

УДК 550.34

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

СВОЙСТВА И ПРИРОДА РАЙОНА АНОМАЛЬНОГО СКОПЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Аннотация. В статье приведены результаты изучения свойства и природы района аномального скопления землетрясений, развивающегося в течение нескольких лет, в пределах активных поднятий в южной части западного окончания Иссык-Кульской впадины Северного Тянь-Шаня. Основой изучения района аномального скопления землетрясений являлся каталог землетрясений Института сейсмологии НАН КР по данным цифровых станций сети KNET (НС РАН) и KRNET (ИС НАН КР).

Ключевые слова: аномальное скопление, землетрясение, сейсмичность, активное поднятие, тектонический блок, дискретная геодинамическая среда, впадина, разлом, энергетический класс, сейсмический цикл, повторяемость землетрясений.

ТҮНДҮК ТЯНЬ-ШАНДАГЫ ЖЕР ТИТИРӨӨЛӨРДҮН АНОМАЛДУУ ТОПТОЛУУ АЙМАГЫНЫН КАСИЕТТЕРИ ЖАНА ТАБИЯТЫ

Кыскача мазмуну. Макалада Түндүк Тянь-Шандын Ысык-Көл ойдуңунун батыш четиндеги түштүк жактагы активдүү көтөрүлүүлөрдүн чегинде бир нече жылдар бою пайда болгон жер титирөөлөрдүн аномалдуу топтолуу аймагынын касиеттерин жана табиятын изилдөөнүн жыйынтыктары берилген. Жер титирөөлөрдүн аномалдуу топтолуу аймагын изилдөө КР УИАнын Сейсмология институтунун жер титирөө каталогтогу KNET жана KRNET тармактарынын санариптик станцияларынын маалыматтарынын негизинде жүргүзүлгөн.

Негизги сөздөр: аномалдуу топтолуу, жер титирөө, сейсмикалуулук, активдүү көтөрүлүү, тектоникалык блок, дискреттик геодинамикалык чөйрө, ойдуң, жарака, энергетикалык класс, сейсмикалык цикл, жер титирөөнүн кайталанышы.

PROPERTIES AND NATURE OF THE AREA OF ANOMALOUS CLUSTERING OF EARTHQUAKES IN THE NORTHERN TIEN SHAN

Abstract. Results of studying the properties and nature of an area of anomalous clustering of earthquakes that develops over several years within active uplifts in the southern part of the western end of the Issyk-Kul basin in the Northern Tien Shan are given in the paper. The area of anomalous clustering of earthquakes study was conducted by using earthquake catalog of the Institute of Seismology NAS KR based on the data of digital stations of the KNET (RS RAS) and KRNET (IS NAS KR) networks.

Keywords: anomalous clustering, earthquake, seismicity, active uplift, tectonic block, discrete geodynamic medium, basin, fault, energy class, seismic cycle, earthquake recurrence.

Введение

Природа возникновения районов аномального скопления землетрясений (РАСЗ), в том числе роев, и их свойств еще мало изучены [1]. Они возникают, как в зонах континентальной сейсмичности, так и в зонах субдукции. В области внутриконтинентального горообразования Тянь-Шаня РАСЗ отмечаются, где в прошлые годы имели место сильные землетрясения [2], например, (Сарыкамышское, 1970, $K = 15.6$; Джаланаш-Тюпское, 1978, $K = 15.6$; Суусамырское, 1992, $K = 17.0$ и др.), так и в областях, где сильных землетрясений ранее не было, например, на юго-западном окончании Иссык-

Кульской впадины (рисунок 1). Севернее от территории данного РАСЗ развивается Кунгейское устойчивое активное, южно-асимметричное (южное крыло крутое, северное крыло пологое) поднятие, ограниченное с юга разломом взбросового типа с северным азимутом падения [3]. Территория РАСЗ на западе и юго-западе ограничена периклиналями Кыргызского и Кызыломпульского поднятий северо-асимметричного строения, которые ограничены с севера разломами взбросового типа с южным, юго-западным азимутами падения (рисунок 2). Южнее от них западное окончание (периклиналь) Западно-Терской поднятия имеет дивергентное строение. Важно отметить, что Кокмойнокская впадина между Кунгейским и Кызыломпульским поднятиями имеет конвергентное строение. Точнее, восточнее Кызыломпульского поднятия на западной синклизе Иссык-Кульской впадины образовалось инверсионное поднятие Аколон. Восточнее и юго-восточнее этой системы активных структур отмечается своеобразная переходная, субмеридиональная зона, которая сменяется инверсионными южно-асимметричными поднятиями Кызылчоку и Тегерек - низких и высоких предгорий, соответственно (рисунок 3). Эти поднятия ограничены с юга разломами взбросового типа с северным азимутом падения. Южнее от них развивается Западно-Терское устойчивое поднятие южно-асимметричного строения, ограниченное с юга разломом взбросового типа с северным азимутом падения.



Рисунок 1. Карта-схема активных структур в пределах территории РАСЗ на юго-западном окончании Иссык-Кульской впадины. Поднятия: 1-Кунгей Ала-Тоо, 2-Кызыломпул, 3-Кыргызтоо, 4-Тегерек, 5- Западнй Терскей Ала-Тоо, 9- Кызылчоку.

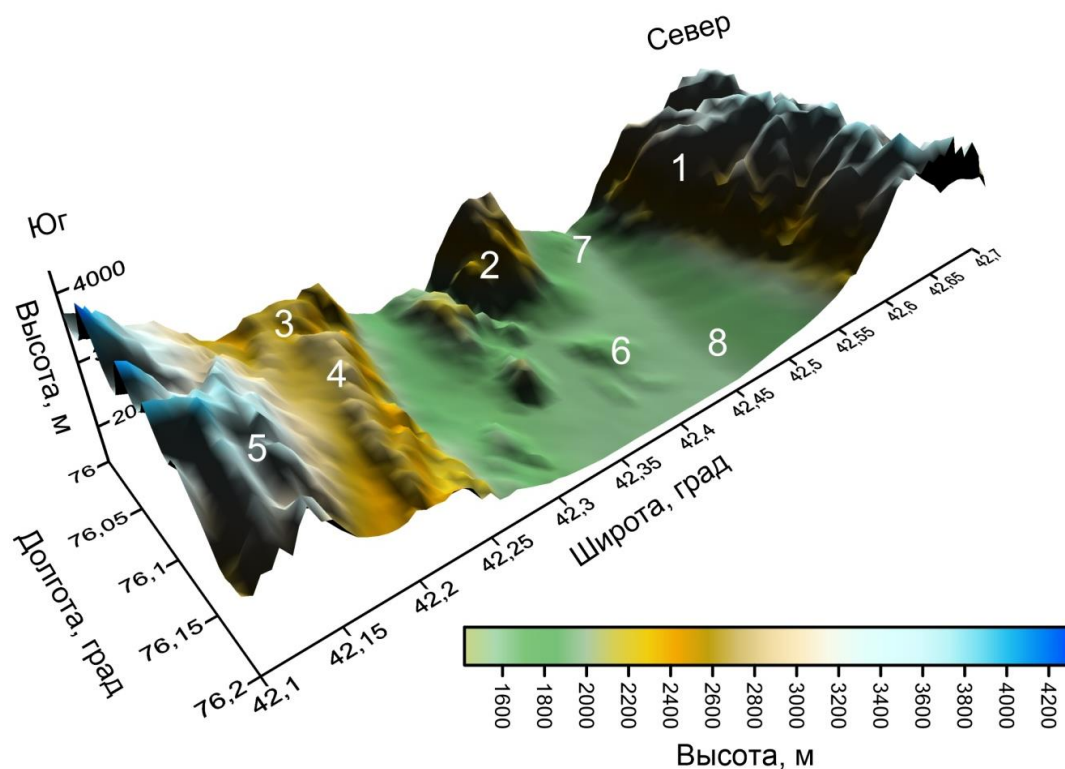


Рисунок 2. 3D-модель (по данным SRTM - радиолокационной топографической цифровой модели) активных структур восточнее территории РАСЗ. Поднятия: 1-Кунгей Ала-Тоо, 2-Кызылomuл, 3-Кыргызтоо, 4-Тегерек, 5-Западный Терскей Ала-Тоо, 6-Аколон, 9-Кызылчоку; впадины: 7-Кокмойнок, 8-Иссык-Кульская.

