

УДК.550.34; 551.1

Миркин Е.Л., Багманова Н.Х
Институт сейсмологии НАН КР при ПКР,
г. Бишкек, Кыргызстан

О СЕЙСМИЧНОСТИ И ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СИЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА ТЕРРИТОРИИ НАРЫНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. Проведено изучение пространственно-временного распределения относительно сильных землетрясений с энергетическим классом $K_R \geq 12.6$ территории Нарынской области и приграничных с ней районов. Прослежены вариации проявления сейсмической активности во времени и в пространстве; отмечены особенности сейсмического режима в различных частях изучаемого района. Приводятся результаты применения метода оценки вероятности возникновения сильных сейсмических событий на основе обработки статистической информации о сейсмических событиях для территории Нарынской области Кыргызской Республики.

Ключевые слова: сильные землетрясения, магнитуда, энергетический класс, сейсмогенерирующая зона, вероятностная модель, сейсмический режим, сейсмическая активность.

НАРЫН АЙМАГЫНДАГЫ СЕЙСМИКАЛЫК АБАЛ ЖАНА КҮЧТҮҮ СЕЙСМИКАЛЫК ОКУЯЛАРДЫН ЫКТЫМАЛДУУЛУГУ

Кыскача мазмуну. Нарын аймагында жана ага жакын аймактарда $K_R \geq 12.6$ энергетикалык класстагы салыштырмалуу күчтүү жер титирөөлөрдүн мейкиндик-убакыттык бөлүштүрүлүшү изилденген. Убакыт жана мейкиндик боюнча сейсмикалык активдүүлүктүн өзгөрүүлөрү байкалып, изилдөө аймагынын ар кайсы бөлүктөрүндөгү сейсмикалык режимдин өзгөчөлүктөрү белгиленген. Кыргыз Республикасынын Нарын аймагы үчүн сейсмикалык окуялар боюнча статистикалык маалыматты иштетүүгө негизделген күчтүү сейсмикалык окуялардын ыктымалдуулугун баалоо ыкмасын колдонуунун жыйынтыктары келтирилген.

Негизги сөздөр: күчтүү жер титирөөлөр, магнитуда, энергия классы, сейсмогендик зона, ыктымалдуулук модели, сейсмикалык режим, сейсмикалык активдүүлүк.

SEISMICITY AND THE PROBABILITY OF STRONG SEISMIC EVENTS IN THE NARYN REGION

Abstract. The spatiotemporal distribution of relatively strong earthquakes with an energy class $K_R \geq 12.6$ in the Naryn region and adjacent areas was studied. Variations in seismic activity over time and space were tracked, and seismic regime features in different parts of the study area were noted. The results of applying a method for estimating the probability of strong seismic events based on the processing of statistical information on seismic events for the Naryn Region of the Kyrgyz Republic are presented.

Keywords: strong earthquakes, magnitude, energy class, seismogenic zone, probabilistic model, seismic regime, seismic activity.

Анализ хода сейсмического режима во времени. Под сейсмическим режимом какой-либо области подразумевается совокупность землетрясений этой области, рассматриваемая в пространстве и во времени [1]. Неоднократно предпринимались попытки получения определённых закономерностей в сложных и запутанных пространственно-временных соотношениях между параметрами землетрясений. Наличие таких закономерностей

Ввиду сложности и многообразия упомянутых соотношений и в связи с множеством факторов, от которых они зависят, задача их изучения приобретает в большей мере статистический характер. В рассмотрении совокупностей землетрясений можно условно различать два главных направления: 1) изучение временного хода сейсмической деятельности и 2) изучение долговременных средних показателей сейсмичности.

Как видно из рисунка 1, на исследуемой территории не происходило землетрясений, энергетический класс которых превышал $K_R = 14.0$, за исключением её южной краевой части, относящейся к Кокшальской сейсмоактивной зоне.

