

О СВЯЗИ СЕЗОННОСТИ И СИЛЬНЫХ ($M \geq 6.0$) ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КУРИЛО-КАМЧАТСКОГО РЕГИОНА

Серафимова Ю.К.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, yulka@emsd.ru

В ряде работ последних десятилетий показано, что возникновение сильных землетрясений связано с периодическими и квазипериодическими природными ритмами, например, 11-летним и 22-летним солнечными циклами, 18.6-летним лунным циклом, в частности, с определенными фазами этих ритмов [2, 3, 8-11].

Помимо длиннопериодных ритмов интерес представляет и внутригодовое распределение землетрясений в различных регионах. Так, в [1, 7] показано, в частности, что для Тихоокеанского региона максимальное количество сейсмических событий приходится на декабрь.

Если принять гипотезу о том, что длиннопериодные воздействия, обусловленные, главным образом, гравитационными планетарными взаимодействиями с периодами в первые годы – десятилетия, могут оказывать влияние на распределение сильных землетрясений во времени, то возникает закономерный вопрос, какова величина минимального периода природных процессов в системе Солнце – Земля – Луна, влияющего на сейсмичность. Могут ли короткопериодные взаимодействия, например, в течение времени не более одного года, оказывать какое-либо значимое воздействие на сейсмичность? Другими словами, можно ли рассматривать смену сезонов (времен года) в качестве триггерного воздействия на возникновение сильных землетрясений.

Для ответа на этот вопрос предпринята попытка проанализировать внутригодовое распределение землетрясений, но не по календарным месяцам, как это уже делалось раньше, например, в [1, 7], а по сезонам, или временам года.

Следует отметить, что различают календарные, астрономические и климатические времена года. Астрономические времена года отсчитываются от дат солнцестояния и равноденствия и традиционно разделяются на весну, лето, осень и зиму.

Климатические времена года определяются фенологическими признаками в соответствии с природными явлениями. При этом каждый сезон отличается характерными для него погодными, температурными и др. условиями.

В настоящей работе рассматривается связь между возникновением сильных ($M \geq 6.0$) землетрясений Камчатки и Курильских островов и фазами астрономических внутригодовых сезонов.

Используемые данные, методика их анализа и обсуждение результатов

Смена времен года обуславливается годичным периодом обращения планеты вокруг Солнца и наклоном оси вращения Земли относительно орбитальной плоскости.

Началом весны в северном полушарии считается момент, когда центр Солнца, двигаясь по эклипике и переходя из Южного полушария неба в Северное (20 или 21 марта), пересекает небесный экватор в точке весеннего равноденствия. В момент начала лета в северном полушарии (21 или 22 июня) Солнце проходит через самую северную точку эклиптики (точку летнего солнцестояния). В момент начала осени в северном полушарии (23 сентября) Солнце вторично пересекает экватор (в точке осеннего равноденствия), переходя из Северного полушария в Южное. Зима в северном полушарии начинается (21 или 22 декабря), когда Солнце проходит через наиболее южную точку эклиптики (точку зимнего солнцестояния) [5].

В работе приняты следующие даты начала и окончания сезонов [6]:

зима: 22 декабря – 20 марта (продолжительность 89 дней);

весна: 21 марта – 21 июня (продолжительность 93 дня);

лето: 22 июня – 22 сентября (продолжительность 93 дня);

осень: 23 сентября – 21 декабря (продолжительность 90 дней).

Каталоги землетрясений. Выборка камчатских землетрясений с величинами энергетического класса $K_s \geq 12.6$ проводилась из каталога КФ ГС РАН за период 01.01.1962 – 31.12.2012 гг. в районе $50^\circ - 62^\circ$ с.ш. и $152^\circ - 169^\circ$ в.д. для всех глубин и включает 158 событий. В выборку включались только те землетрясения, для которых хотя бы одна из определенных магнитуд была бы $M \geq 6.0$.