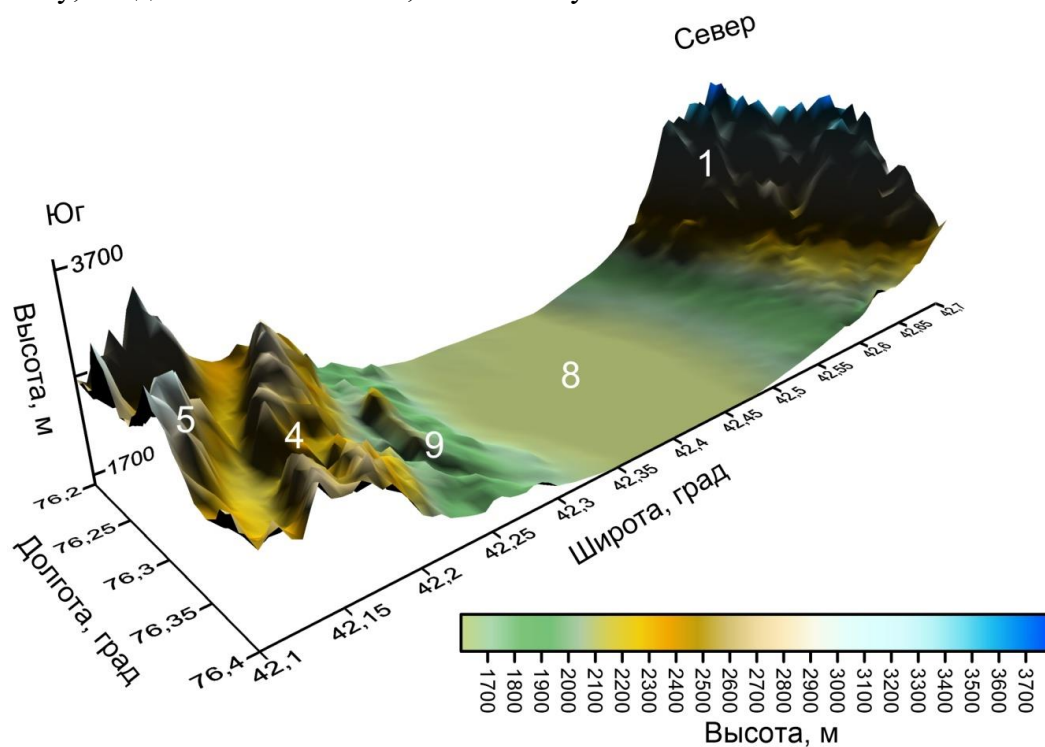


Рисунок 3. 3D-модель (по данным SRTM) активных структур восточнее территории РАСЗ. Поднятия: 1 - Кунгей Ала-Тоо, 4 - Тегерек, 5 - Западный Терскей Ала-Тоо, 9 - Кызылчоку; впадины: 8 - Иссык-Кульская.

Исходные данные РАСЗ

Исходными данными служит каталог землетрясений Института сейсмологии НАН Кыргызской Республики на основе записей цифровых сейсмических станций (расстояние между ними 30–35 км) сетей KNET (с 1991 г., ИС РАН) и KRNET (с 2008 г., ИС НАН КР). В Центре обработки данных (ЦД) Института сейсмологии Национальной Академии Наук Кыргызской Республики (ИС НАН КР) определяются основные параметры сейсмических волн. А именно, оцениваются значения: *rms* – среднеквадратическое отклонение времени пробега, наблюденных и вычисленных (погрешность); *se* – стандартное отклонение от времени вступления; *d* – класс точности определения эпицентра; *she* – 68%-ный доверительный интервал в определении положения эпицентра; глубина очага по заложенным скоростным моделям (*depth*) и по методикам, заложенным в программе Нуроellipse (*HZ*); *sez* – 68%-ный доверительный интервал в определении глубины очага землетрясения. Определяются амплитуды и периоды сейсмических волн, энергетический класс и магнитуды землетрясения. Составляются карточки (бюллетень) каждого землетрясения. Полученные данные сравниваются с данными мировых сетей разных стран (США, Англии, России и т.д.).

На рисунке 4 приведено распределение эпицентров землетрясений с $K=7.6-13.0$ за 1960-2021 гг. в пределах западной части Иссык-Кульской впадины и её горного обрамления - на территории, ограниченной координатами $\varphi=42.1^{\circ}-42.7^{\circ}\text{N}$, $\lambda=76.0^{\circ}-76.6^{\circ}\text{E}$. Здесь отмечается локальный район, где происходят частые слабые ($K < 12.0$) землетрясения в течение нескольких десятков лет. Предполагаемый РАСЗ может быть околонтурен пунктирной рамкой. Землетрясения рассматриваемого РАСЗ находятся в пределах территории $\varphi=42.17^{\circ}-42.41^{\circ}\text{N}$, $\lambda=76.23^{\circ}-76.58^{\circ}\text{E}$. В дальнейшем этот РАСЗ будет называться «районом аномального скопления землетрясений Улахол» по названию цифровой станция «Улахол» (ULHL, $\varphi=42.245^{\circ}\text{N}$, $\lambda=76.242^{\circ}\text{E}$) сети KNET, которая находится здесь.

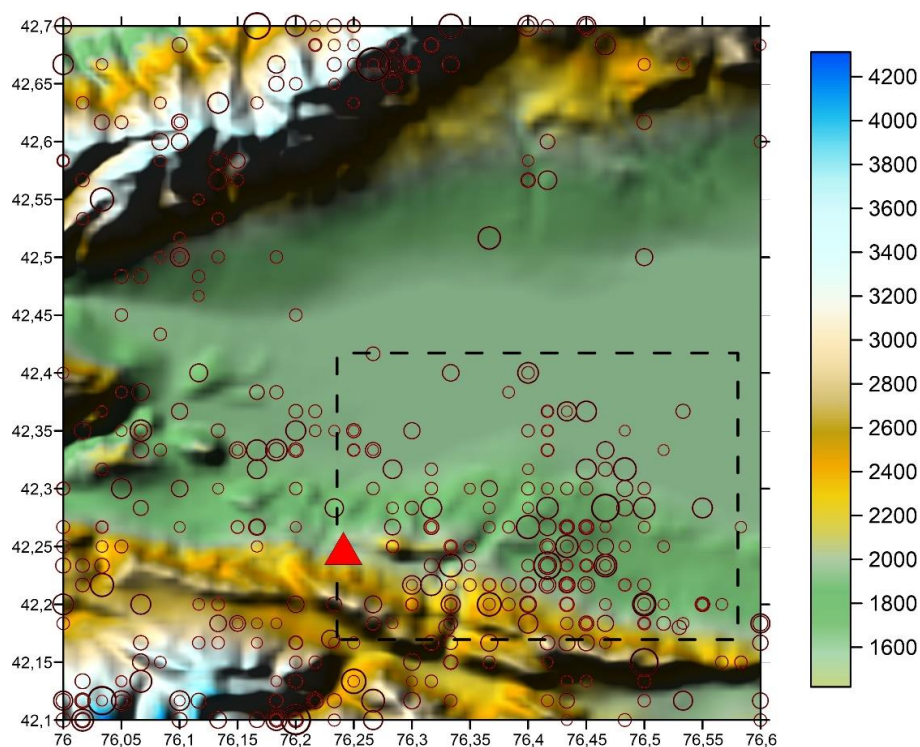


Рисунок 4. Распределение эпицентров землетрясений с $K = 7.6 - 13.0$ (красные кружки) за 1960-2021 гг. в пределах западной части Иссык-Кульской впадины и её горного обрамления на территории $\varphi = 42.1^{\circ} - 42.7^{\circ}\text{N}$, $\lambda = 76.0^{\circ} - 76.6^{\circ}\text{E}$. Пунктирной рамкой

о контуре предполагаемая территория РАСЗ. Цифровая станция «Улахол» (ULHL) сети KNET обозначена красным треугольником.

Представительный энергетический класс землетрясений для территории $\varphi = 42.17\text{--}42.42^\circ\text{N}$, $\lambda = 76.23\text{--}76.58^\circ\text{E}$ «РАСЗ Улахол» является $K = 6.0$ (рисунок 5).

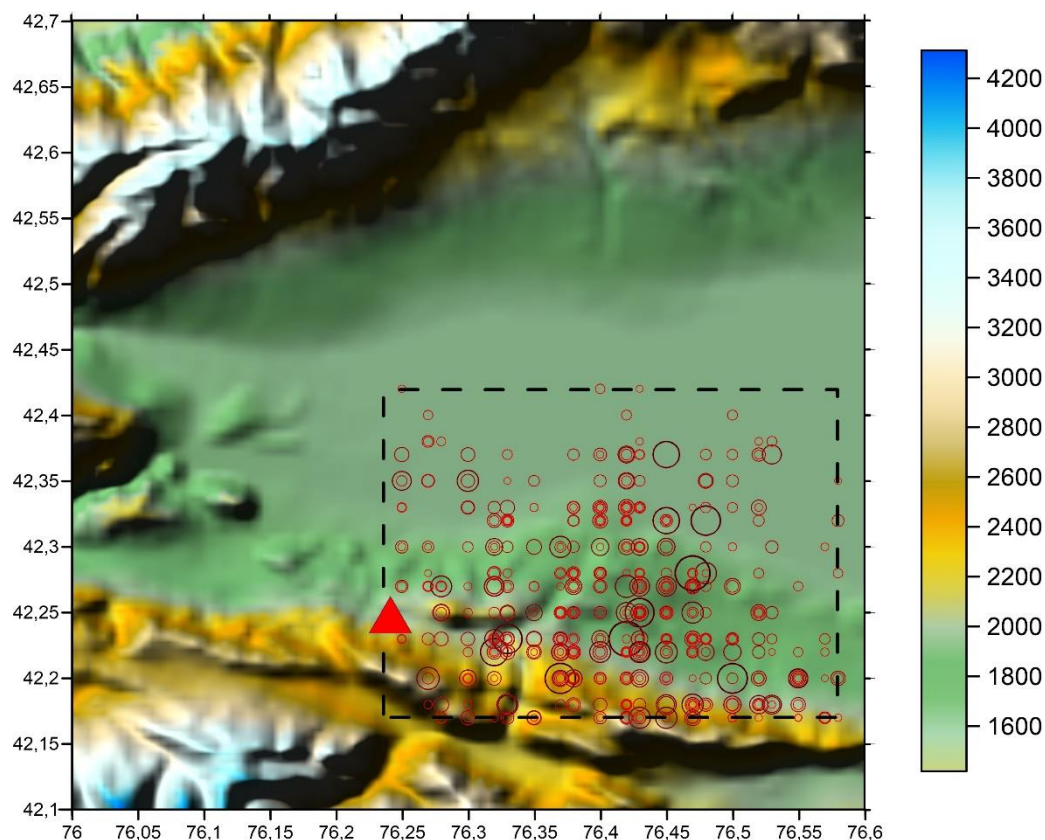


Рисунок 5. Распределение эпицентров землетрясений с $K = 6.0\text{--}11.6$ (красные кружки) за 1990-2021 гг. в пределах предполагаемого «РАСЗ Улахол» (пунктирная рамка) - $\varphi = 42.17\text{--}42.42^\circ\text{N}$, $\lambda = 76.23\text{--}76.58^\circ\text{E}$. Цифровая станция ULHL сети KNET (ИС РАН) обозначена красным треугольником.