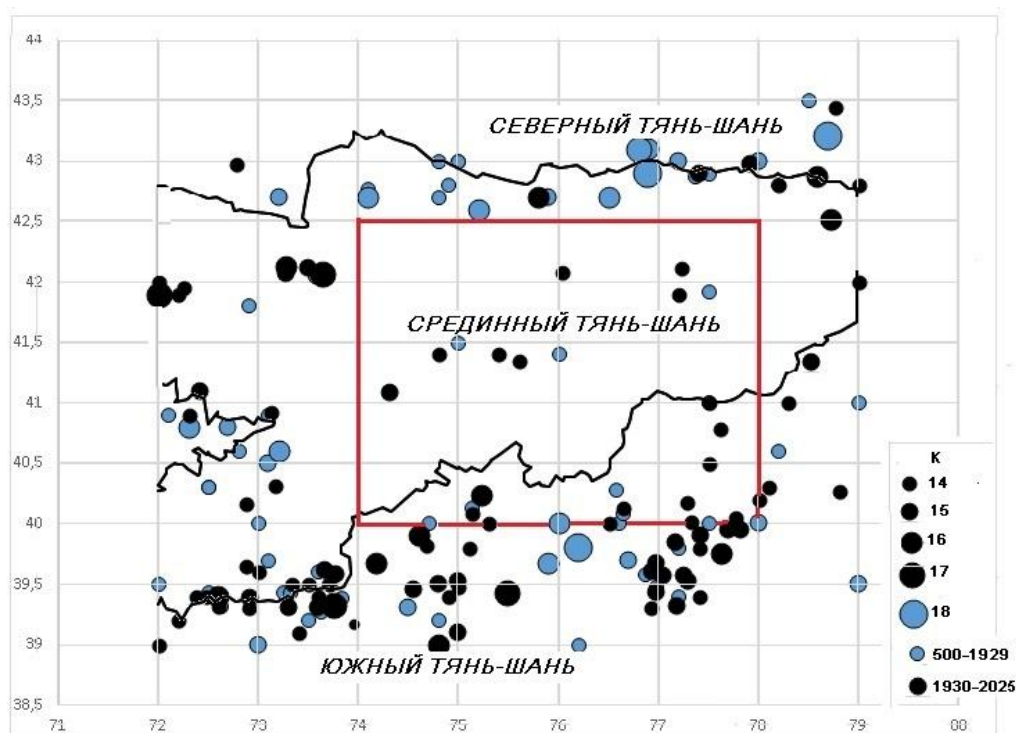


Рисунок 1. Пространственное распределение землетрясений с $K_R \geq 14.0$.

При дополнении этой пространственной картины распределения сильных землетрясений событиями с $K_R=13.0$ (рисунок 2) также отмечается их немногочисленность по сравнению с районами Северного и Южного Тянь-Шаня. Обращает на себя внимание значительная по величине область, на которой за все время наблюдения не происходили землетрясения с $K_R \geq 14.0$, а землетрясения с $K_R=13.0$ малочисленны. Дополним эту картину пространственного распределения землетрясений временным ходом (двадцатипятилетний период времени), на рисунке 3 представлено пространственно-временное распределение землетрясений с $K_R \geq 13.0$, на котором отчётливо видно повсеместное (в рамках изучаемого

района) отсутствие землетрясений с $K_R \geq 15.0$ и немногочисленность произошедших землетрясений с $K_R=13.0-14.0$ в течении последних двадцати пяти лет (2001-2025 гг.). Очевидно, что рассматривать временной ход сейсмичности столь неоднородного по распределению землетрясений района в целом будет некорректно, поэтому временной ход сейсмичности будем рассматривать отдельно для областей с координатами : $\text{lat} = 40.0^\circ - 40.9^\circ$, $\text{lon} = 74.0^\circ - 78.0^\circ$ и $\text{lat} = 41.0^\circ - 42.5^\circ$, $\text{lon} = 74.0^\circ - 78.0^\circ$ (рисунок 4) (деление на области весьма условное).

