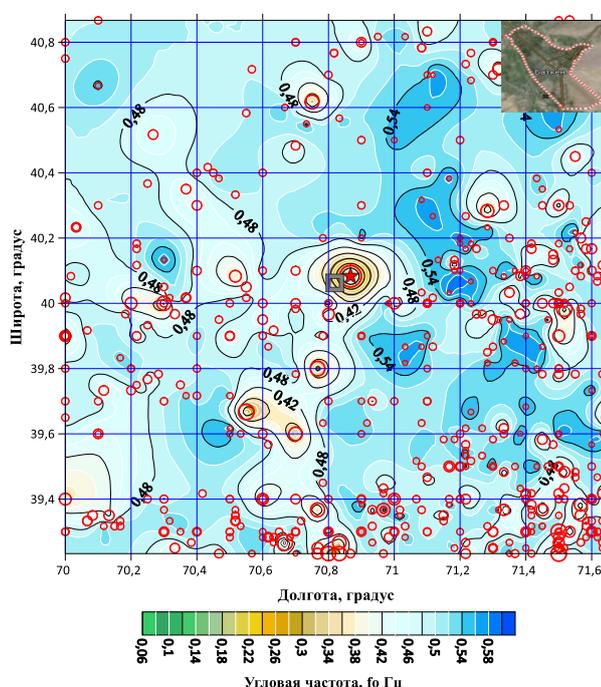


Рисунок 5 (в). Карта-схема распределения угловой частоты fo (Гц) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в пределах города Баткен с 1962 г. по 1977 г. Красными кружочками обозначены эпицентры событий. Звёздочкой обозначено Исфара-Баткенское землетрясение (31.01.1977 г., $K_R = 15.5$, $M = 6.3$, $I_0 = 8$ баллов, $h = 20$ км). Вырезка площади г. Баткен (серый квадрат) показана в верхнем правом углу.

Зависимость сейсмического момента M_0 ($H \cdot m$) и сейсмической энергии E (Дж) от угловой частоты выражаются формулами:

$$\lg M_0 = -0.8452f_0 + 17.5, R^2 = 0.97,$$

$$\lg E = -2.7549f_0 + 18, R^2 = 0.99.$$

Необходимо отметить, что угловой резонансной частоте соответствует характерный период $T = 1/f_0$ (сек) сейсмических волн (рисунок 6 (а)). На графике отмечается иерархия сейсмических циклов, например: первого порядка (фаза затишья и фаза активизации), второго порядка. На пиках циклов второго порядка в 1962,96 г. (18.12.1962), 1970,76 г. (06.10.1970) и на главном толчке в 1977,08 г. (31.01.1977) Исфара-Баткенского землетрясения отмечаются значения $T = 0.55$ сек, 0.56 сек и 0.86 сек, соответственно. Связь периода спектра поперечной сейсмической волны T (сек) и моментной магнитуды M_w может быть выражена формулой:

$$T = 0.2873 M_w - 0.7637, R^2 = 0.99.$$

Следует отметить, что Касахара [8] для спектра Р- волн получил формулу:

$$\lg T = 0.51M - 2.59,$$

где M - магнитуда по Рихтеру [9].

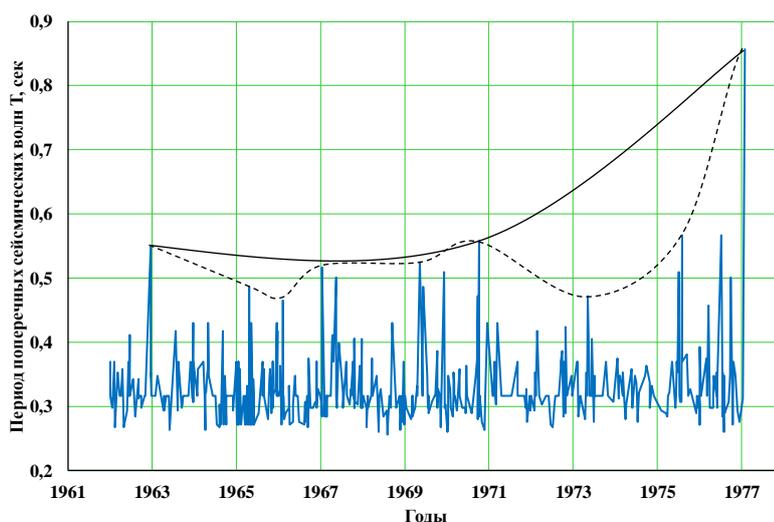


Рисунок 6 (а). График последовательности периодов T (сек) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi = 39.20^\circ - 40.80^\circ$, $\lambda = 70.00^\circ - 71.61^\circ$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. Пунктирной линией обозначен цикл второго порядка, сплошной линией - цикл первого порядка.

График кумулятивного периода $T(\text{cum})$ (сек) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi = 39.20^\circ - 40.80^\circ$, $\lambda = 70.00^\circ - 71.61^\circ$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. - неровный, ступенчатый, что выражает иерархию сейсмических циклов (рисунок 6 (б)). Его тренд выражается формулой:

$$T(\text{cum}) = 10.867t - 21318, R^2 = 0.98,$$

t - время (год), R^2 - достоверность аппроксимации.