Распределение энергетического класса землетрясений в пространстве приведено на рисунке 6. Землетрясения с $K < 7.0$ проявились в центральной части РАСЗ, землетрясения с $K \geq 7.0$ – преимущественно в периферийной части РАСЗ.

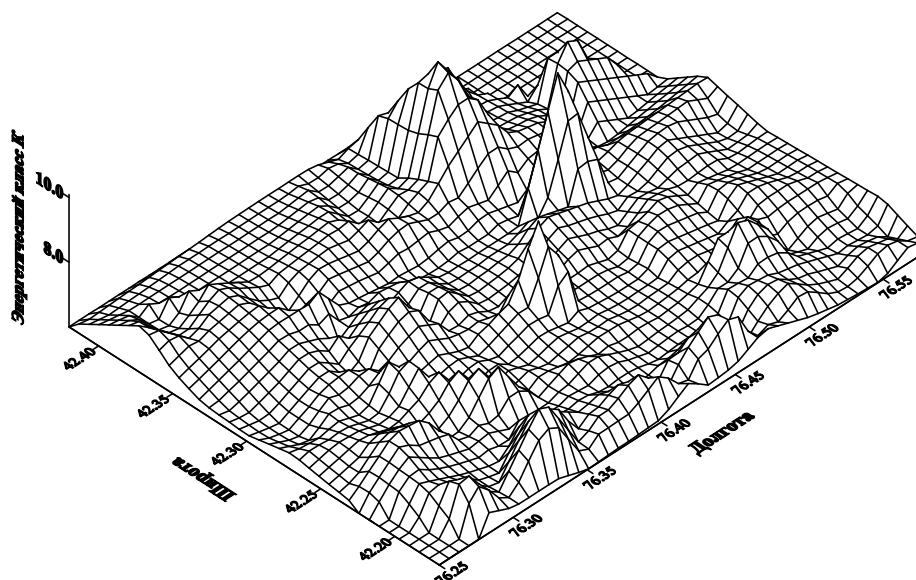


Рисунок 6. 3D-модель распределения землетрясений (с $K \geq 6.0$) «РАСЗ Улахол» в пределах территории $\varphi = 42.17 - 42.42^\circ\text{N}$, $\lambda = 76.23 - 76.58^\circ\text{E}$.

Землетрясения «РАСЗ Улахол» являются коровыми. Они в основном проявились на глубинах до 25 км, изредка - на глубине 30 км. На рисунках 7, 8, 9 приведено распределение глубин землетрясений за 1996-2005 гг., 2006-2013 гг. и 2014-2021 гг. - до и после близкого Кочкорского землетрясения (2006 г., $K=14.2$), до и после дальнего Каркыра-Сарыджазского (2013 г., $K = 15.0$) землетрясения в пределах стыка Западно-Терсейского и Восточно-Терсейского поднятий. На этих рисунках отчётливо выделяются площади с глубинами очагов землетрясений $H \geq 15$ км и с очагами $H < 15$ км. Распределение рассматриваемых площадей очагов имеют мозаичный характер. При этом территории с относительно глубокими очагами ($H \geq 15$) окаймляют территории с относительно неглубокими очагами ($H < 15$ км) и приобретают кольцообразный характер. Такое распределение площадей очагов, очевидно, выражает дискретную геодинамическую среду блоков в пределах района «РАСЗ Улахол».

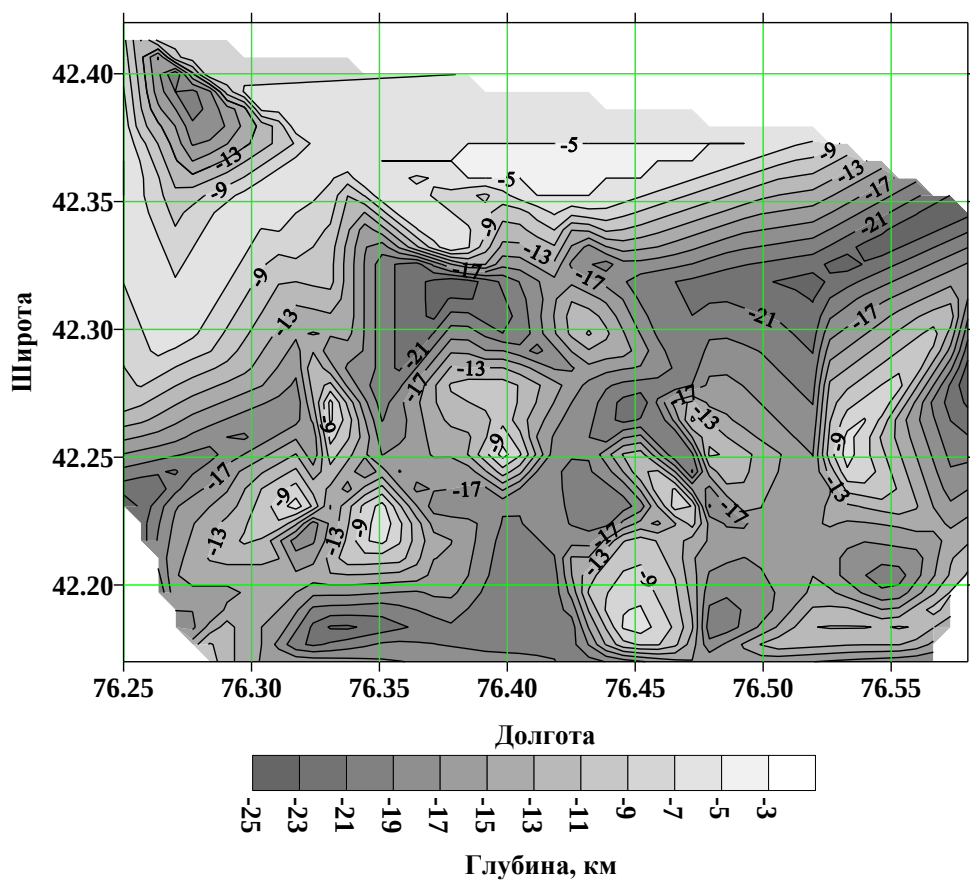


Рисунок 7. Распределение глубин очагов землетрясений «РАСЗ Улахол» за 1996-2005 гг.

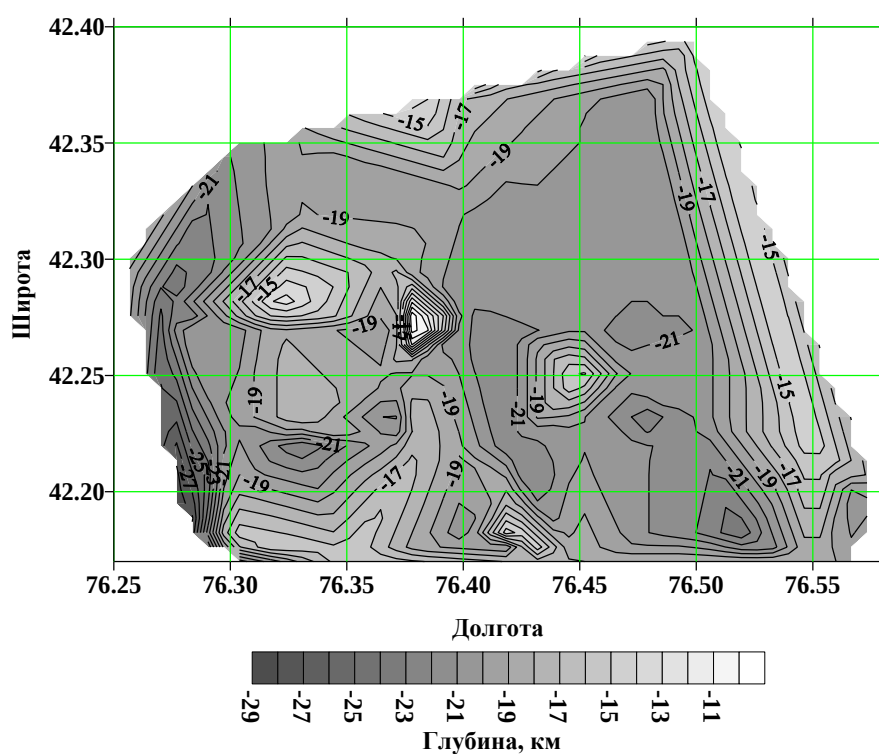


Рисунок 8. Распределение глубин очагов землетрясений «РАСЗ Улахол» за 2006-2013 гг.

