

# О связи сильных землетрясений и природных ритмов

СЕРАФИМОВА Ю. К.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия  
e-mail: [yulka@emsd.ru](mailto:yulka@emsd.ru)

Влиянию космических факторов на сейсмичность Земли уделяется в последнее время большое внимание, и, в первую очередь, гравитационным взаимодействиям в системе Солнце – Земля – Луна. Наибольший интерес у исследователей вызывает изучение влияния на сейсмичность долгопериодных природных ритмов, например, 18.6-летнего лунного цикла, 11-летнего цикла солнечной активности, а также их долей и кратных. При этом не остаются без внимания и более короткопериодные воздействия, например, в течение времени не более одного года.

В настоящей работе проводится обобщение результатов исследований связи между указанными циклами и возникновением сильных ( $M \geq 7.5$ ) землетрясений. Характерной особенностью такой связи является статистически значимая приуроченность сильных сейсмических событий к фиксированным интервалам фаз указанных циклов. Значимость таких эффектов оценивается, как правило, на основе проверки гипотезы о равномерности распределения землетрясений в пределах наложенных друг на друга циклов. При наличии достаточно длительных рядов наблюдений выявление статистически значимых фазовых интервалов, в течение которых происходят наиболее сильные землетрясения, дает возможность осуществлять долгосрочный сейсмический прогноз, что и сделано в большинстве работ, например [1, 4, 10, 11]. Вместе с тем, вопросы использования выявленных закономерностей для оценки опасности возникновения сильных землетрясений в реальном времени и повышения эффективности их прогнозирования остаются открытыми.

## Методика исследований и полученные результаты

Исследование проводилось путем анализа связи между возникновением сильных землетрясений мира и Курило-Камчатского региона, с определенными фазовыми интервалами различных природных ритмов.

Если принимать продолжительность какого-либо природного цикла за единицу, значение фазы любого события рассчитывается как отношение разности времени между возникновением события и началом соответствующего цикла к продолжительности этого цикла:

$$\varphi_{\text{соб}} = (\tau_{\text{соб}} - \tau_{\text{нач.цикла}}) / T_{\text{цикла}}, \quad (1)$$

где  $\varphi_{\text{соб}}$  – значение фазы события,  $\tau_{\text{соб}}$  – дата события в долях года,  $\tau_{\text{нач.цикла}}$  – дата начала цикла в долях года,  $T_{\text{цикла}}$  – продолжительность цикла в годах. Такой подход может применяться к циклам с постоянным периодом (например, 18.6-летний лунный цикл) и к природным циклам, продолжительность которых варьирует (например, 11-летний цикл солнечной активности).

11-летний цикл солнечной активности (СА). В 1848 г. швейцарский астроном Р. Вольф в качестве меры солнечной активности ввел относительные числа солнечных пятен : $W$  – числа Вольфа, определяемые как  $W = k (10 g + f)$ , где  $g$  – число групп пятен на видимом диске Солнца в день наблюдения,  $f$  – число отдельных пятен,  $k$  – коэффициент, характеризующий наблюдательный прибор, обычно  $k \approx 1$ . Солнечная активность имеет циклические вариации со средним периодом 11.1 года. Продолжительности отдельных циклов СА варьируют от 8.2 до 15 лет.

В работе [7] автором показана связь сильных ( $M_W \geq 7.5$ ) землетрясений Камчатки с вариациями чисел Вольфа за период 1737-2005 гг., которая наиболее значимо проявляется для фаз, соответствующих максимуму и минимуму 11-летнего цикла солнечной активности, что не противоречит результатам других авторов [1, 10].

Анализ распределения наиболее сильных ( $M \geq 8.0$ , каталог NEIC) землетрясений мира за период 1973-2010 гг. по фазам 11-летнего цикла солнечной активности выявил эффект фазового разделения (непересечения) сильных землетрясений южного и северного полушарий Земли [14]. Наличие такого эффекта косвенно подтверждается результатами работы [7] для сильных камчатских землетрясений (землетрясения северного полушария) и работы [10].

Хейловский цикл солнечной активности. Первые предположения о существовании 22-летнего цикла солнечных пятен были сделаны в конце XIX в. Вольфом. После открытия в 1913 г. Хейлом закона изменения полярности магнитных характеристик Солнца, реальность выделения этого цикла получила физическое обоснование [2]. По данным измерений Хейла, при переходе от одного 11-летнего цикла к следующему полярность ведущих пятен групп в обоих полушариях Солнца меняет знак. В связи с этим Хейловский цикл чаще именуется магнитным. Длительность Хейловских циклов характеризуется большей устойчивостью, если за их начало брать минимумы четных 11-летних циклов. Каждому циклу приписывается номер, который обозначается в виде английской буквы Н (Hail, Хейл) и числа, соответствующего номеру четного 11-летнего цикла в соответствии с общепринятой цюрихской классификацией.