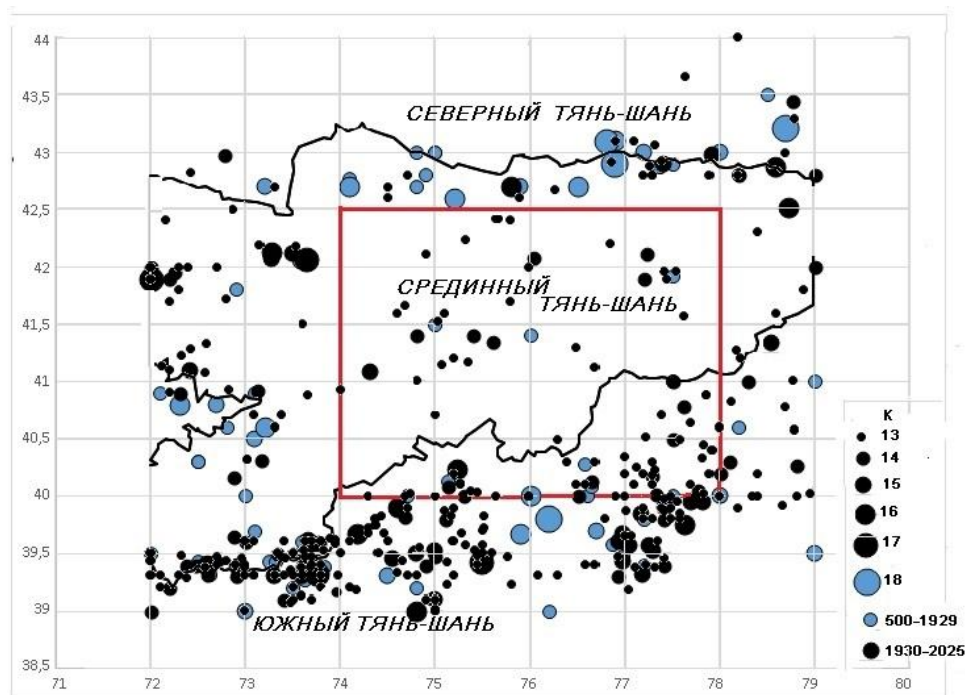


Рисунок 2. Пространственное распределение землетрясений с $K_R \geq 13.0$.

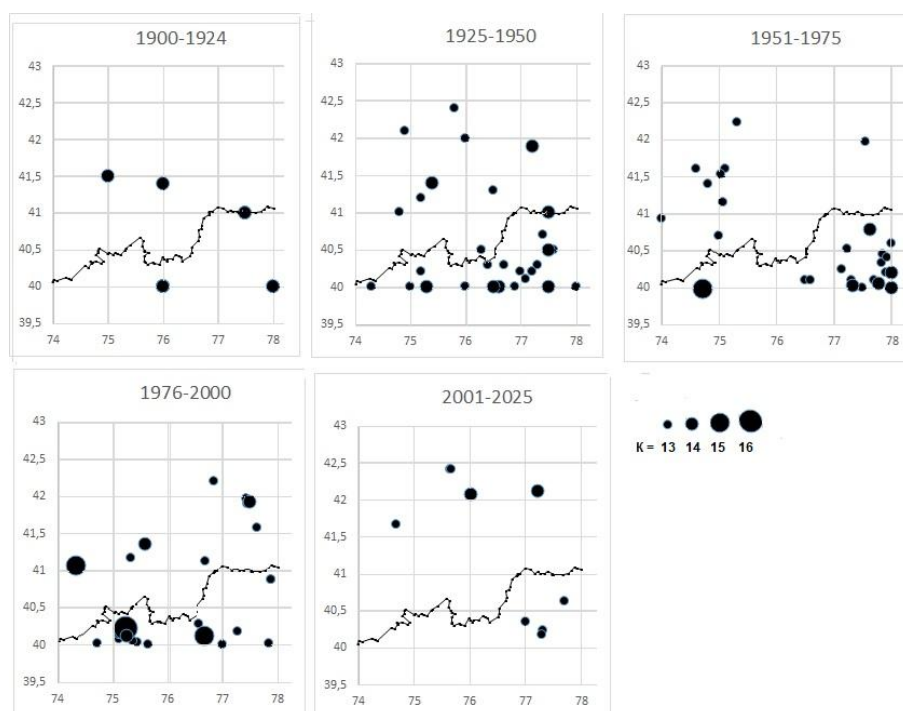


Рисунок 3. Пространственно-временное распределение землетрясений с $K_R \geq 13.0$.