Выборка землетрясений с магнитудами $M \geq 6.0$ для района Курильских островов проводилась из каталога USGS [<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/>] за период 01.01.1973 – 31.12.2012 гг. в районе $43^\circ - 51^\circ$ с.ш. и $145^\circ - 158^\circ$ в.д. для всех глубин и включает 177 событий.

Каталоги землетрясений анализировались в следующих энергетических диапазонах – $K_s \geq 12.6$, $K_s \geq 13.0$, $K_s \geq 13.5$ и $K_s \geq 14.0$ для Камчатки и $M \geq 6.0$, $M \geq 6.5$, $M \geq 7.0$ и $M \geq 7.5$ для Курильских островов.

Анализ распределения количества землетрясений по временам года показывает, что на Камчатке землетрясения в летние сезоны происходят реже, а в районе Курильских о-вов землетрясения чаще происходят осенью (табл. 1).

Таблица 1. Распределение количества землетрясений по временам года

| Сезон | зима | | весна | | лето | | осень | |
|--|------|------|-------|------|------|------|-------|------|
| | шт. | % | шт. | % | шт. | % | шт. | % |
| Камчатка $K_s \geq 12.6, M \geq 6.0$ | 42 | 26.6 | 45 | 28.5 | 27 | 17.1 | 44 | 27.8 |
| Курильские острова $M \geq 6.0$ | 34 | 19.2 | 39 | 22.0 | 38 | 21.5 | 66 | 37.3 |

Для каждого землетрясения рассчитывалось значение фазы сезона, в котором оно произошло. Принимая продолжительность сезона за единицу, фаза любого события рассчитывается как отношение разности времени между возникновением события и началом соответствующего сезона к продолжительности сезона. Далее строились гистограммы распределения землетрясений по фазам сезонов с учетом энергетических параметров землетрясений (рис. 1 а-г, 2 а-г).

Обращает внимание, что количество камчатских землетрясений с $K_s \geq 12.6$ в начале и в конце сезона (кроме лета) увеличивается (рис. 1 а-г). Аналогичная тенденция прослеживается для более сильных землетрясений с $K_s \geq 14.0$, происходивших в зимний и осенний сезоны. Это может указывать на то, что смены астрономических сезонов имеют некоторое влияние на возникновение сильных землетрясений на Камчатке. В первую очередь, такое влияние на увеличение числа сильных землетрясений оказывает переход от осени к зиме и от весны к лету.

Анализ распределения курильских землетрясений с магнитудами $M \geq 6.0$ показывает, что наблюдается увеличение их количества к началу и к концу сезона, но только весной и осенью (рис. 2 а-г). При этом видно, что наибольший вклад в формирование эффекта определяют землетрясения в диапазоне магнитуд от 6.0 до 7.0. Значимых закономерностей в распределении более сильных землетрясений Курильских островов в зависимости от фаз сезонов не выявлено. Вместе с тем для более обоснованного вывода в отношении землетрясений с $M \geq 7.0$ недостаточно данных.

При анализе распределения землетрясений внутри всех сезонов в целом видно, что для камчатских землетрясений для всех энергетических диапазонов и всех сезонов сохраняется тенденция увеличения количества землетрясений к началу и к концу сезонов (рис. 1д). Для курильских землетрясений только в началах сезонов отмечается увеличение их количества (рис. 2д).

На основе анализа распределения сильных землетрясений Камчатки и Курильских островов в зависимости от фаз астрономических сезонов показано, что переходы от осени к зиме и, в меньшей степени, от весны к лету можно рассматривать как некоторое внешнее воздействие, обуславливающее повышенную частоту их возникновения.