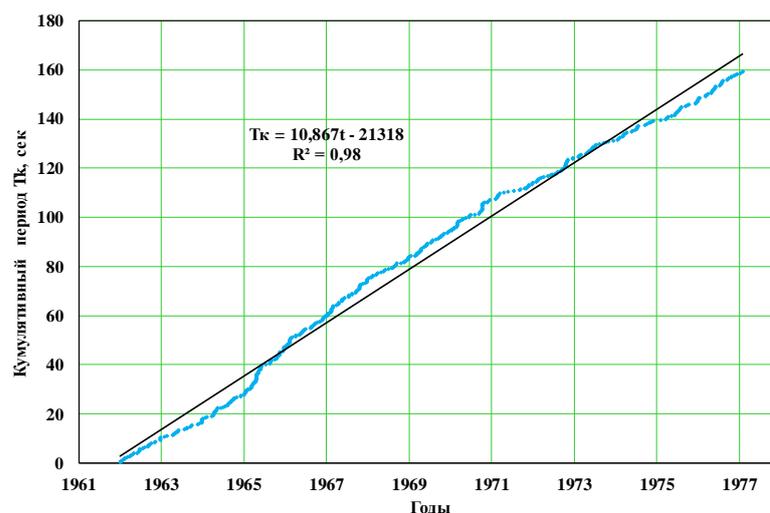


Рисунок 6 (б). Кумулятивный период $T(\text{cum})$ (сек) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$ в пределах города Баткен, за 1962-1977 гг. Сплошной чёрной линией обозначен тренд.

Карта-схема распределения периода T (сек) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$ в пределах города Баткен, за 1962-1977 гг. показана на рисунке 6 (в). Распределение периода поперечных волн землетрясений имеет мозаичный характер, выражающий также поле динамики сейсмического воздействия.

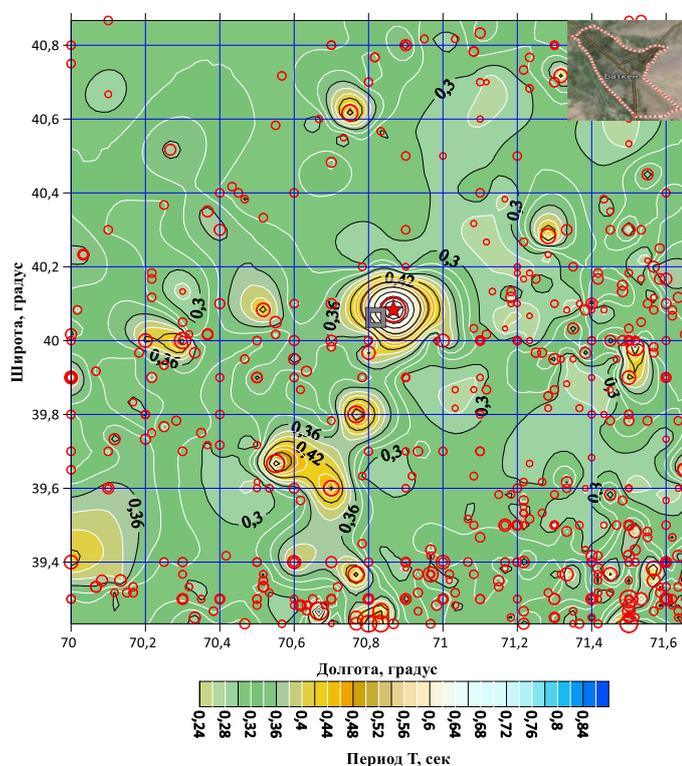


Рисунок 6 (в). Карта-схема распределения периода T (сек) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в пределах города Баткен с 1962 г. по 1977 г. Красными кружочками обозначены эпицентры событий. Звёздочкой обозначено Исфара-Баткенское землетрясение (31.01.1977 г., $K_R = 15.5$, $M = 6.3$, $I_0 = 8$ баллов, $h = 20$ км). Вырезка площади г. Баткен (серый квадрат) показана в верхнем правом углу.

Период волны предопределяет длину сейсмических волн (λ , км):

$$\lambda = V_s/T,$$

где V_s – скорость поперечных сейсмических волн (км/сек), T – период поперечных сейсмических волной (сек). Так, в мраморизованных известняках $V_s=3$ км/сек [10], валунно-галечниках $V_s=2$ км/сек, суглинках $V_s=1$ км/сек [11], то длина S-волн Исфара-Баткенского землетрясения (1977 г., $K_R = 15.5$) составляла $\lambda=3/0.86=3.4$ км в скальных грунтах и $\lambda = 2/0.86=2.3$ км, $\lambda = 1/0.86=1.2$ км в рыхлых грунтах соответственно, при угловой - резонансной частоте $f_0=1.16$ Гц и характерном резонансном периоде $T=0.86$ сек. В связи с этим можно сказать, что динамика сейсмического воздействия имеет в пространстве и во времени периодический характер и должна быть учтена при сейсмическом микрорайонировании. По традиционной методике [12] приращение сейсмической интенсивности ΔI в каждом исследуемом пункте вычисляется относительно фиксированного пункта по наблюдениям сейсмических колебаний по формуле:

$$\Delta I(f) = 3.3 \lg(A_i/A_0),$$

где A_i – амплитуда колебаний грунта, вызванная сейсмическим событием на исследуемом пункте, A_0 – амплитуда колебаний грунта на эталонном пункте без учёта длины волн и направления их распространения.

Следует отметить, что здания и сооружения, также массивы горных пород во время землетрясения испытывают кручения. Это процесс, вероятно обусловлен круговой (циклической) частотой ω (рад/сек) сейсмических волн:

$$\omega = 2\pi/T,$$

где T - период сейсмических волн (сек). На рисунке 7 (а) представлена последовательность круговых частот поперечных волн землетрясений. Значения их изменялись от 7.3 до 24.5 рад/сек. Круговая частота поперечных волн Исфара-Баткенского землетрясения составляла 7.3 рад/сек.