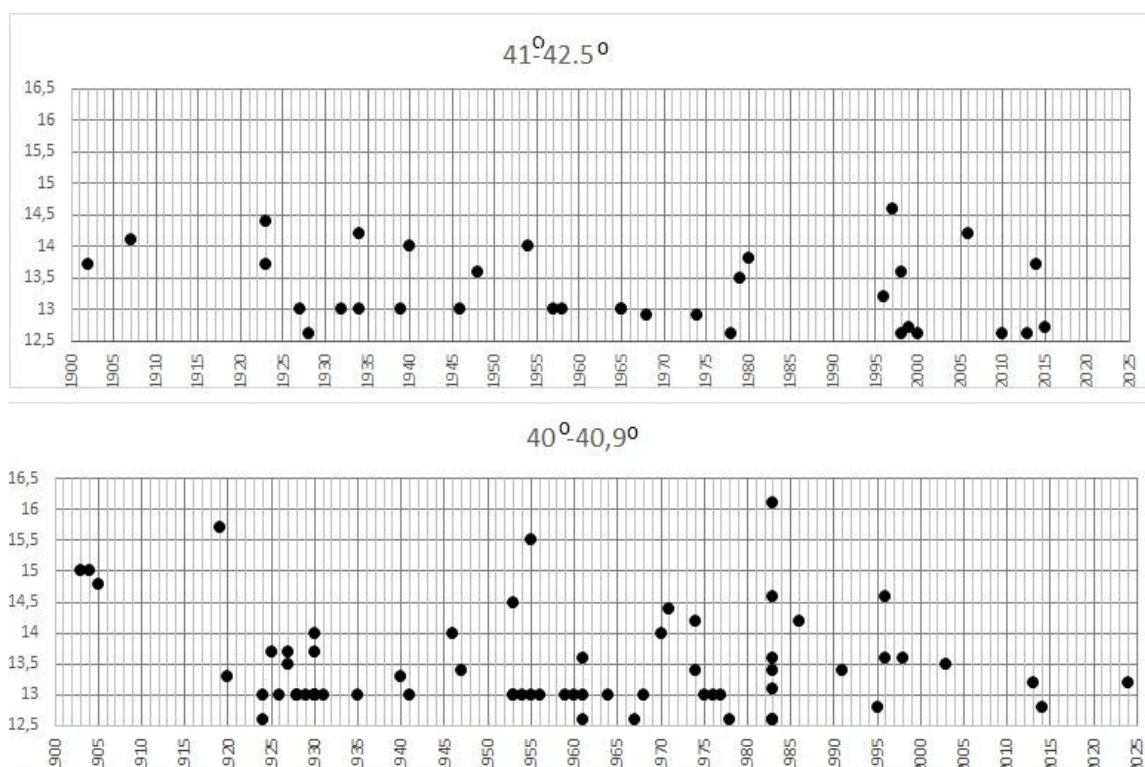


Рисунок 4. Распределение сейсмичности (с $K_R \geq 13.0$) по времени и по сейсмической энергии для двух областей (1 область: lat = 40.0°-40.9°, lon = 74.0°-78.0°; вторая область: lat = 41.0°-42.5°, lon = 74.0°-78.0°).

1 область (lat = 40.0°-40.9°, lon = 74.0°-78.0°) (рисунок 4) – с 1902 г. по 1954 г. произошло восемь событий с $K = 14.0$ (13.6-14.5) и шесть событий с $K = 13.0$ (12.6-13.5). Затем с 1954 г. по 1980 г. землетрясений с $K_R = 14.0$ не происходило, в этот период произошло семь событий с $K = 13.0$. С 1980 г. по 1996 г. землетрясений с $K_R = 13.0 - 14.0$ не происходило. И после этого периода затишья проявилась активизация - с 1996 г. по 2000 г. произошло шесть событий с $K_R \geq 13.0$, среди которых и самое сильное (1997 г., $K_R = 14.6$). Следующее событие с $K_R = 14.0$ произошло в 2006 году. С 2010 г. по 2015 г. произошло четыре землетрясения с $K_R \geq 13.0$. В дальнейшем землетрясений с $K_R \geq 13.0$ не происходило.

2 область (lat = 41.0°- 42.5°, lon = 74.0°-78.0°) - землетрясения этой области в основном сконцентрированы в юго-восточной и южной части, относящейся к высокосейсмичной Кокшаальской сейсмоактивной зоне. Наиболее сильные землетрясения произошли в 1919 г. ($K_R = 15.7$), 1955 г. ($K_R = 15.5$) и в 1983 г. ($K_R = 16.1$). Землетрясения с $K_R = 14.0$ отмечаются в период с 1925 г. по 1930 г. (пять событий), следующие землетрясения такой энергии произошли в 1946 г. и 1953 г. Далее отмечается пятнадцатилетний период отсутствия землетрясений с $K_R \geq 14.0$ до 1970 года. С 1970 г. по 1974 г. произошло три землетрясения с $K_R = 14.0$, после которых до 1983 года землетрясений такого уровня энергии не происходило.

После произошедшего в 1983 году сильного землетрясения с $K_R = 16.1$ и ряда землетрясений с $K_R = 13.0-14.0$ (1983-1986 гг.) следующее сильное землетрясение происходит через десять лет (1996 г., $K_R = 14.6$). В дальнейшем и до настоящего времени землетрясений с $K_R \geq 15.0$ не произошло. Для землетрясений с $K_R = 13.0$ отмечаются периоды их отсутствия с 2003 г. по 2013 г. и с 2014 г. по 2024 г.