Применение непараметрического критерия χ^2 для оценки статистической значимости связи сильных землетрясений Камчатки и Командорских островов с фазами сезонов

Если утверждение о неравномерности распределения верно, необходимо опровергнуть нулевую гипотезу о равномерном распределении событий по фазам сезонов. Задача сводится к сравнению теоретического и фактического распределения по статистическому критерию. В качестве такого критерия выбран непараметрический критерий оценки – χ^2 (критерий Пирсона), который применяется, когда данные в выборке разделены на несколько дискретных интервалов, при этом в формировании значения χ^2 участвуют все дискретные интервалы. Критерий χ^2 измеряет различия и учитывает их величину относительно ожидаемых чисел. Применение критерия χ^2 правомерно, если все ожидаемые числа не меньше 1 и доля клеток таблицы сопряженности с ожидаемыми числами меньше 5 не превышает 20% [4].

Критерий χ^2 рассчитывается по формуле: $\chi^2 = \sum ((\Phi - O)^2 / O)$, где Φ – фактически наблюдаемое число в клетке таблицы сопряженности, O – ожидаемое число в той же клетке, суммирование проводится по всем клеткам таблицы [4].

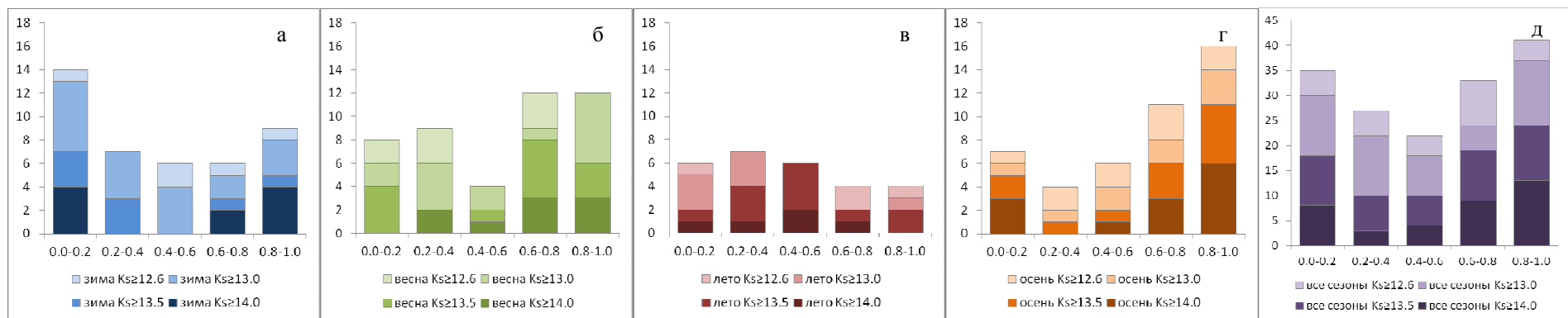


Рис. 1. Распределение камчатских землетрясений в зависимости от величин их энергетических классов и значений фаз отдельных сезонов (а-г) и то же распределение, полученное методом наложения эпох (д).