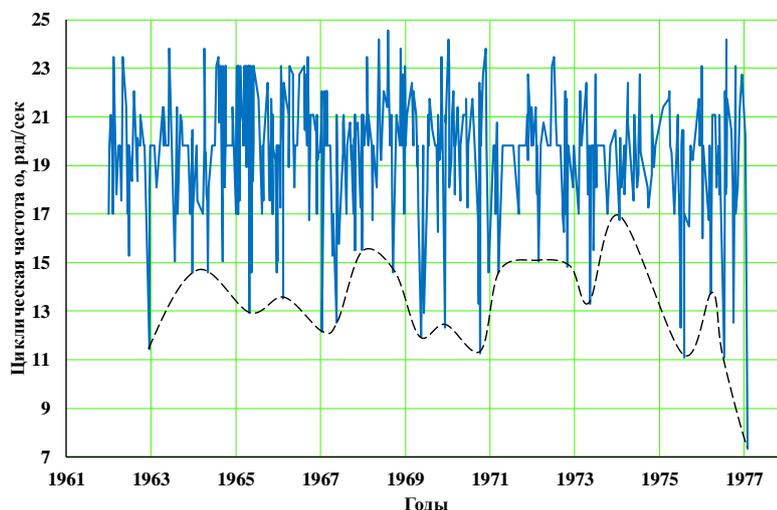


Рисунок 7 (а). График последовательности круговых частот ω (рад/сек) поперечных волн землетрясений в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ- 40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ- 71.61^\circ$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. Нижний предел флуктуации ω обозначен пунктирной линией.

График кумулятивной циклической (круговой) частоты $\omega(\text{cum})$ (рад/сек) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ- 40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ- 71.61^\circ$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. -

неровный, ступенчатый, что также отражает иерархию сейсмических циклов (рисунок 7 (б)). Её тренд выражается формулой:

$$\omega(\text{cum}) = (6.5342T - 12818) \cdot 100, R^2 = 0.98,$$

T - время (год), R^2 - достоверность аппроксимации.

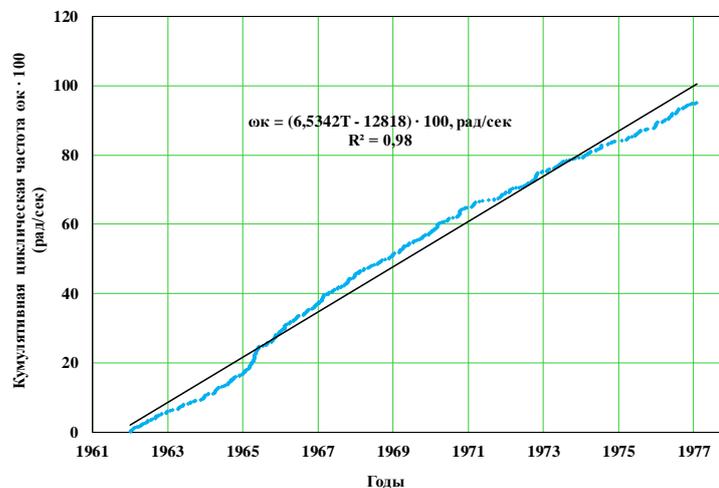


Рисунок 7 (б). Кумулятивная циклическая частота $\omega(\text{cum})$ (рад/сек) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$ в пределах города Баткен, за 1962-1977 гг. Сплошной чёрной линией обозначен тренд.

Карта-схема распределения круговой (циклической) частоты ω (рад/сек) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$ в пределах города Баткен, за 1962-1977 гг. показана на рисунке 7 (в). Распределение круговой частоты поперечных волн землетрясений имеет мозаичный характер, который отражает поле динамики сейсмического воздействия.

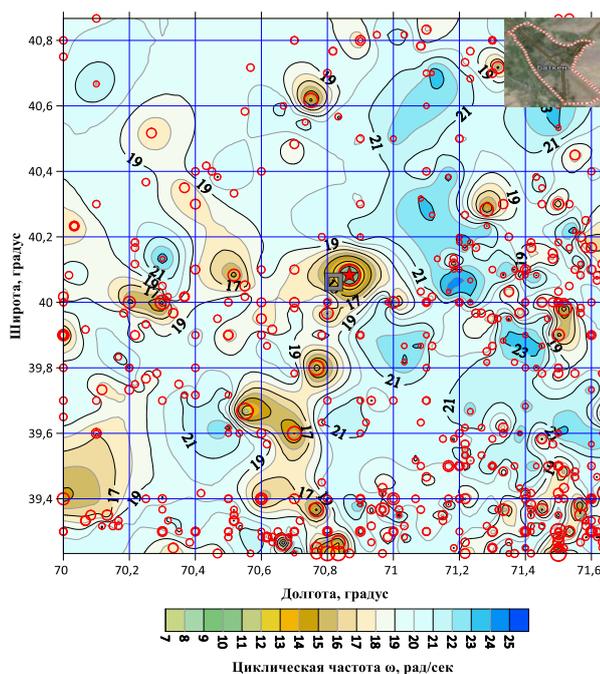


Рисунок 7в. Карта-схема распределения круговой (циклической) частоты ω (рад/сек) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в пределах города Баткен с 1962 г. по 1977 г.

Красными кружочками обозначены эпицентры землетрясений. Звёздочкой обозначено Исфара-Баткенское землетрясение (31.01.1977 г., $K_R = 15.5$, $M = 6.3$, $I_0 = 8$ баллов, $h = 20$ км). Вырезка площади г. Баткен (серый квадрат) показана в верхнем правом углу.