Представляет интерес дополнение картины распределения сильных землетрясений района исследования землетрясениями меньшего энергетического уровня. На рисунке 5 представлено пространственное распределение землетрясений с энергетическим классом

$K_R = 12.0$, $K_R = 11.0$, $K_R = 10.0$ и $K_R = 9.0$, а их временное распределение показано на рисунке 6.

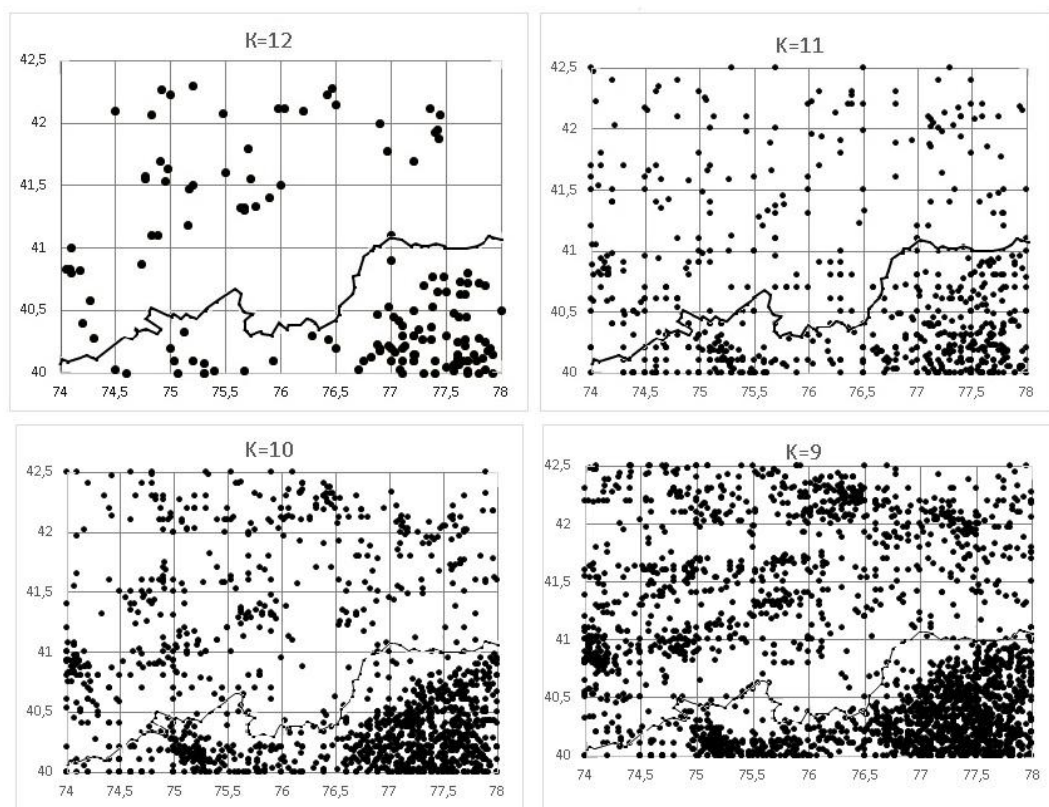


Рисунок 5. Пространственное распределение землетрясений с энергетическим классом $K_R = 12.0$, $K_R = 11.0$, $K_R = 10.0$ и $K_R = 9.0$.

Как видно на рисунке 5, землетрясения с энергетическим классом $K_R = 12.0$ локализуются в тех же областях, где происходят более сильные события. Землетрясения с энергетическим классом $11.0 \geq K_R \geq 9.0$ более многочисленны и на исследуемой территории происходят повсеместно. Временное их распределение представлено на рисунке 6 (здесь приводится распределение на общей рассматриваемой территории). Долговременных периодов отсутствия землетрясений с $11.0 \geq K_R \geq 9.0$ не отмечается.