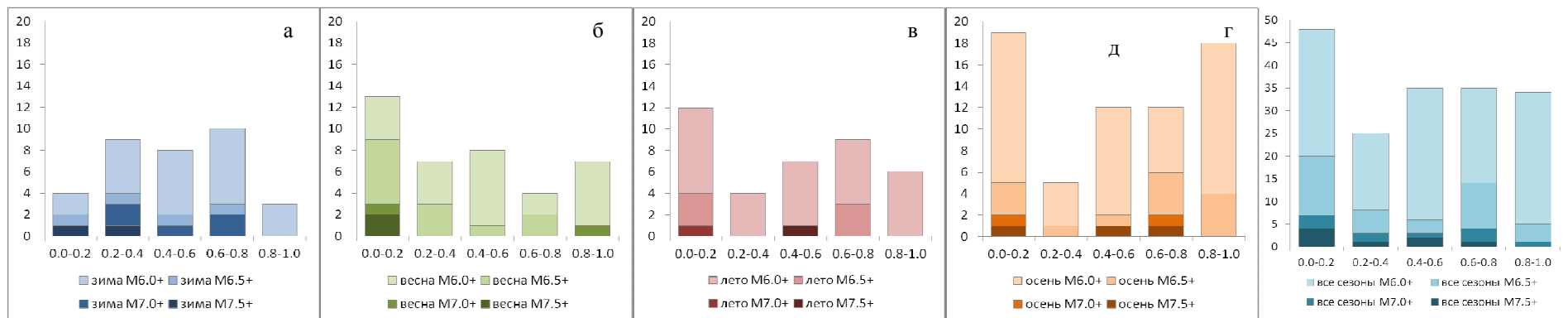


Рис. 2. Распределение курильских землетрясений в зависимости от значений фаз отдельных сезонов и значений магнитуд (а-г) и полученное методом наложения эпох (д).

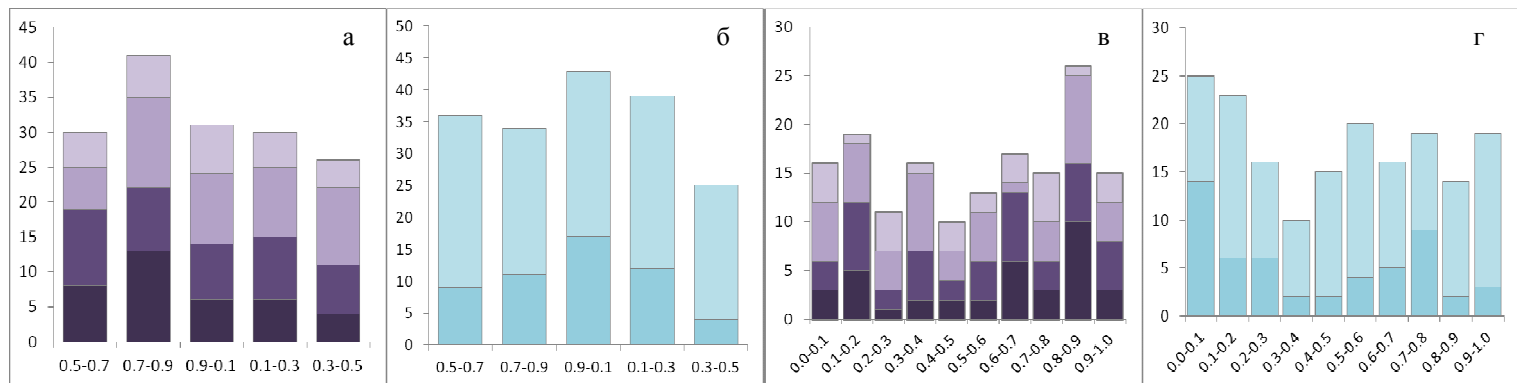


Рис. 3. Различные способы выделения диапазонов фаз сезонов и соответствующее распределение землетрясений Камчатки (а, в) и Курильских островов (б, г). Условные обозначения как на рис. 1д и 2д соответственно.

Таблица 2. Результаты статистического анализа распределения сильных ($M \geq 6.0$) землетрясений Камчатки и Курильских островов с применением критерия χ^2 .