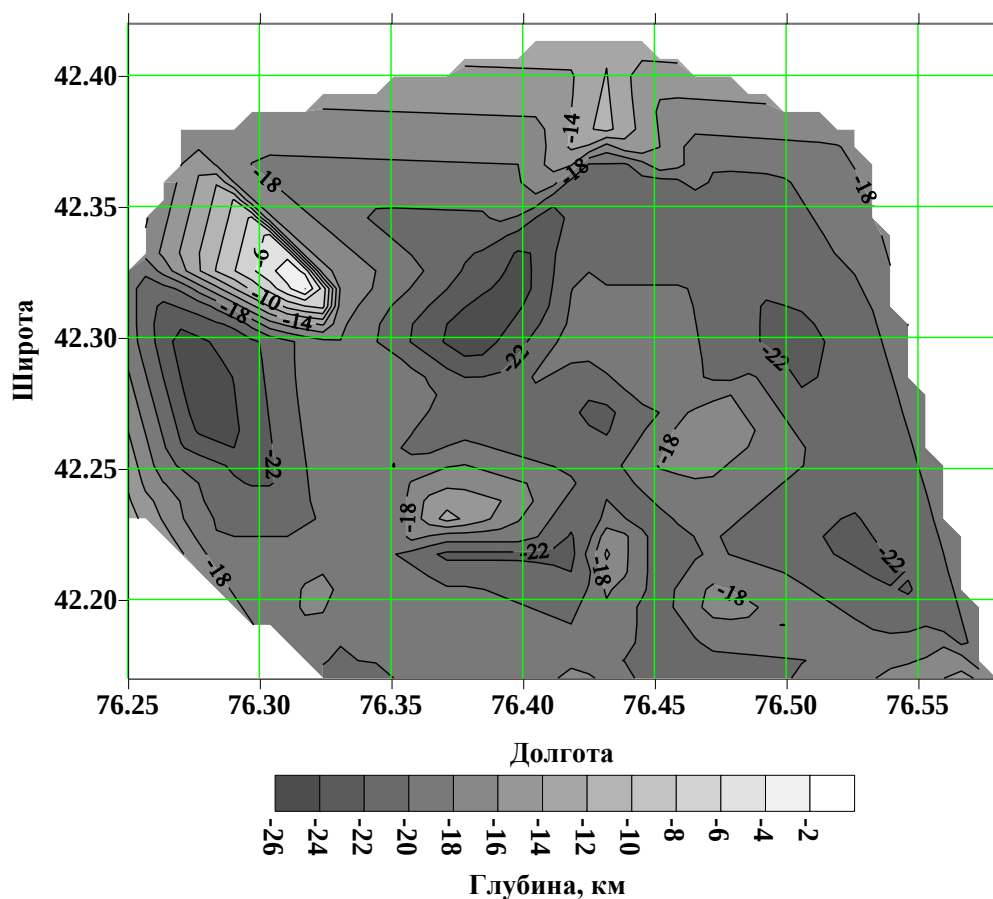


Рисунок 9. Распределение глубин очагов землетрясений «РАСЗ Улахол» за 2014-2021 гг.

На рисунках 10-14 приведено распределение времени проявления землетрясений исследуемого РАСЗ за 1990 - 1992 гг., 1992 - 1996 гг., 1996 - 2005 гг., 2006 - 2013 гг., 2014-2021 гг. Из рисунков видно: в период 1990 - 1992 гг. землетрясения проявились сначала в пределах активных узлов с градусами - 76.35 42.30; 76.30 42.25; 76.40 42.20; 76.42 42.23; 76.50 42.19. Затем произошла миграция землетрясений по сторонам от этих активных узлов. В 1992 - 1996 гг. землетрясения проявились в пределах активных узлов с градусами - 76.45 42.19; 76.43 42.23; 76.43 42.33; 76.43 42.37; 76.52 42.35. В 1996 - 2005 гг. активные узлы проявились в пределах узлов с градусами - 76.25 42.35; 76.38 42.29; 76.45 42.31; 76.47 42.26; 76.52 42.27. В период 2006 - 2013 гг. землетрясения наблюдались в пределах активных узлов с градусами - 76.31 42.21; 76.37 42.25; 76.47 42.24; 76.45 42.18. В 2014 - 2021 гг. активные узлы имели координаты - 76.27 42.30; 76.33 42.28; 76.33 42.23; 76.40 42.27; 76.47 42.28; 76.53 42.31; 76.53 42.18.

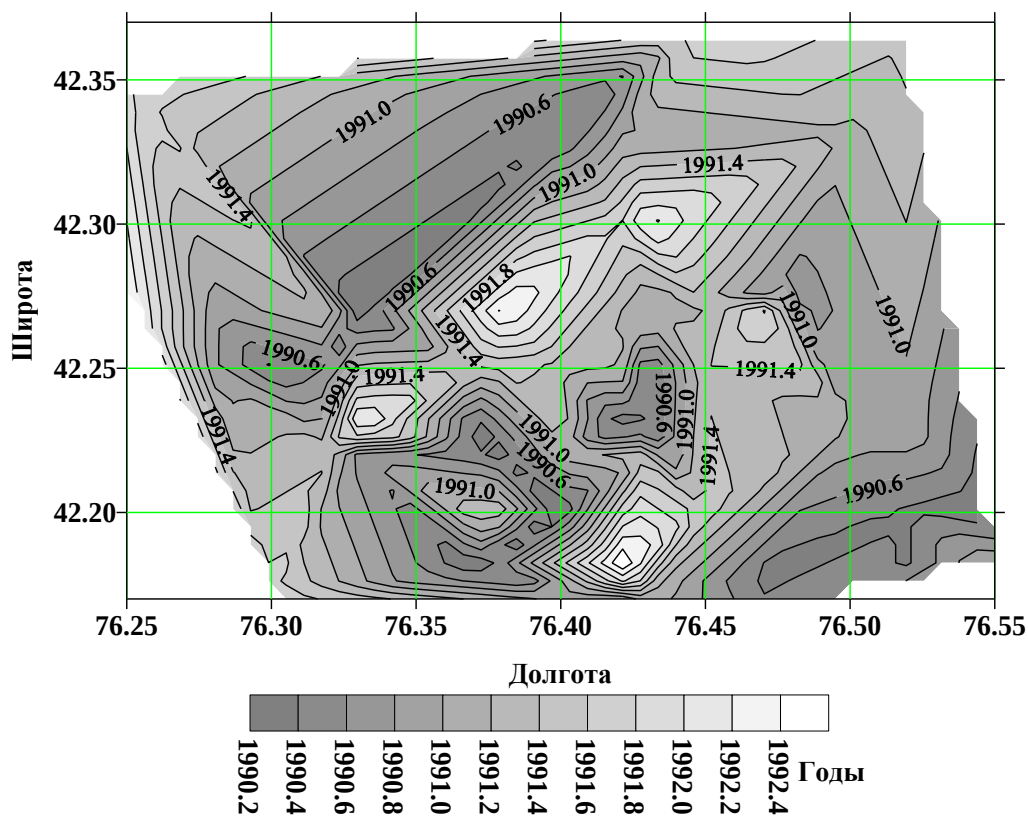


Рисунок 10. Распределение времени проявления землетрясений «РАС3 Улахол» за 1990 - 1992 гг.

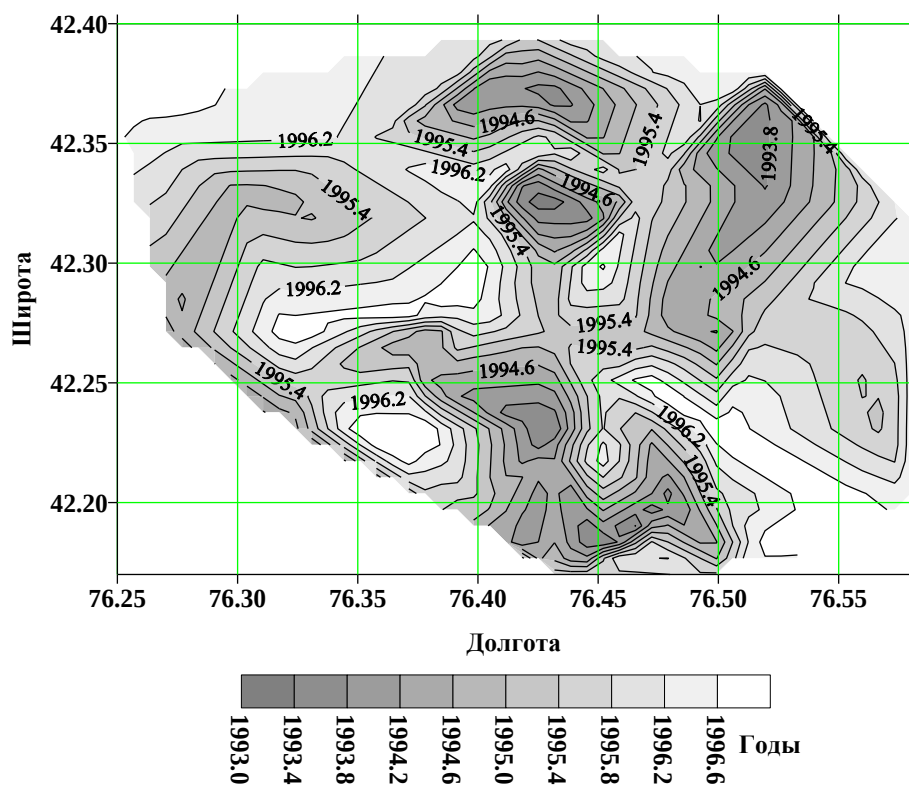


Рисунок 11. Распределение времени проявления землетрясений «РАС3 Улахол» за 1992-1996 гг.