На рисунке 8 (а) приведён график последовательности спектральной плотности Ω_0 (мк/сек) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$, которая представляет собой скорость смещения. Пики сейсмических циклов, например, второго порядка проявились в 1962,96 г. (18.12.1962) - 182,5 мк/сек, 1970,76 г. (06.10.1970) - 209,1 мк/сек и резкий скачок в 1977,08 г. (31.01.1977) - 5768,6 мк/сек во время главного толчка землетрясения Исфара-Баткен. Важно отметить, что отношение спектральной плотности и периода (Ω_0/T) представляет собой ускорение поперечных волн с единицей измерения (мк/сек²).

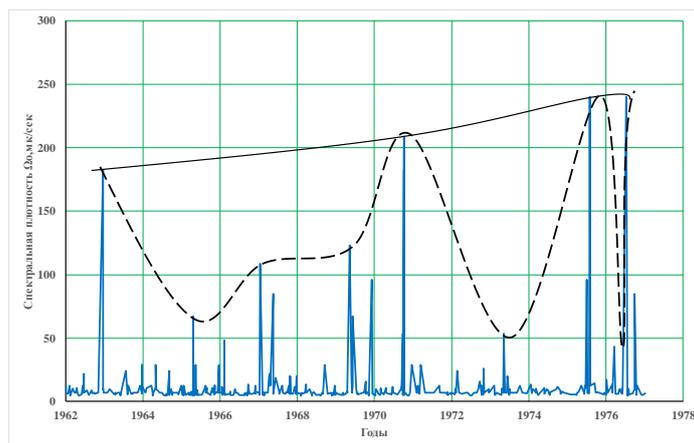


Рисунок 8 (а). График последовательности спектральной плотности Ω_0 (мк/сек) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi = 39.20^\circ - 40.80^\circ$, $\lambda = 70.00^\circ - 71.61^\circ$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. Сейсмический цикл второго порядка обозначен пунктирной линией, цикл первого порядка – сплошной линией.

График кумулятивной спектральной плотности (которая представляет скорость смещения) $\Omega_0(\text{cum})$ (мк/сек) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi = 39.20^\circ - 40.80^\circ$, $\lambda = 70.00^\circ - 71.61^\circ$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. - неровный, ступенчатый, что также отражает иерархию сейсмических циклов (рисунок 8 (б)). Её тренд выражается формулой:

$$\omega(\text{cum}) = (1.2836T - 2518.7) \cdot 300, R^2 = 0.99,$$

T - время (год), R^2 - достоверность аппроксимации.

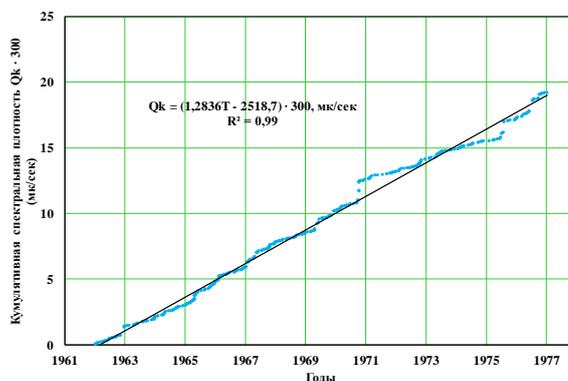


Рисунок 8 (б). Кумулятивная спектральная плотность $\Omega_0(\text{cum})$ (мк/сек) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi = 39.20^\circ - 40.80^\circ$,

$\lambda=70.00^{\circ}-71.61^{\circ}$ в пределах города Баткен, за 1962-1977 гг. Сплошной чёрной линией обозначен тренд.

Карта-схема распределения спектральной плотности Ω_0 (мк/сек) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^{\circ}-40.80^{\circ}$, $\lambda=70.00^{\circ}-71.61^{\circ}$ в пределах города Баткен, за 1962-1977 гг. представлена на рисунке 8 (в) за исключением значения Ω_0 при Исфара-Баткенском землетрясении, которое равно $\Omega_0=25002$ мк/сек. На распределении спектральной плотности поперечных волн землетрясений выделяются аномальные и межаномальные области.

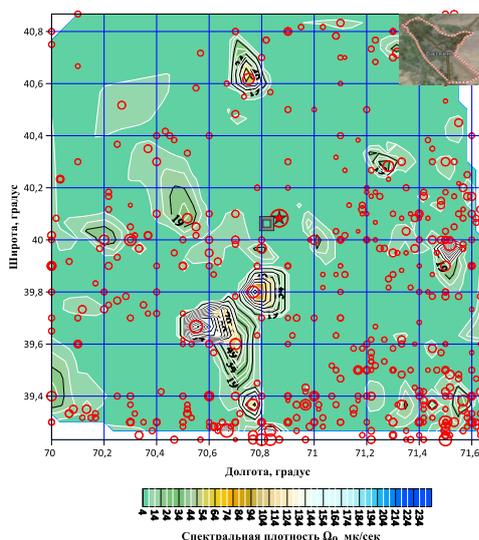


Рисунок 8 (в). Карта-схема распределения спектральной плотности Ω_0 (мк/сек) поперечных волн землетрясений $K_R \geq 7.6$ в пределах города Баткен с 1962 г. по 1977 г. без значения Ω_0 при Исфара-Баткенском землетрясении. Красными кружочками обозначены эпицентры землетрясений. Звёздочкой обозначено Исфара-Баткенское землетрясение (31.01.1977 г., $K_R = 15.5$, $M=6.3$, $I_0=8$ баллов, $h=20$ км). Вырезка площади г. Баткен (серый квадрат) показана в верхнем правом углу.