| Фазы сезонов | Камчатка | | | | | | | | | | | | Курильские острова | | | | | |
|-----------------------|-----------------|-------|-------|-----------------|-------|--------|-----------------|------|-------|-----------------|-----|-------|--------------------|-------|-------|---------------|------|--------|
| | $K_s \geq 12.6$ | | | $K_s \geq 13.0$ | | | $K_s \geq 13.5$ | | | $K_s \geq 14.0$ | | | $M \geq 6.0$ | | | $M \geq 6.5$ | | |
| | Φ | O | | Φ | O | | Φ | O | | Φ | O | | Φ | O | | Φ | O | |
| 0.0-0.2 | 35 | 31.6 | 0.366 | 30 | 26.2 | 0.551 | 18 | 16.2 | 0.200 | 8 | 7.4 | 0.049 | 48 | 35.4 | 4.485 | 20 | 10.6 | 8.336 |
| 0.2-0.4 | 27 | 31.6 | 0.670 | 22 | 26.2 | 0.673 | 10 | 16.2 | 2.373 | 3 | 7.4 | 2.616 | 25 | 35.4 | 3.055 | 8 | 10.6 | 0.638 |
| 0.4-0.6 | 22 | 31.6 | 2.916 | 18 | 26.2 | 2.566 | 10 | 16.2 | 2.373 | 4 | 7.4 | 1.562 | 35 | 35.4 | 0.005 | 6 | 10.6 | 1.996 |
| 0.6-0.8 | 33 | 31.6 | 0.062 | 24 | 26.2 | 0.185 | 19 | 16.2 | 0.484 | 9 | 7.4 | 0.346 | 35 | 35.4 | 0.005 | 14 | 10.6 | 1.091 |
| 0.8-1.0 | 41 | 31.6 | 2.796 | 37 | 26.2 | 4.452 | 24 | 16.2 | 3.756 | 13 | 7.4 | 4.238 | 34 | 35.4 | 0.055 | 5 | 10.6 | 2.958 |
| χ^2 ($\nu=4$) | 6.810 | | | 8.427 | | | 9.185 | | | 8.811 | | | 7.605 | | | 15.019 | | |
| | $p = 0.10$ | | | $p = 0.10$ | | | $p = 0.10$ | | | $p = 0.25$ | | | $p = 0.005$ | | | | | |
| 0.5-0.7 | 30 | 31.6 | 0.081 | 25 | 26.2 | 0.055 | 19 | 16.2 | 0.484 | 8 | 7.4 | 0.049 | 36 | 35.4 | 0.010 | 9 | 10.6 | 0.242 |
| 0.7-0.9 | 41 | 31.6 | 2.796 | 35 | 26.2 | 2.956 | 22 | 16.2 | 2.077 | 13 | 7.4 | 4.238 | 34 | 35.4 | 0.055 | 11 | 10.6 | 0.015 |
| 0.9-0.1 | 31 | 31.6 | 0.011 | 24 | 26.2 | 0.185 | 14 | 16.2 | 0.299 | 6 | 7.4 | 0.265 | 43 | 35.4 | 1.632 | 17 | 10.6 | 3.864 |
| 0.1-0.3 | 30 | 31.6 | 0.081 | 25 | 26.2 | 0.055 | 15 | 16.2 | 0.089 | 6 | 7.4 | 0.265 | 39 | 35.4 | 0.366 | 12 | 10.6 | 0.185 |
| 0.3-0.5 | 26 | 31.6 | 0.992 | 22 | 26.2 | 0.673 | 11 | 16.2 | 1.669 | 4 | 7.4 | 1.562 | 25 | 35.4 | 3.055 | 4 | 10.6 | 4.109 |
| χ^2 ($\nu=4$) | 3.962 | | | 3.924 | | | 4.617 | | | 6.378 | | | 5.119 | | | 8.415 | | |
| | $p = 0.25$ | | | $p = 0.10$ | | | $p = 0.10$ | | | $p = 0.25$ | | | $p = 0.10$ | | | | | |
| 0.0-0.1 | 16 | 15.8 | 0.003 | 12 | 13.1 | 0.092 | 6 | 8.1 | 0.544 | - | - | - | 25 | 17.7 | 3.011 | 14 | 5.3 | 14.281 |
| 0.1-0.2 | 19 | 15.8 | 0.648 | 18 | 13.1 | 1.833 | 12 | 8.1 | 1.878 | - | - | - | 23 | 17.7 | 1.587 | 6 | 5.3 | 0.092 |
| 0.2-0.3 | 11 | 15.8 | 1.458 | 7 | 13.1 | 2.840 | 3 | 8.1 | 3.211 | - | - | - | 16 | 17.7 | 0.163 | 6 | 5.3 | 0.092 |
| 0.3-0.4 | 16 | 15.8 | 0.003 | 15 | 13.1 | 0.276 | 7 | 8.1 | 0.149 | - | - | - | 10 | 17.7 | 3.350 | 2 | 5.3 | 2.055 |
| 0.4-0.5 | 10 | 15.8 | 2.129 | 7 | 13.1 | 2.840 | 4 | 8.1 | 2.075 | - | - | - | 15 | 17.7 | 0.412 | 2 | 5.3 | 2.055 |
| 0.5-0.6 | 13 | 15.8 | 0.496 | 11 | 13.1 | 0.337 | 6 | 8.1 | 0.544 | - | - | - | 20 | 17.7 | 0.299 | 4 | 5.3 | 0.319 |
| 0.6-0.7 | 17 | 15.8 | 0.091 | 14 | 13.1 | 0.062 | 13 | 8.1 | 2.964 | - | - | - | 16 | 17.7 | 0.163 | 5 | 5.3 | 0.017 |