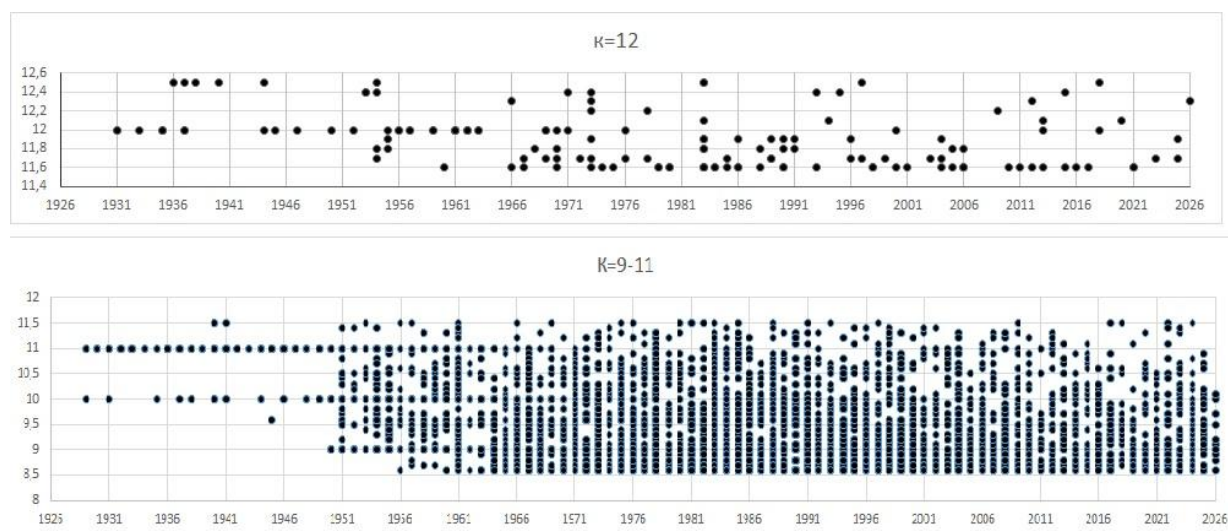


Рисунок 6. Распределение сейсмичности (с $12.0 \geq K_R \geq 9.0$) по времени и по энергетическому классу.

О вероятности возникновения сильных сейсмических событий на территории Нарынской области. В [2] авторами данной работы был предложен новый метод оценки вероятности возникновения значимых сейсмических событий, позволяющий эффективно картировать вероятностную картину сейсмической опасности изучаемого района. В дальнейшем, в работе [3] предложен улучшенный вариант метода оценки вероятности возникновения значимых сейсмических событий, принадлежащих определённому энергетическому диапазону, на основе обработки накопленной за весь период наблюдений статистической информации о сейсмических событиях в исследуемом регионе. Основные принципы и алгоритмы предлагаемого метода приводятся в [2, 3], а в данной статье показано применение этого метода для рассматриваемой территории Нарынской области. Исходными данными для расчёта вероятности возникновения сильных событий являлись данные каталога землетрясений [1]. Точность картирования вероятности возникновения сильных событий обеспечивалась методом кубической триангуляции отсутствующих данных между узлами сетки. Используемый для расчёта прямоугольный трафарет имеет узлы сетки с шагом – 0.167° по широте и – 0.25° по долготе; площадь трафарета составляет $S=1535.5 \text{ км}^2$). Трафарет в виде окружности представляет собой *окружность* с радиусом больше шага сетки дискретизации $R=35 \text{ км}$, который обеспечивает равную удалённость крайних точек трафарета от узла сетки, являющегося центром окружности. Отметим, что слишком большой радиус окружности может привести к потере специфичности узла сетки. При этом площадь трафарета S должна быть достаточно большой для объективного отображения значимых сейсмических событий, влияющих на сейсмический режим конкретного узла сетки, т.е. обладать обобщающим свойством. В нашем случае, выбранный радиус окружности обеспечивает достаточно большую площадь ($S = \pi R^2 = 3848.5 \text{ км}^2$) агрегации значимых сейсмических событий.

Сейсмическую опасность удобно оценивать вероятностной мерой возникновения сильных сейсмических событий, влекущих к возможному ущербу населению, зданиям и сооружениям, а также к техногенным катастрофам из-за особенностей рельефа местности и возможного расположения опасных производств в сейсмоопасных районах.

Свяжем понятие сейсмической угрозы [2, 3] в конкретном узле координатной сетки (φ, λ) с вероятностью возникновения значимого события энергетического класса выше заданного – K^* , характеризующегося вероятностью $P_{\varphi\lambda}^{K^*}$, то есть вероятностью попадания сейсмического события в интервал – $K^* \leq K \leq K_{\max}$

$$P_{\varphi\lambda}^{K^*} = P_{\varphi\lambda}(K^* \leq K \leq K_{\max}), \quad (1)$$

где $K_{\max}$ – сейсмическое событие максимально возможного класса в данном узле координатной сетки (φ, λ) . Очевидно, что вероятность попадания случайной величины K в заданный интервал $K^* \leq K \leq K_{\max}$, определяется через её плотность распределения $f_{\varphi\lambda}(K)$ следующим образом:

$$P_{\varphi\lambda}^{K^*} = P_{\varphi\lambda}(K^* \leq K \leq K_{\max}) = \int_{K^*}^{K_{\max}} f_{\varphi\lambda}(K) dK, \quad (2)$$