При изучении распределения сильных ( $M \geq 7.6$ ) землетрясений в четырех регионах северо-западной части Тихоокеанского пояса по фазам 22-летних Хейловских циклов солнечной активности обнаружено, что в окрестности минимумов с уровнем доверия более 0.99 выделяется статистически значимый фазовый интервал длительностью в среднем 13 месяцев. В этом узком "опасном" интервале произошло 13 землетрясений с магнитудами  $M \geq 7.6$  (для Японии с  $M \geq 7.9$ ) из 16-ти таких событий. Аналогичный эффект был выявлен для землетрясений Кавказа и Средней Азии с  $M \geq 6.6$ , что является подтверждением общепланетарной природы выявленного эффекта [9, 13].

18.6-летний лунный цикл и его кратные. Лунный цикл с периодом  $T_0 = 18.613 \approx 18.6$  года – это период вращения линии узлов орбиты Луны, т.е. линии, по которой плоскость ее орбиты сечет эклиптику (плоскость орбиты Луны наклонена под углом  $\sim 5^\circ$  к эклиптике). По этой причине происходят изменения амплитуды месячных изменений склонения Луны с периодичностью 18.6 года.

В работах [11, 12] детально рассматривался вопрос о связи сильных землетрясений Камчатки и Тихоокеанского пояса с 18.6-летним лунным циклом. Показано, что для сильных камчатских землетрясений с  $M \geq 7.5$  и с глубинами очагов до 100 км за период 1850-1976 гг. в пределах отдельных циклов выделяются два фазовых интервала, длительностью 1-3 года, к которым приурочены все такие события.

В работе [4] проведено сопоставление временных рядов сильнейших землетрясений с 18.6-летним периодом прецессии лунной орбиты, а также его долями и кратными. Для землетрясений Камчатки и Курил с  $M \geq 7.6$  и глубинами очагов до 80 км наиболее выражен период  $3T_0 \approx 56$  лет, в котором имеется одна общая активная фаза. Учитывая высокую значимость выявленной цикличности сильных землетрясений на Камчатке авторами [4] сформулирован долгосрочный прогноз сильных землетрясений и цунами на период 1993-2062 гг. В работе [3] была подтверждена статистическая значимость 56-летней цикличности для сильных землетрясений Камчатки.

Анализ распределения мировых землетрясений с  $M \geq 8.6$  за период 1900-2011 гг. показал наличие значимого эффекта группирования на периоде  $3T_0 \approx 56$  лет [8].

Метод фазовых траекторий. Совместно с Широковым В.А. автором предложен новый методический подход для решения задачи долгосрочного прогноза сильных землетрясений, основанный на изучении их совместной связи с лунным приливом 18.6 г. и 22-летним Хейловским циклом солнечной активности [13]. На основе предложенного метода фазовых траекторий (МФТ) проведен анализ совместного распределения по фазам ука-

занных двух циклов землетрясений северо-западной части Тихоокеанского тектонического пояса (Камчатки, Японии, Курильских и Алеутских о-вов) и обнаружены статистически значимые связи между группированием землетрясений и определенным соотношением их фаз. Это позволило дать прогнозы ожидаемых сильных землетрясений и оценить их эффективность по ретроспективным данным. Метод МФТ был также реализован для прогноза сильных землетрясений в других регионах мира, в т. ч. для Альпийско-Гималайской тектонической зоны [9]. На примере сильных камчатских землетрясений с  $M \geq 7.6$  показано, что все события с 1737 г. приурочены к определенным, достаточно компактным "опасным" окнам (рис.).

В соответствии с прогнозом, основанном на использовании метода МФТ, для Камчатки ближайший опасный период возникновения землетрясений с  $M \geq 7.6$  приурочен к интервалу времени август 2015 – июль 2017 гг., для Курильских островов ( $M \geq 7.5$ ) – сентябрь 2013 – февраль 2016 гг. При этом величина ретроспективной эффективности составляет 5.6 для Камчатки и 2.8 для Курильских островов [9].