| 0.7-0.8 | 15 | 15.8 | 0.041 | 10 | 13.1 | 0.734 | 6 | 8.1 | 0.544 | - | - | - | 19 | 17.7 | 0.095 | 9 | 5.3 | 2.583 |
| 0.8-0.9 | 26 | 15.8 | 6.585 | 25 | 13.1 | 10.810 | 16 | 8.1 | 7.705 | - | - | - | 14 | 17.7 | 0.773 | 2 | 5.3 | 2.055 |
| 0.9-1.0 | 15 | 15.8 | 0.041 | 12 | 13.1 | 0.092 | 8 | 8.1 | 0.001 | - | - | - | 19 | 17.7 | 0.095 | 3 | 5.3 | 0.998 |
| χ^2 ($\nu=9$) | 11.494 | | | 19.916 | | | 19.617 | | | | | | 9.949 | | | 24.547 | | |
| | $p = 0.25$ | | | $p = 0.025$ | | | $p = 0.025$ | | | | | | | | | $p = 0.005$ | | |
| 0.0-0.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| зима | 14 | 9.30 | 2.370 | 13 | 8.47 | 2.418 | - | - | - | - | - | - | 4 | 9.30 | 3.024 | - | - | - |
| весна | 8 | 9.97 | 0.389 | 6 | 8.47 | 0.722 | - | - | - | - | - | - | 13 | 10.58 | 0.555 | - | - | - |
| лето | 6 | 5.98 | 0.000 | 5 | 5.27 | 0.014 | - | - | - | - | - | - | 12 | 10.31 | 0.279 | - | - | - |
| осень | 7 | 9.75 | 0.774 | 6 | 7.79 | 0.410 | - | - | - | - | - | - | 19 | 17.90 | 0.068 | - | - | - |
| 0.2-0.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| зима | 7 | 7.18 | 0.004 | 7 | 6.21 | 0.099 | - | - | - | - | - | - | 9 | 4.80 | 3.669 | - | - | - |
| весна | 9 | 7.69 | 0.223 | 6 | 6.21 | 0.007 | - | - | - | - | - | - | 7 | 5.51 | 0.404 | - | - | - |
| лето | 7 | 4.61 | 1.234 | 7 | 3.86 | 2.548 | - | - | - | - | - | - | 4 | 5.37 | 0.348 | - | - | - |
| осень | 4 | 7.52 | 1.647 | 2 | 5.71 | 2.410 | - | - | - | - | - | - | 5 | 9.32 | 2.004 | - | - | - |
| 0.4-0.6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| зима | 6 | 5.85 | 0.004 | 4 | 5.08 | 0.231 | - | - | - | - | - | - | 8 | 6.72 | 0.242 | - | - | - |
| весна | 4 | 6.27 | 0.819 | 4 | 5.08 | 0.231 | - | - | - | - | - | - | 8 | 7.71 | 0.011 | - | - | - |
| лето | 6 | 3.76 | 1.335 | 6 | 3.16 | 2.552 | - | - | - | - | - | - | 9 | 7.51 | 0.294 | - | - | - |
| осень | 6 | 6.13 | 0.003 | 4 | 4.67 | 0.097 | - | - | - | - | - | - | 12 | 13.05 | 0.085 | - | - | - |
| 0.6-0.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| зима | 6 | 8.77 | 0.876 | 5 | 6.78 | 0.467 | - | - | - | - | - | - | 10 | 6.72 | 1.597 | - | - | - |
| весна | 12 | 9.40 | 0.720 | 9 | 6.78 | 0.728 | - | - | - | - | - | - | 4 | 7.71 | 1.787 | - | - | - |
| лето | 4 | 5.64 | 0.477 | 2 | 4.21 | 1.163 | - | - | - | - | - | - | 4 | 5.64 | 0.477 | - | - | - |
| осень | 11 | 9.19 | 0.357 | 8 | 6.23 | 0.504 | - | - | - | - | - | - | 12 | 13.05 | 0.085 | - | - | - |
| 0.8-1.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| зима | 9 | 10.90 | 0.331 | 8 | 10.45 | 0.575 | - | - | - | - | - | - | 3 | 6.53 | 1.909 | - | - | - |
| весна | 12 | 11.68 | 0.009 | 12 | 10.45 | 0.230 | - | - | - | - | - | - | 7 | 7.49 | 0.032 | - | - | - |
| лето | 4 | 7.01 | 1.290 | 3 | 6.50 | 1.882 | - | - | - | - | - | - | 6 | 7.30 | 0.231 | - | - | - |
| осень | 16 | 11.42 | 1.839 | 14 | 9.60 | 2.013 | - | - | - | - | - | - | 18 | 12.68 | 2.234 | - | - | - |
| χ^2 ($\nu=12$) | 14.701 | | | 19.300 | | | | | | | | | 19.334 | | | | | |
| | $p = 0.10$ | | | $p = 0.10$ | | | | | | | | | $p = 0.10$ | | | | | |