На рисунке 9 (а) приведена последовательность сброса напряжений $\Delta\sigma$ (Па) в очагах землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^{\circ}-40.80^{\circ}$, $\lambda=70.00^{\circ}-71.61^{\circ}$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г., которая оказывала воздействия на напряжённо-деформированное состояние зданий, сооружений и толщи грунта. На графике отмечается, что динамика сейсмического воздействия сброса напряжений в очагах землетрясений имела циклический характер.

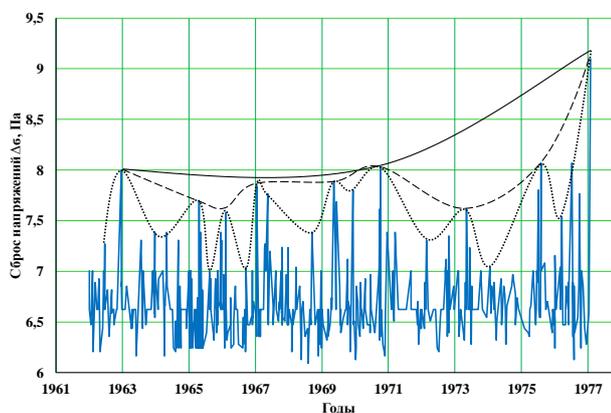


Рисунок 9 (а). График последовательности сброса напряжений $\Delta\sigma$ (Па) в очагах землетрясений $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^{\circ}-40.80^{\circ}$,

$\lambda=70.00^{\circ}-71.61^{\circ}$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. Сейсмический цикл третьего порядка обозначен точечной линией, цикл второго порядка - пунктирной линией, цикл первого порядка – сплошной линией.

График кумулятивного сброшенного напряжения $\Delta\sigma(\text{cum})$ (Па) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^{\circ}-40.80^{\circ}$, $\lambda=70.00^{\circ}-71.61^{\circ}$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. неровный, ступенчатый, что отражает иерархию сейсмических циклов (рисунок 9 (б)). Его тренд выражается формулой:

$$\Delta\sigma(\text{cum}) = (2.4804T - 4867) \cdot E+8, R^2=0.99,$$

T - время (год), R^2 - достоверность аппроксимации.

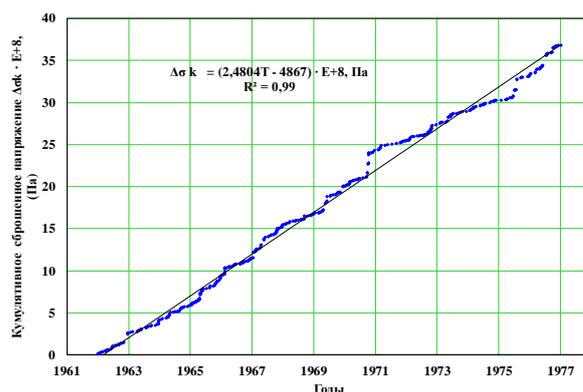


Рисунок 9 (б). Кумулятивное сброшенное напряжение $\Delta\sigma(\text{cum})$ (Па) в очагах землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^{\circ}-40.80^{\circ}$, $\lambda=70.00^{\circ}-71.61^{\circ}$ в пределах города Баткен, за 1962-1977 гг. Сплошной чёрной линией обозначен тренд.

Карта-схема распределения сброшенного напряжения $\Delta\sigma$ (Па) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^{\circ}-40.80^{\circ}$, $\lambda=70.00^{\circ}-71.61^{\circ}$ в пределах города Баткен, за 1962-1977 гг. представлена на рисунке 9 (в) за исключением значения $\Delta\sigma$ при Исфара-Баткенском землетрясении, которое равно $\Delta\sigma=1255.307$ Па. На распределении сброшенного напряжения поперечных волн землетрясений выделяются аномальные и межаномальные области.

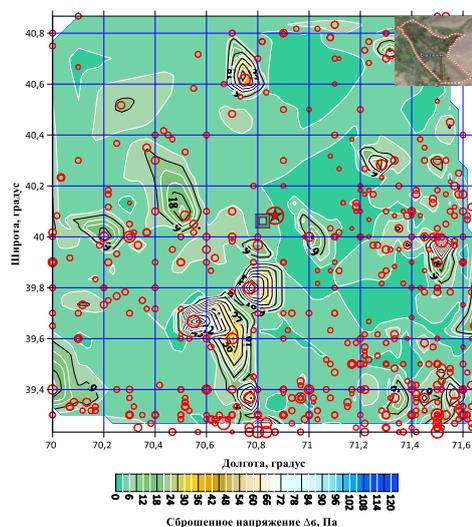


Рисунок 9 (в). Карта-схема распределения сброшенного напряжения $\Delta\sigma$ (Па) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в пределах города Баткен с 1962 г. по 1977 г. без значения

$\Delta\sigma$ при Исфара-Баткенском землетрясении. Красными кружочками обозначены эпицентры событий. Звёздочкой обозначено Исфара-Баткенское землетрясение (31.01.1977 г., $K_R=15.5$, $M=6.3$, $I_0=8$ баллов, $h=20$ км). Вырезка площади г. Баткен (серый квадрат) показана в верхнем правом углу.

Последовательность Радиуса Брюна R (м) разломов в очагах землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г., которая оказывала воздействия на напряжённо-деформированное состояние зданий, сооружений и толщи грунта, приведена на рисунке 10 (а). На графике отмечается, что динамика сейсмического воздействия сброса напряжений в очагах землетрясений имела циклический характер.