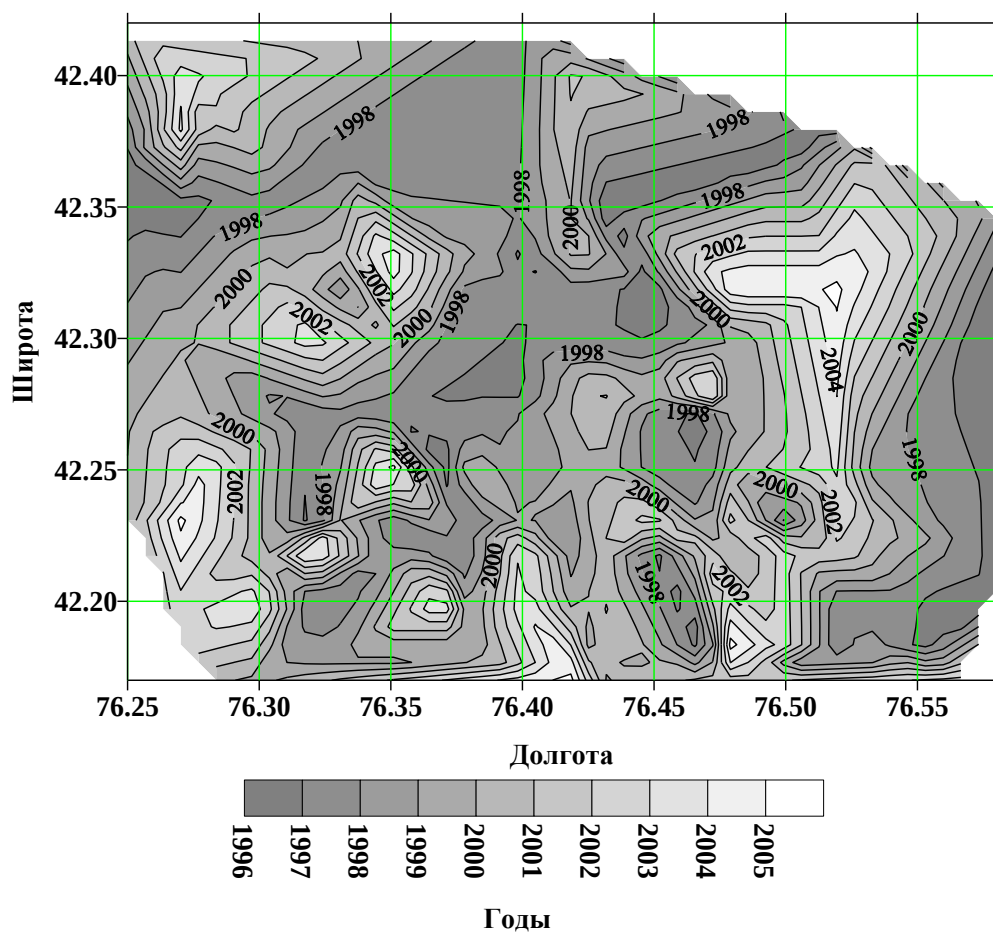


Рисунок 12. Распределение времени проявления землетрясений «РАСЗ Улахол» за 1996- 2005 гг.

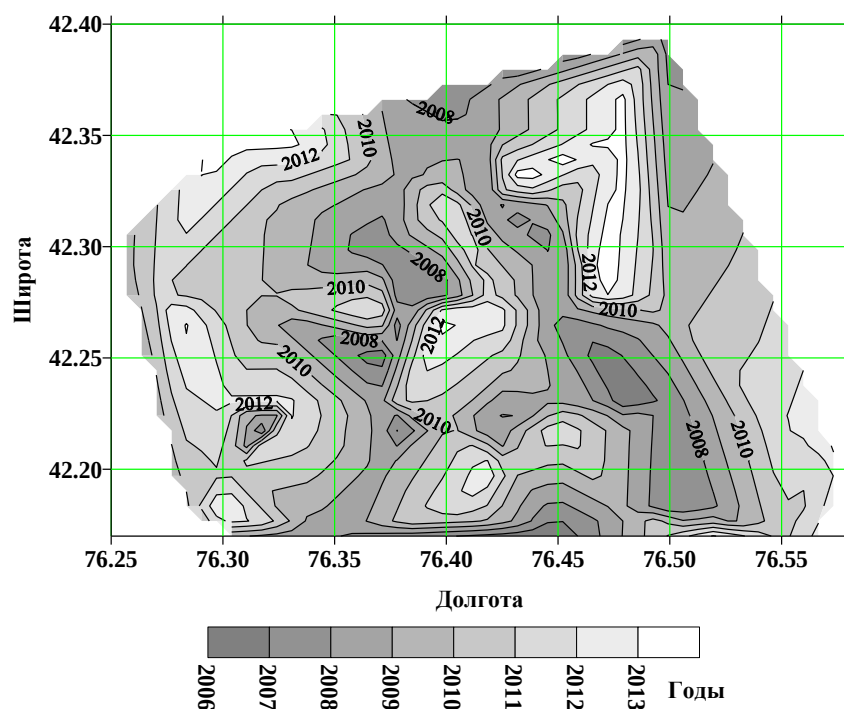


Рисунок 13. Распределение времени проявления землетрясений «РАСЗ Улахол» за 2006 - 2013 гг.

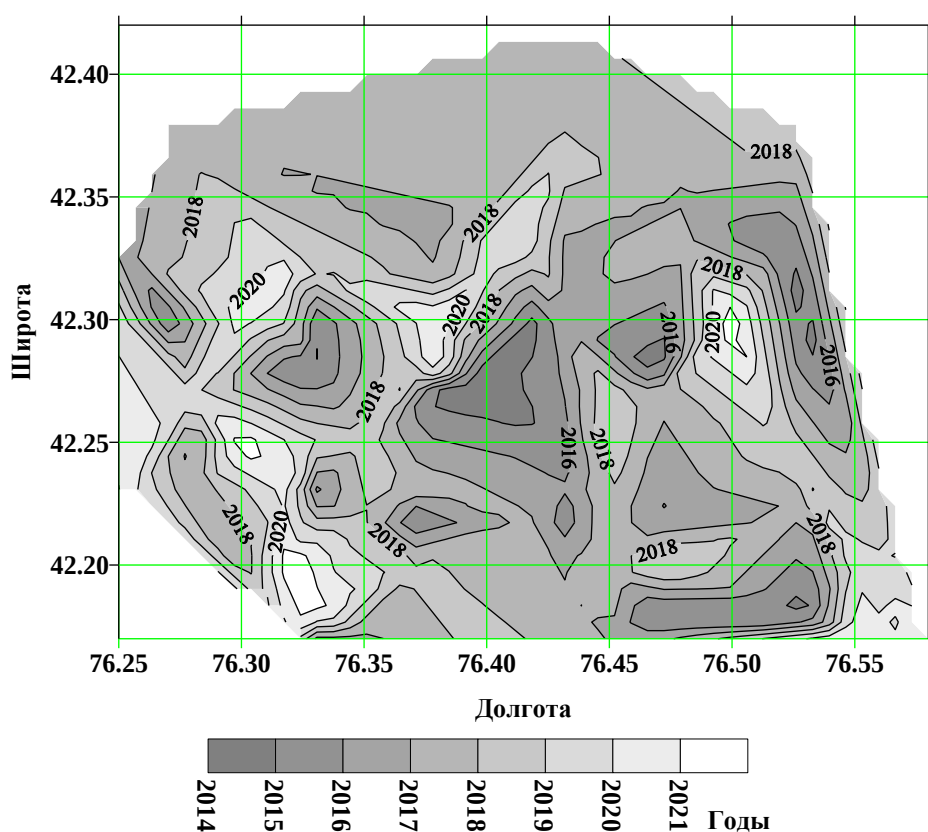


Рисунок 14. Распределение времени проявления землетрясений «РАСЗ Улахол» за 2014 - 2021 гг.

Особенности сейсмических процессов выражаются последовательностью проявления землетрясений (рисунок 15 (а), (б)). Как видно, здесь по мере проявления землетрясений поэтапно выделяется иерархия сейсмических циклов, вероятно, выражающие иерархию геодинамических блоков [4, 5, 6]. Так, сейсмический цикл четвертого порядка выделяется при землетрясениях с $K \geq 8.6$. (таблицы 1-3). Период повторения пиков изменяется от 0.9 лет до 2.9 лет. По пикам сейсмических циклов четвертого порядка выделяются циклы третьего порядка. Период повторения этих циклов составляет 1.8 – 9.8 лет. По пикам сейсмических циклов третьего порядка выделяются циклы второго порядка. Период повторения циклов второго порядка составляет ~ 23.6 лет.