Примечание. Жирным шрифтом показаны значения критерия χ^2 , позволяющие отвергнуть гипотезу о равномерном распределении землетрясений с уровнем значимости p не более 0.10; ν – число степеней свободы; прочерк – недостаточное количество данных для применения критерия χ^2 .

С использованием критерия χ^2 проведены оценки статистической значимости распределения землетрясений Камчатки и Курильских островов по фазам сезонов для различных энергетических уровней.

За нулевую гипотезу принимается предположение о равномерном распределении событий по фазам внутри каждого сезона (зима, весна, лето, осень), т.е. об отсутствии связи между наличием определенной фазы сезона и возникновением сильных землетрясений.

Рассматриваются различные варианты выделения фаз сезонов, распределение по сезонам в целом (метод наложения эпох), а также распределение и по фазам и по сезонам (табл. 2).

Камчатка.

Гипотеза о равномерном распределении землетрясений отвергается с уровнем значимости $p = 0.10$ для землетрясений с $K_s \geq 13.0$, $K_s \geq 13.5$, $K_s \geq 14.0$ для всех сезонов (метод наложения эпох) при выделении диапазонов фаз с интервалом 0.2 в одном варианте (рис. 1д, табл. 2) и не отвергается при другом варианте (рис. 3а, табл. 2).

При выделении диапазонов фаз с интервалом 0.1 гипотеза о равномерном распределении землетрясений Камчатки отвергается с уровнем значимости $p = 0.025$ для землетрясений с $K_s \geq 13.0$ и $K_s \geq 13.5$ (рис. 3в, табл. 2). Количество землетрясений с $K_s \geq 14.0$ является недостаточным для оценки статической значимости такого распределения с применением критерия χ^2 .