Причём землетрясения с энергетическим классом в диапазоне $K_{\min} \leq K \leq K_{\max}$ представляют полную группу событий

$$P_{\varphi\lambda}(K_{\min} \leq K \leq K_{\max}) = \int_{K_{\min}}^{K_{\max}} f_{\varphi\lambda}(K) dK = 1. \quad (3)$$

Таким образом, для определения сейсмического риска в конкретном узле координатной сетки $P_{\varphi\lambda}^{K^*}$ необходимо определить функцию плотности вероятности

значимого сейсмического события $f_{\varphi\lambda}(K)$ для $K \in [K_{\min}, K_{\max}]$. Предлагается идентифицировать функцию плотности вероятности $f_{\varphi\lambda}(K)$ по имеющимся статистическим данным о значимых землетрясениях, приписанных узлу координатной сетки (φ, λ) .

Для исследуемого района Нарынской области на рисунках 7 и 8 представлены **карты вероятности возникновения сильных событий** (энергетического класса $K_R \geq 12.0$) с использованием прямоугольного трафарета (рисунок 7) и трафарета в виде окружности (рисунок 8).

По степени вероятности проявления сейсмических событий выделились области различной конфигурации. Области с наименьшими значениями вероятности проявления сильных событий ($K_R \geq 12.0$) отмечается на значительной по величине площади (рисунок 7). Области с максимальным значением вероятности сильных землетрясений отмечаются в северо-восточной, западной, юго-западной частях исследуемой территории. Сравнение результатов, полученных с использованием различных трафаретов агрегации данных (прямоугольник и окружность) показало, что использование окружности в качестве трафарета даёт более осреднённую картину ввиду его большей площади агрегации исходных данных. В северной и южной частях на схеме района исследования наблюдается различие в значении величины вероятности за счёт того, что в этих областях в расчёт (трафарет окружность) вошли сильные землетрясения Северо-Тяньшаньской и Гиссаро-Кокшаальской сейсмогенных зон ввиду большего охвата данных (рисунки 7, 8). При использовании трафарета агрегации данных в виде прямоугольника области с наибольшими значениями вероятности сильных землетрясений ($K_R \geq 12.0$) локализуются чёткими областями.