Таблица 1. Пики сейсмических циклов четвертого порядка за 1990-2006 гг.

Npp	Год месяц число	Время	Энергетический класс $K=\lg E(\text{Дж})$	Время повторения – период, год
1	1990.02. 02	1990.17	10.6	
2	1991 01 14	1991.12	10.4	0.949
3	1991 12 05	1991.92	10.7	0.892
4	1993 03 24	1993.31	9.9	1.302
5	1995 06 20	1995.55	10.6	2.239
6	1997 05 26	1997.57	8.9	2.017
7	1999 10 22	1999.89	8.9	2.322
8	2002 09 05	2002.76	9.1	2.87
9	2005 04 20	2005.38	10.5	2.625

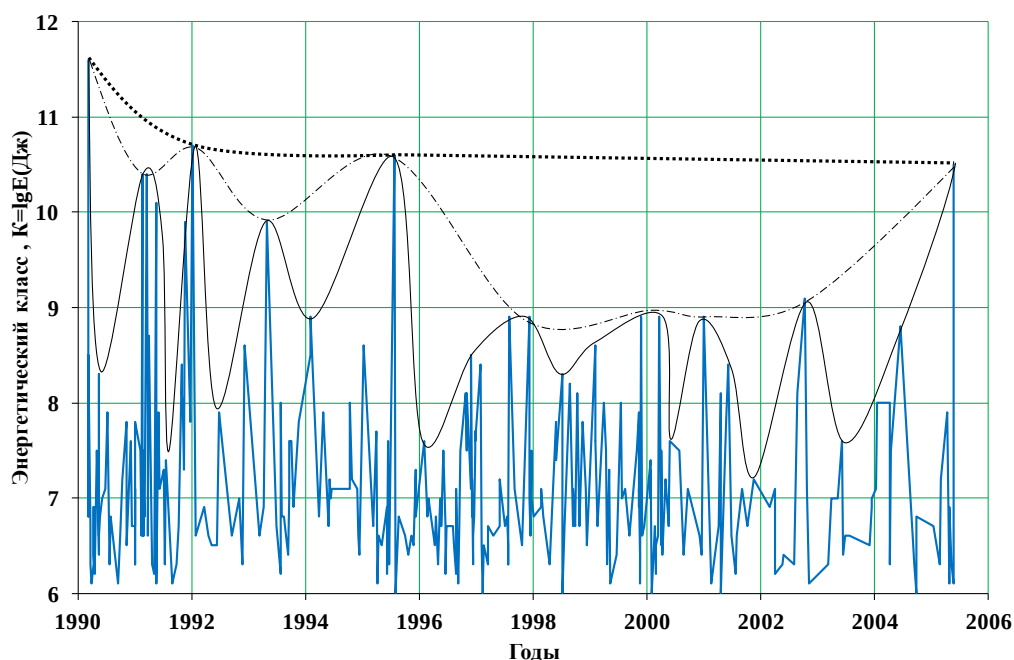
Таблица 2. Пики сейсмических циклов третьего порядка за 1990 - 2021 гг.

Nnn	Год месяц число	Время	Энергетический класс по Раутиан $K = \lg E(\text{Дж})$	Время повторения – период, год
1	1990.02.02	1990.09	11.6	
2	1991 01 14	1991.93	10.7	1.84
3	1995 06 20	1995.47	10.6	3.54
4	2005 04 20	2005.305	10.5	9.83
5	2013 09 20	2013.72	11.6	8.41
6	2020 04 24	2020.32	10.5	6.59

Таблица 3. Пики сейсмических циклов второго порядка за 1990 - 2021 гг.

Nnn	Год месяц число	Время	Энергетический класс по Раутиан $K = \lg E(\text{Дж})$	Время повторения – период, год
1	1990.02.02	1990.17	11.6	
2	2013 09 20	2013.72	11.6	23.6

(a)

Рисунок 15 (a). Последовательность проявления землетрясений ($K > 6.0$) РАСЗ, например, за 1990 - 2005 гг. Цикл четвертого порядка обозначен сплошной линией, цикл третьего порядка - пунктиром с точкой, цикл второго порядка - точечной линией.

(б)

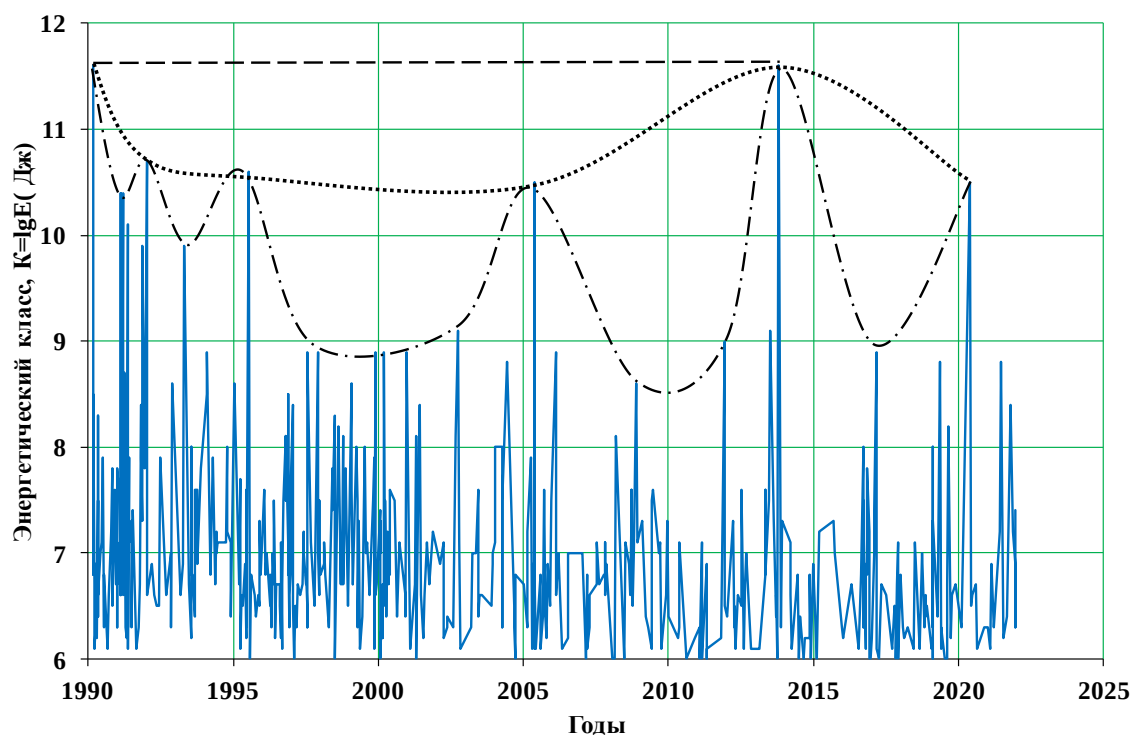


Рисунок 15 (б). Последовательность проявления землетрясений ($K > 6.0$) РАСЗ за 1990 -2021 гг. Цикл третьего порядка обозначен - пунктиром с точкой, цикл второго порядка - точечной линией.

По мере слежения последовательности землетрясений РАСЗ одновременно определяется кумулятивная сейсмическая энергия и составляется её график. На рисунке 16 показана суммарная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с $K > 6.0$ в пределах «РАСЗ Улахол» с 1990 г. по 2021 г. График её неровный, ступенчатый, выражает сейсмические циклы. Тренд суммарной сейсмической энергии РАСЗ выражается формулой:

$$E_K = (0.186t - 366.17) \cdot E + 11 \text{ Дж.}$$

Коэффициент $0.186 \cdot E + 11$ имеет единицу измерения Дж/год и представляет собой скорость накопления сейсмической энергии.