Гипотеза о равномерном распределении землетрясений по фазам с дискретностью 0.2 в зависимости от сезона отвергается с уровнем значимости $p = 0.10$ только для землетрясений с $K_s \geq 13.0$ (рис. 1 а-г, табл. 2).

Курильские острова.

Для Курильских землетрясений гипотеза о равномерном распределении землетрясений для всех сезонов (метод наложения эпох) в зависимости от фазы сезона отвергается с уровнем значимости $p = 0.005$ для землетрясений с $M \geq 6.5$ при дискретизации фаз как с интервалом 0.2 в первом варианте (рис. 2д, табл. 2), так и с интервалом 0.1 (рис. 3г, табл. 2) и с уровнем значимости $p = 0.10$ при втором способе выделения фаз с интервалом 0.2 (рис. 3б, табл. 2). Следует отметить, что распределения землетрясений с $M \geq 7.0$ и $M \geq 7.5$ не анализировались ввиду недостаточности данных.

Гипотеза о равномерном распределении землетрясений по фазам с дискретностью 0.2 в зависимости от сезона отвергается с уровнем значимости $p = 0.10$ только для землетрясений с $M \geq 6.0$ (рис. 2 а-г, табл. 2). Для анализа такого распределения землетрясений более высоких энергетических уровней также не достаточно данных.

Проведенный анализ показывает, что зависимость между определенной фазой сезона и возникновением сильных землетрясений является статистически значимой для землетрясений $K_s \geq 13.0$ для Камчатки и $M \geq 6.5$ для Курильских островов.

Список литературы

1. Андреева М.Ю., Сасорова Е.В., Левин Б.Ф. Особенности внутригодового распределения землетрясений Курильского региона // Тихоокеанская геология. 2009. Т. 28, № 5. С. 85-95.
2. Барляева Т.В., Морозова А.Л., Пудовкин М.И. Влияние космических факторов на развитие землетрясений // Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов "Геофизика-99" "Геофизические методы исследования Земли и недр", Санкт-Петербург, 9-12 ноября 1999 г. М. 2000. С. 8-19.
3. Бузевич А.В. Солнечная активность и сейсмичность на Камчатке // Сборник докладов III международной конференции "Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений", с. Паратунка, 16-21 августа 2004 г. Электронный ресурс [http://www.kcs.iks.ru/ikir].
4. Гланц С. Медико-биологическая статистика. Пер. с англ. М.: Практика, 1998. 459 с.
5. Климишин И.А. Календарь и хронология. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. 480 с.
6. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии. М.: ФИЗМАТГИЗ, 1961. 494 с.
7. Левин Б.Ф., Сасорова Е.В., Журавлев С.А. Внутригодовая повторяемость активизации сейсмического процесса для Тихоокеанского региона // ДАН. 2005. Т. 403. № 4. С. 534-540.
8. Серафимова Ю.К. О связи сильных ($M_w \geq 7.5$) землетрясений Камчатки с солнечной активностью // Материалы научно-технической конференции "Геофизический мониторинг Камчатки", 17-18 января 2006 г., г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: Оттиск, 2006. С. 171-177.
9. Сытинский А.Д. О связи землетрясений с солнечной активностью // Физика Земли. 1989. № 2. С. 13-30.
10. Широков В.А. Влияние космических факторов на геодинамическую обстановку и ее долгосрочный прогноз для северо-западной части Тихоокеанской тектонической зоны // Вулканизм и геодинамика. М.: Наука, 1977. С. 103-115.
11. Широков В.А., Серафимова Ю.К. О связи 19-летнего лунного и 22-летнего солнечного циклов с сильными землетрясениями и долгосрочный сейсмический прогноз для северо-западной части Тихоокеанского тектонического пояса // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 2. Вып. № 8. С. 120-133.