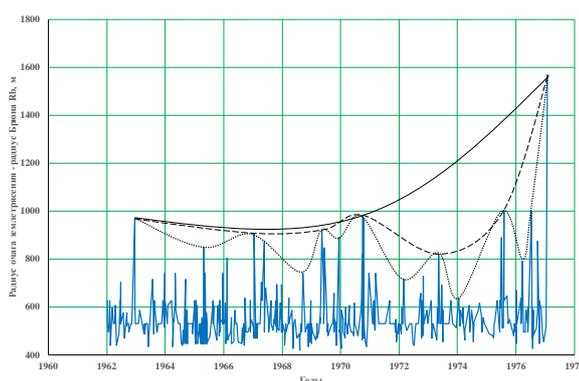


Рисунок 10 (а). График последовательности Радиуса Брюна R (м) разломов в очагах землетрясений $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. Сейсмический цикл третьего порядка обозначен точечной линией, цикл второго порядка - пунктирной линией, цикл первого порядка - сплошной линией.

График кумулятивного Радиуса Брюна $R(\text{cum})$ (м) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. - неровный, ступенчатый, что является отражением иерархии сейсмических циклов (рисунок 10 (б)). Его тренд выражается формулой:

$$R(\text{cum}) = (701.11T - 1E+06) \cdot 200, R^2 = 0.98,$$

T - время (год), R^2 - достоверность аппроксимации.

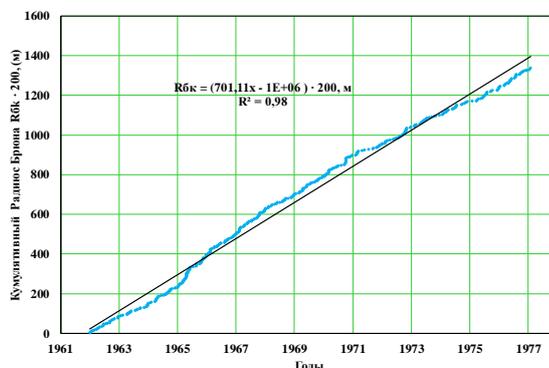


Рисунок 10 (б). Кумулятивный Радиус Брюна $R(\text{cum})$ (м) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$ в пределах города Баткен, за 1962-1977 гг. Сплошной чёрной линией обозначен тренд.

Карта-схема распределения Радиуса Брюна R (м) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$ в пределах города Баткен, за 1962-1977 гг. представлена на рисунке 10 (в) за исключением значения R при Исфара-Баткенском землетрясении, которое равно $R = 1571$ м. На распределении Радиуса Брюна поперечных волн землетрясений выделяются аномальные и межаномальные области.

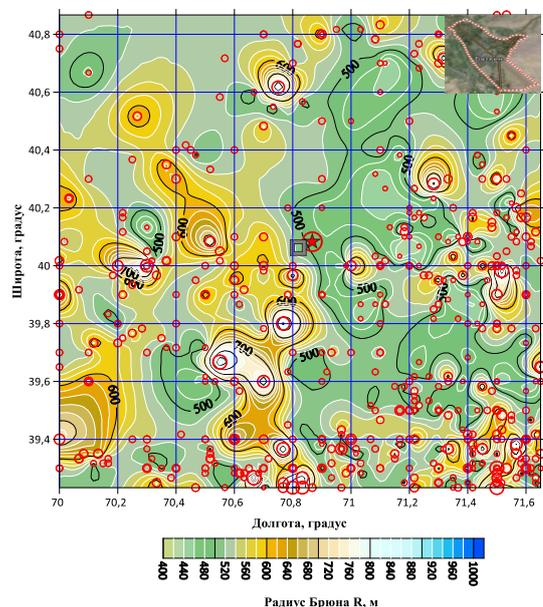


Рисунок 10 (в). Карта-схема распределения Радиуса Брюна R (м) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в пределах города Баткен с 1962 г. по 1977 г. без значения R при Исфара-Баткенском землетрясении. Красными кружочками обозначены эпицентры событий. Звёздочкой обозначено Исфара-Баткенское землетрясение (31.01.1977 г., $K_R=15.5$, $M=6.3$, $I_0=8$ баллов, $h=20$ км). Вырезка площади г. Баткен (серый квадрат) показана в верхнем правом углу.

График кумулятивной сейсмической силы $F(\text{cum})$ (Н) на расстоянии $E/2R$ Радиуса Брюна поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^\circ-40.80^\circ$, $\lambda=70.00^\circ-71.61^\circ$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. - неровный, ступенчатый, что является отражением иерархии сейсмических циклов (рисунок 11 (а)). Его тренд выражается формулой:

$$F(\text{cum}) = (0.0126T - 24.696) \cdot E + 11, R^2 = 0.93,$$

T - время (год), R^2 - достоверность аппроксимации.

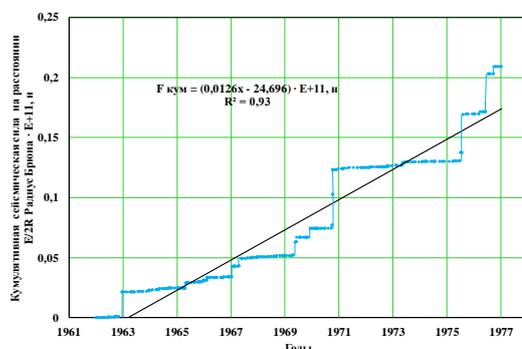


Рисунок 11 (а). Кумулятивная сейсмическая сила $F(\text{cum})$ (Н) на расстоянии $E/2R$ Радиуса Брюна поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами

$\varphi=39.20^{\circ}-40.80^{\circ}$, $\lambda=70.00^{\circ}-71.61^{\circ}$ в пределах города Баткен, за 1962-1977 гг. Сплошной чёрной линией обозначен тренд.