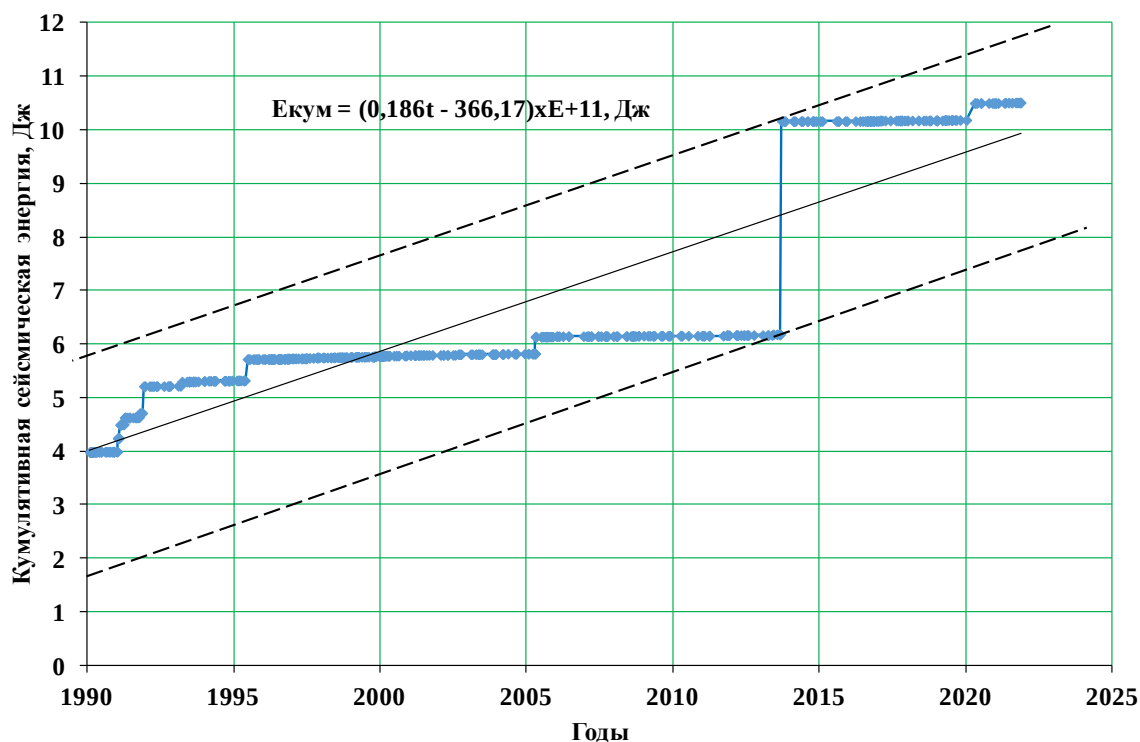


Рисунок 16. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с энергетическим классом $K > 6.0$. в пределах «РАСЗ Улахол». Сплошной линией обозначен тренд графика, пунктирными линиями обозначены верхний и нижний пределы флуктуации.

При изучении динамики сейсмичности важное место занимает исследование динамики накопления дифференцированных классов землетрясений РАСЗ с $K = 6.0 - 7.0$, $7.0 - 8.0$, $8.0 - 9.0$, $9.0 - 10.0$, $10.0 - 11.0$ (рисунок 17). Тренды графиков накопления этих землетрясений приведены в таблице 4. На отдельно взятых графиках накопления дифференцированных землетрясений выделяются пологие и крутые отрезки. Пологие отрезки означают относительно большие скорости накопления, а крутые отрезки – относительно малые скорости накопления. Так, например, сравнительно большие скорости накопления имели землетрясения с $K = 6.0 - 7.0$ в 1991, 1995, 2000, 2005, 2015 гг.; землетрясения с $K = 7.0 - 8.0$ - в 1991, 1997, 2000, 2017 гг.; землетрясения с $K = 9.0 - 10.0$ и $K = 10.0 - 11.0$ в 1992-1993 гг.

Таблица 4. Тренды графиков накопления дифференцированных классов землетрясений «РАСЗ Улахол».

№ пп	Энергетический класс $K = \lg E$ (Дж)	Формула тренда	R^2 достоверность аппроксимации
1	6.0 - 7.0	$t = 0.1017n + 1988.1$	0.99
2	7.0 - 8.0	$t = 0.2401n + 1986.9$	0.94
3	8.0 - 9.0	$t = 0.8353n + 1986.5$	0.87
4	9.0 - 10.0	$t = 4.2997n + 1981.0$	0.70
5	10.0 - 11.0	$t = 7.4366n + 1981.8$	0.99

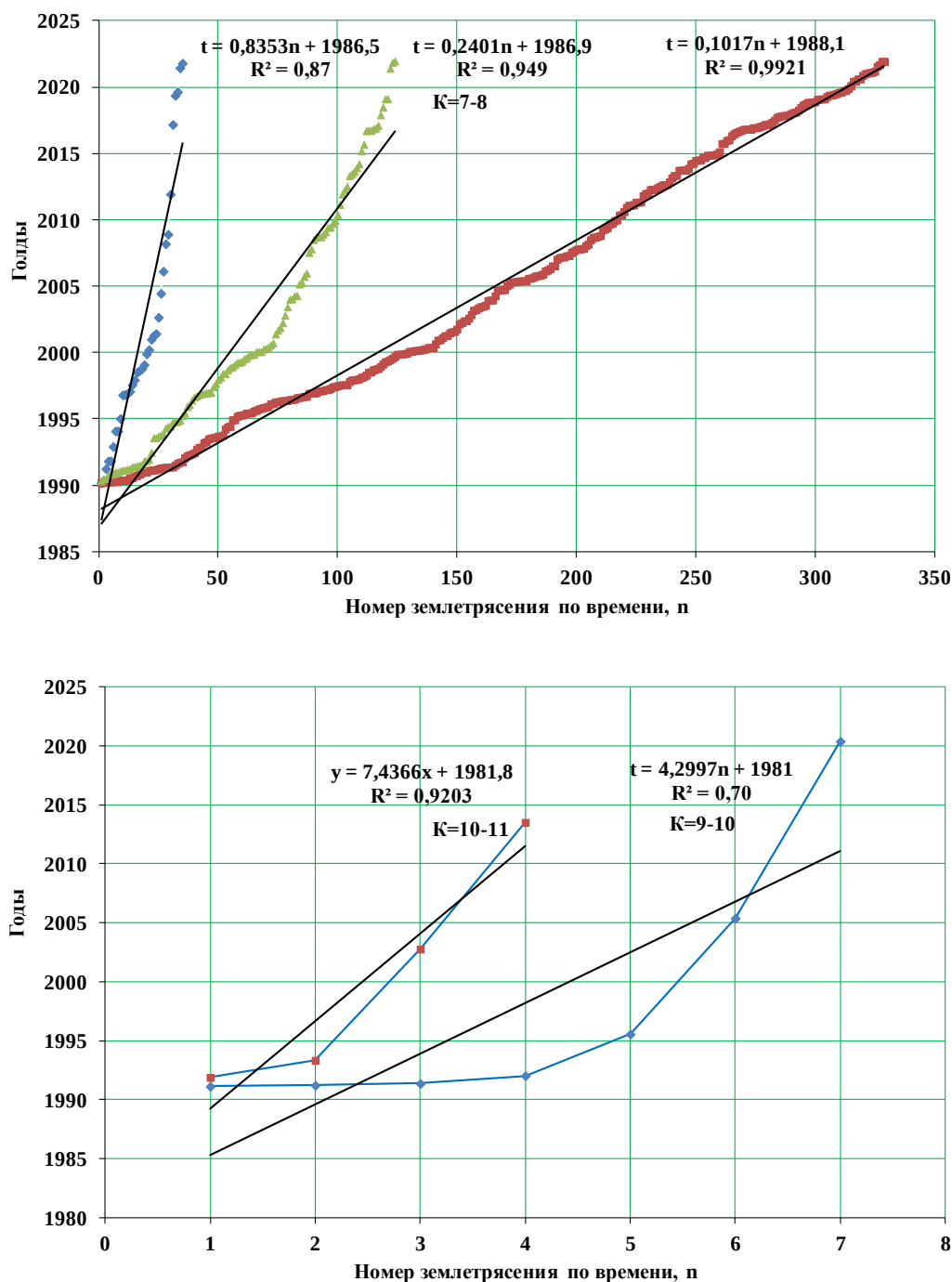


Рисунок 17. Графики накопления дифференцированных классов землетрясений «РАСЗ Улахол» с $K = 6.0 - 7.0$, $7.0 - 8.0$, $8.0 - 9.0$, $9.0 - 10.0$, $10.0 - 11.0$ за 1990-2021 гг.

Большой интерес представляют изменения промежутка времени в последовательности дифференцированных классов землетрясений РАСЗ. В качестве примера рассмотрим график промежутков между землетрясениями $K = 6.0 - 7.0$ (рисунок 18). Среднее значение составляет 0.096 лет, стандартное отклонение -0.103 года, максимум-0.618 лет. Данный график промежутков между землетрясениями имеет циклический характер.