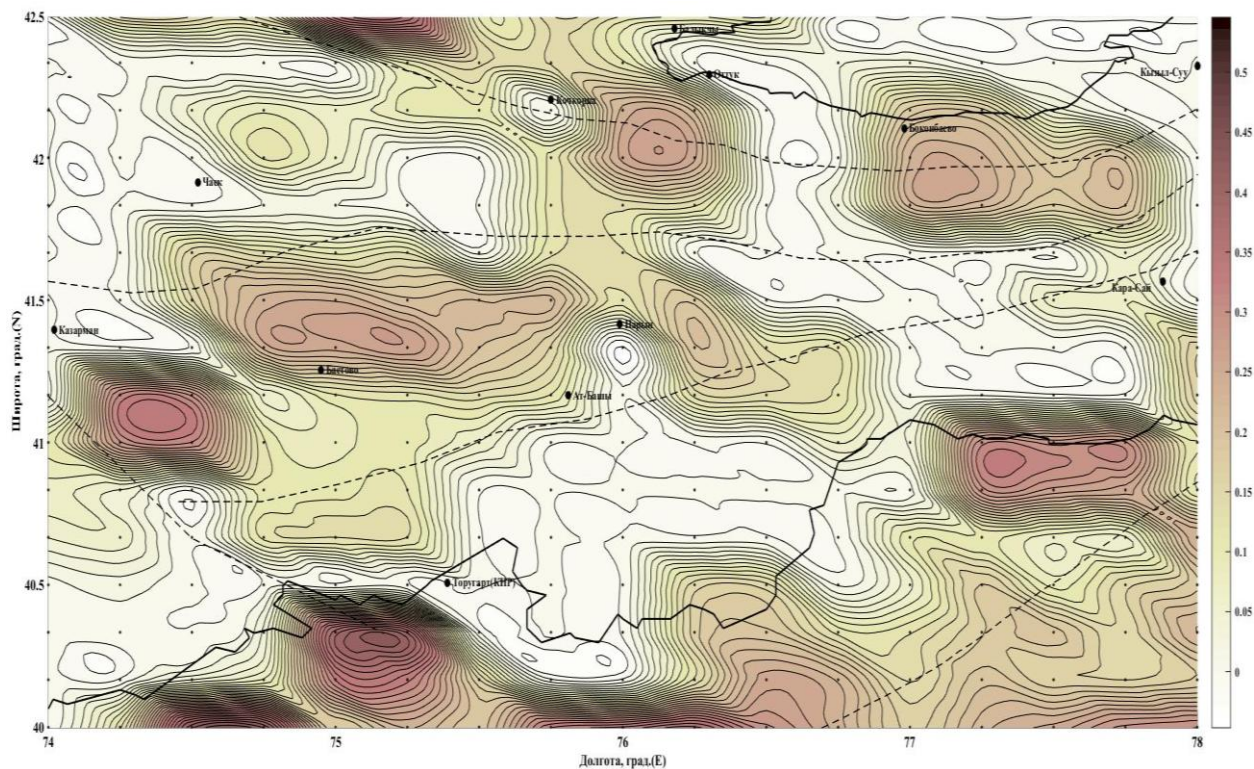


Рисунок 7. Карта (схема) вероятности возникновения сильных событий ($K_R \geq 12.0$) на территории Нарынской области (использован прямоугольный трафарет агрегации данных).

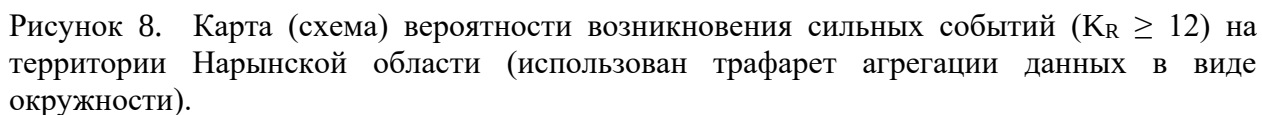


Рисунок 9. Суммарная сейсмическая энергия (в логарифмическом масштабе), выделившаяся за все годы наблюдения на территории Нарынской области (использован прямоугольный трафарет агрегации данных).

Основные результаты проведенного исследования

Получены и представлены карты вероятности возникновения сильных событий с использованием разработанного ранее в лаборатории «Региональная сейсмология» ИС НАН КР при ПКР метода оценки вероятности возникновения сильных сейсмических событий на основе обработки статистической информации о сейсмических событиях в исследуемом регионе, накопленной за весь период наблюдений (Каталог землетрясений с энергетическим классом $K_R \geq 8.0$ Центра Данных ИС НАН КР) в исследуемом районе – Нарынская область Кыргызской Республики ($lat = 40.0^\circ - 42.5^\circ N$, $lon = 74.0^\circ - 78.0^\circ E$). Проведён сравнительный анализ результатов картографирования сейсмических режимов для двух выбранных шаблонов агрегирования данных – прямоугольного трафарета и трафарета в виде окружности. По степени вероятности проявления сейсмических событий (с $K_R \geq 12.0$) выделились области различной конфигурации.

Получено пространственное распределение суммарной сейсмической энергии $E_{[K]}$ (в логарифмическом масштабе), выделившейся в границах диапазона $8.0 \leq K_R \leq 18.0$ за все годы наблюдения на исследуемой территории.

Рассмотрено пространственно-временное распределение сейсмичности территории Нарынской области с исторических времен по настоящее время. На исследуемой территории не происходило землетрясений, энергетический класс которых превышал $K_R=14.0$. Землетрясения с $K_R = 13.0$ малочисленны по сравнению с районами Северного и Южного Тянь-Шаня. Землетрясения с энергетическим классом $K_R=12.0$ локализуются в тех же областях, где происходят более сильные события. Землетрясения с энергетическим классом $11.0 \geq K_R \geq 9.0$ более многочисленны и на исследуемой территории происходят повсеместно. Долговременных периодов отсутствия землетрясений с $11.0 \geq K_R \geq 9.0$ не отмечается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каталог землетрясений с энергетическим классом $K_R \geq 8.0$ Центра Данных Института сейсмологии НАН КР с исторических времен по 2025 год. //Фонды Института сейсмологии НАН КР.
2. Миркин Е.Л., Фролова А.Г., Багманова Н.Х. Метод оценки вероятности возникновения сильных сейсмических событий. Материалы XI Казахстанско-китайского международного симпозиума «Прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмического риска в Центральной Азии». – Алматы – 2023. - С.189-198.
3. Миркин Е.Л., Багманова Н.Х., Фролова А.Г. Новый метод вероятностной оценки сейсмического режима // Вестник Института Сейсмологии Национальной Академии Наук Кыргызской Республики. - 2024.- 2 (24). - С. 53-76.

Рецензент: к.ф.-м. н. Фролова А.Г.