Карта-схема распределения силы F (Н) землетрясений ($K_R \geq 7.6$) $\lg(E/10 R)$ на расстоянии $10 \cdot R$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^{\circ}-40.80^{\circ}$, $\lambda=70.00^{\circ}-71.61^{\circ}$ в пределах города Баткен, за 1962-1977 гг. показана на рисунке 11 (б). Распределение силы землетрясений ($K_R \geq 7.6$) $\lg(E/10 R)$ на расстоянии $10 \cdot R$ имеет мозаичный характер, который отражает поле динамики сейсмического воздействия.

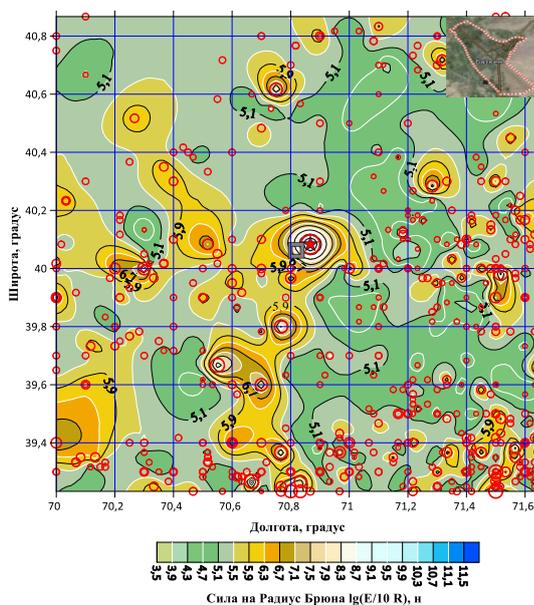


Рисунок 11 (б). Карта-схема распределения силы F (Н) землетрясений ($K_R \geq 7.6$) $\lg(E/10 R)$ на расстоянии $10 \cdot R$ (н) в пределах города Баткен с 1962 г. по 1977 г. Звёздочкой обозначено Исфара-Баткенское землетрясение (31.01.1977 г., $K_R = 15.5$, $M = 6.3$, $I_0 = 8$ баллов, $h = 20$ км). Вырезка площади г. Баткен (серый квадрат) показана в верхнем правом углу.

В динамике сейсмических воздействий на постройки и грунты предопределяющую роль играет последовательность подвижек (D , см) – дислокаций в очагах землетрясений (рисунок 12 (а)). На графике последовательности проявления подвижек в очагах землетрясений отмечается иерархия сейсмических циклов. Величина средней подвижки в очаге Исфара-Баткенского землетрясения составляла около 59 см.

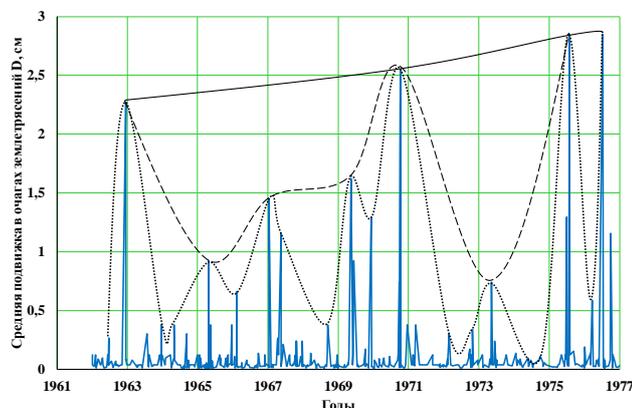


Рисунок 12 (а). График последовательности средних подвижек D (см) в очагах землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^{\circ}-40.80^{\circ}$,

$\lambda=70.00^{\circ}-71.61^{\circ}$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. Сейсмический цикл третьего порядка обозначен точечной линией, цикл второго порядка - пунктирной линией, цикл первого порядка – сплошной линией.

График кумулятивной средней подвижки $D(\text{cum})$ (см) в очагах землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^{\circ}-40.80^{\circ}$, $\lambda=70.00^{\circ}-71.61^{\circ}$ в пределах города Баткен, с 1962 г. по 1977 г. - неровный, ступенчатый, что является отражением иерархии сейсмических циклов (рисунок 12 (б)). Его тренд выражается формулой:

$$D(\text{cum})=(0.0126T-24.696)\cdot E+11, R^2=0.93,$$

T - время (год), R^2 - достоверность аппроксимации.

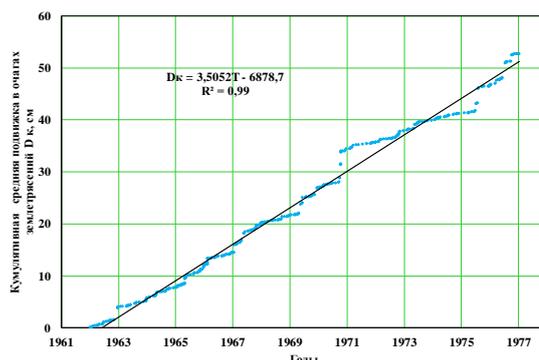


Рисунок 12 (б). Кумулятивная средняя подвижка $D(\text{cum})$ (см) в очагах землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^{\circ}-40.80^{\circ}$, $\lambda=70.00^{\circ}-71.61^{\circ}$ в пределах города Баткен, за 1962-1977 гг. Сплошной чёрной линией обозначен тренд.