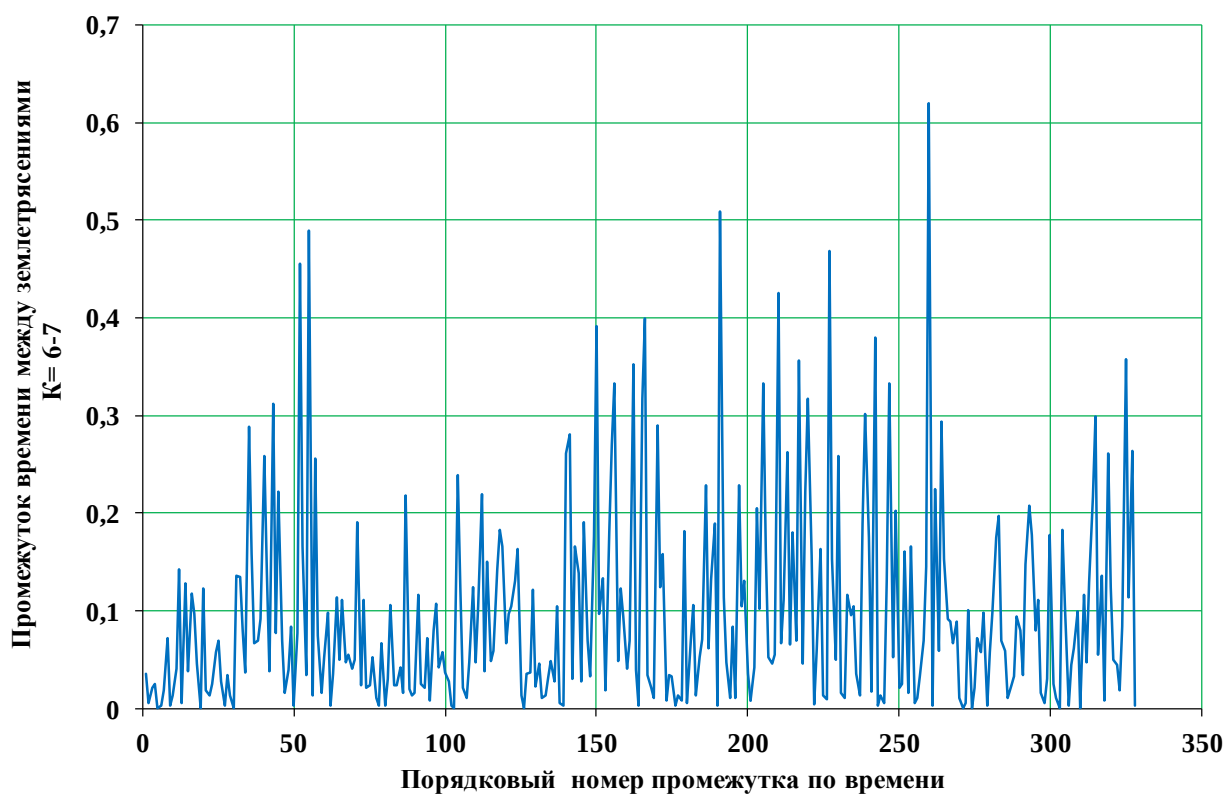


Рисунок 18. Изменение промежутка времени между землетрясениями $K = 6.0 - 7$. в зависимости от порядкового номера в последовательности.

График повторяемости землетрясений РАСЗ по Гутенберг-Рихтеру приведен на рисунке 19 - отмечается своеобразный дефицит землетрясений с $K = 9.0 - 10.0$.

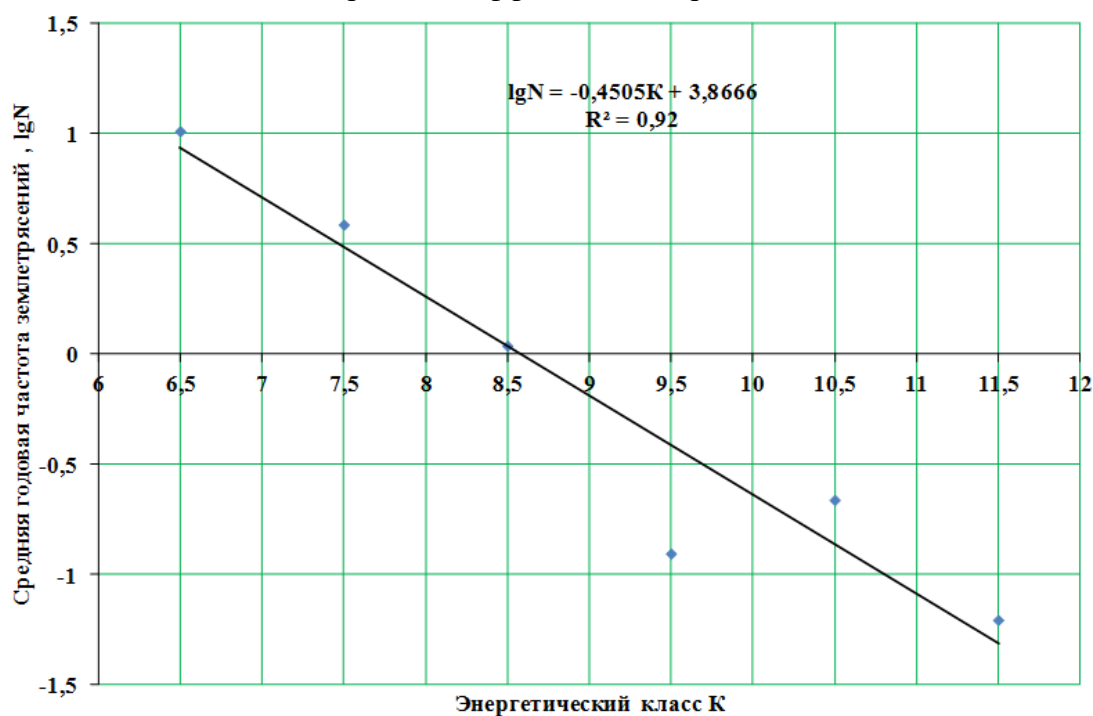


Рисунок 19. График повторяемости землетрясений «РАСЗ Улахол» по Гутенберг-Рихтеру за 1990-2021 гг.

Связь энергетического класса K и среднегодовой частоты N землетрясений «РАСЗ Улахол» выражается соотношением:

$$\lg N = -0.4505K + 3.8666, R^2 = 0.92,$$

где R^2 - достоверность аппроксимации. Соответственно, среднее время повторения землетрясений РАСЗ описывается формулой:

$$\lg T = 0.4505K - 3.8666, R^2 = 0.92,$$

где T – среднее время повторения землетрясений РАСЗ, K – энергетический класс, R^2 - достоверность аппроксимации.

Заключение

1. На основе изучения распределения землетрясений Северного Тянь-Шаня по данным каталога Института сейсмологии НАН КР выделен «РАСЗ Улахол» с $K < 12.0$, развивающийся в течение десятков лет.
2. РАСЗ развивается в пределах переходной зоны меридионального простирания между системами активных структур - Кыргызтоо, Кызыломпул, Аколон на западе и Тегерек и Кызылчоку на востоке. Территория «РАСЗ Улахол» имеет координаты $\varphi = 42.17^\circ - 42.42^\circ N$, $\lambda = 76.23^\circ - 76.58^\circ E$.
3. Распределение энергетических классов землетрясений за 1990-2021 гг. (представительный класс $K = 6.0$) показывает, что землетрясения с $K < 7.0$ проявились в центральной части РАСЗ, землетрясения с $K \geq 7.0$ – преимущественно в периферийной части. Землетрясения РАСЗ коровые, гипоцентры их находятся в основном на глубинах до 25 км. Площади с относительно глубокими очагами - $H \geq 15$, окаймляют таковые с относительно неглубокими очагами - $H < 15$ км, и приобретают кольцеобразный характер. На основе анализа времени проявления землетрясений отмечено, что очаги проявляются сначала в пределах отдельных активных узлов, затем происходит миграция землетрясений по сторонам от этих активных узлов.
4. В результате слежения последовательности проявления землетрясений установлена иерархия сейсмических циклов с применением полиномиальных трендов. При этом в каждом цикле выделены пик сейсмической активизации, фаза спада, фаза затишья, фаза наступления сейсмической активизации. Период повторения пиков сейсмических циклов четвертого порядка изменяется от 0.9 лет до 2.9 лет; период повторения циклов третьего порядка – 1.8 – 9.8 лет, период повторения циклов второго порядка составляет ~23.6 лет.
5. Суммарная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с $K > 6.0$ в пределах РАСЗ с 1990 г. по 2021 г., выражается формулой:

$$E_k = (0.186t - 366.17) * E + 11 \text{ Дж.}$$
 Коэффициент $0.186 * E + 11$ имеет единицу измерения Дж/год и представляет собой скорость накопления сейсмической энергии.
6. На основе изучения дифференцированных классов землетрясений определены характерные их скорости накопления.
7. Повторяемость землетрясений «РАСЗ Улахол». по Гутенбергу-Рихтеру выражается соотношением:

$$\lg N = -0.4505K + 3.8666, R^2 = 0.92,$$

где R^2 - достоверность аппроксимации.

Литература

1. Славина Л. Б., Левина В. И., Бабанова Д.Н. Особенности возникновения и распределения роевых последовательностей землетрясений в сейсмоактивной зоне в акватории Тихоокеанского побережья Камчатки. //Труды Второй региональной научно-технической конференции "Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России", 2010, -С.151-155.
2. Джанузаков К.Д., Омуралиев М., Омуралиева А., Ильясов Б.И., Гребенникова В.В. Сильные землетрясения Тянь-Шаня, 2003, Бишкек: Илим, 216 с.
3. Абдрахматов К.Е., Бегалиев У.Т., Омуралиев М., Омуралиева А. Сейсмическая опасность населённых пунктов и стратегических сооружений Кыргызской Республики. - Б.: ОСОО «ТРИАДА Принт», 2019., - 98 с.
4. Омуралиев М., Омуралиева А. Авторское свидетельство №2571 от 08.04.2015 «Циклы максимальных величин сейсмической энергии в отдельно взятых интервалах времени (декада, месяц, квартал, полугодие, год, ряд лет) и динамика сейсмогенных разломов Тянь-Шаня».
5. Мамбетова Г.А., Омуралиева А., Омуралиев М. Нелинейная динамика последовательности проявления землетрясений //Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2020, №1(15), С.50-80.
6. Журавлев В.И., Омуралиева А., Омуралиев М., Сидорин А.Я. Циклы и миграция сейсмичности в зоне сочленения Памира и Тянь-Шаня. //Наука и технологические разработки. 2021, Т.100, №2, С.59-80.

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