Карта-схема распределения средней подвижки D (см) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в квадрате, ограниченном координатами $\varphi=39.20^{\circ}-40.80^{\circ}$, $\lambda=70.00^{\circ}-71.61^{\circ}$ в пределах города Баткен, за 1962-1977 гг. представлена на рисунке 12 (в) за исключением значения D при Исфара-Баткенском землетрясении, которое равно $D=59$ см. На распределении средней подвижки поперечных волн землетрясений выделяются аномальные и межаномальные области.

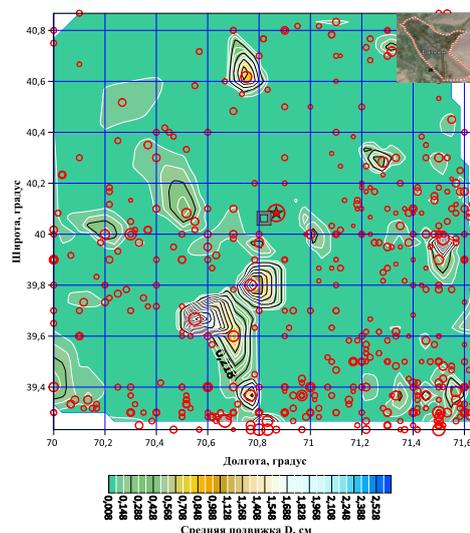


Рисунок 12 (в). Карта-схема распределения средней подвижки D (см) поперечных волн землетрясений с $K_R \geq 7.6$ в пределах города Баткен с 1962 г. по 1977 г. без значения D

при Исфара-Баткенском землетрясении. Красными кружочками обозначены эпицентры событий. Звёздочкой обозначено Исфара-Баткенское землетрясение (31.01.1977 г., $K_R=15.5$, $M=6.3$, $I_0=8$ баллов, $h=20$ км). Вырезка площади г. Баткен (серый квадрат) показана в верхнем правом углу.

Наряду с вышеизложенным следует подчеркнуть, что одним из важных параметров динамики сейсмического воздействия является время и скорость разрушения массива горных пород. Так, глубина очага Исфара-Баткенского землетрясения составляла около 20 км. Скорость разрушения $V_{разр}=0.9 \cdot V_s$ на глубинах с -20 км по -5 км, где гипербазитовые породы $V_s=4.5$ км/сек, с -5 км по -1 км, где сланцы, известняки $V_s=3$ км/сек, на глубинах выше -1 км, сложенные галечниками и суглинками $V_s=1-2$ км/сек составляют $V_{разр} = 4$ км/сек, 2.7 км/сек и 0.9-1.8 км/сек, соответственно.

Заключение

На основании проведения исследования получены нижеследующие результаты:

- изучены динамические параметры очагов землетрясений по каталогу ИС НАН КР и соотношения этих параметров;
- по этим соотношениям сформулировано начало динамики сейсмических воздействий в пределах города Баткен в период 1962-1977 гг.
- отмечено, что параметрами динамики сейсмических воздействий могут быть нижеследующие: сейсмическая энергия, E (Дж); моментная магнитуда, M_w ; сейсмический момент, M_0 (Н·м); угловая - резонансная частота, f_0 (Гц); характерный период сейсмических волн $T=1/f_0$ (сек), циклическая (или круговая) частота, ω (рад/сек); спектральная плотность, Ω_0 (мк/сек) – скорость смещения поперечных волн; сброшенное напряжение, $\Delta\sigma$ (Па); радиус Брюна в очаге, R (м); средняя подвижка, D (см);
- эти параметры возможно определяют уязвимость зданий и сооружений, которая необходима для строительной инженерии и инженерной сейсмологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джанузаков К.Д., Омуралиев М., Омуралиева А., Ильясов Б.И., Гребенникова В.В. Сильные землетрясения Тянь-Шаня. -Бишкек: Илим, 2003. -216 с.
2. Рекомендации по производству инженерно-геологической съёмки при инженерных изысканиях для строительства. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. - 144 с.
3. Отчёт «Сейсмическое микрорайонирование территории райцентра Баткен и прилегающих к нему населённых пунктов» Фрунзе, 1979. /Фонды Института сейсмологии НАН КР.
4. Кнауф В.И., Кузнецов М.П., Нурманбетов К., Христов Е.В., Шилов Г.Г. Домезозойские структуры и сейсмичность Киргизии. -Фрунзе: Илим,1981. -74с.
5. Brune J.N. Tectonic Stress and the Spectra of Seismic Shear Waves from Earthquakes. //Journal of Geophysical Research. -1970. -V.75, -pp.4997-5009. <http://dx.doi.org/10.1029/JB075i026p04997>
6. Омуралиев М., Омуралиева А., Мамбетсадыкова А. Анализ динамических параметров очагов землетрясений Тянь-Шаня. //Вестник Института сейсмологии НАН КР. -2023. - № 2(22). -С. 47-64.
7. 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.

8. Касахара К. Механика землетрясений. – М.: Мир, 1985. – 264 с.
9. Richter C.F. An Instrumental Earthquake Magnitude Scale. // *Bulletin of the Seismological Society of America*. -1935. -Vol. 25, No.1. -pp. 1-32.
10. Справочник физических констант горных пород (Науки о Земле, Т.21). /Под ред. С. Кларка мл. -М.: Мир, 1969. -543 с.
11. Каталог параметров движений грунта по данным цифровых станций сети сильных движений на территории г. Алматы за 2000-2010 гг. /Отв. ред. Т.Абаканов. -Алматы, 2011. -134 с.
12. Руководство по инженерным изысканиям для строительства. ПНИИИС Госстроя СССР. -М.: Стройиздат, 1982. – 144 с.

Рецензент чл.-корр. НАН КР, д.г.-м.н., проф. Абдрахматов К.Е.