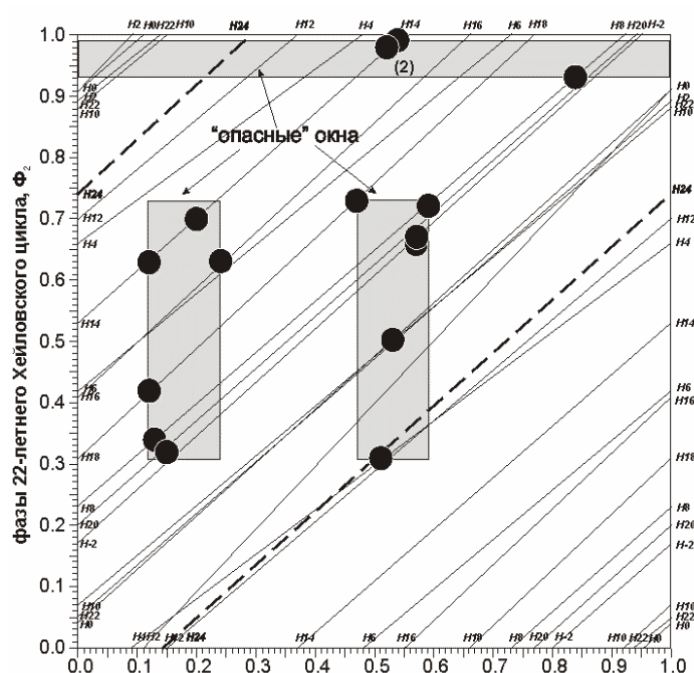


Рис. 1. Распределение сильных камчатских землетрясений с  $M \geq 7.6$  в зависимости от фаз 18.6-летнего лунного и 22-летнего Хейловского циклов за период 1737 – 2011 гг. Наклонными линиями показаны фазовые траектории, номера которых соответствуют номерам Хейловских циклов. Жирной пунктирной линией показан текущий Хейловский цикл  $H_{24}$  после определения эпохи минимума, соответствующей январю 2009 г. [9]

*Внутригодовое распределение землетрясений.* В [6] на примере Курило-Камчатского региона проанализирована связь между возникновением сильных ( $M \geq 6.0$ ) землетрясений и сменой сезонов (времен года). Особенностью методического подхода к анализу такой связи является использование *астрономических* времен года, которые определяются датами солнцестояния и равноденствия. Показано, что зависимость между определенной фазой сезона и возникновением сильных землетрясений является статистически значимой для землетрясений с  $M \sim 6.0$  для Камчатки и  $M \geq 6.5$  для Курильских островов. Величина ретроспективной эффективности использования сейсмопрогностического признака "смена сезона" при переходе от осени к зиме составляет 2.6 при прогнозировании времени камчатских землетрясений с  $M \sim 6.5$  [5].

## Выводы

1. Проведенные исследования связи времени сильных землетрясений с различными природными ритмами, а также анализ литературных данных, подтверждают статистически значимую приуроченность сильных сейсмических событий к фиксированным интервалам фаз рассматриваемых циклов. Это, в частности, позволило разработать метод фазовых траекторий для долгосрочного прогнозирования возникновения сильных ( $M \geq 7.6$ ) землетрясений в различных регионах мира с оценкой эффективности сделанных прогнозов.

2. Полученные ретроспективные оценки эффективности использования признака "смена сезонов" позволяют использовать его в практике работы специализированных советов по прогнозу землетрясений.

### Литература

1. Бузевич А.В., Смирнов С.Э. Метод прогноза камчатских землетрясений по вариациям геомагнитного и атмосферного электрического полей Земли на фоне гелиомагнитосферных процессов // Проблемы геодинамики и прогноза землетрясений. I Российско-Японский семинар, Хабаровск, 26-29 сентября 2000 г. – Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН. 2001. – С. 179-186.

2. Витинский Ю.И. Цикличность и прогнозы солнечной активности. – Л., 1973. – 257 с.

3. Гусев А.А. О реальности 56-летнего цикла и повышенной вероятности сильных землетрясений в Петропавловске-Камчатском в 2008-2011 гг. согласно лунной цикличности // Вулканология и сейсмология. – 2008. – № 6. – С. 55-65.

4. Гусев А.А., Петухин А.Г. О возможной синхронизации сильных землетрясений лунным 18.6-летним циклом, его долями и кратными // Вулканология и сейсмология. – 1997. – № 3. – С. 64-79.

5. Серафимова Ю.К. О новом подходе к анализу внутригодового распределения землетрясений // Матер. региональной научной конф. "Вулканизм и связанные с ним процессы", посвящённой Дню вулканолога – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2016. – С. 207-212.

6. Серафимова Ю.К. О связи сезонности и сильных ( $M \geq 6.0$ ) землетрясений Курило-Камчатского региона // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Тр. Четвертой научно-техн. конф. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 200-204.

7. Серафимова Ю.К. О связи сильных ( $M_W \geq 7.5$ ) землетрясений Камчатки с вариациями чисел Вольфа // Вестник КРАУНЦ. Серия Науки о Земле. – 2005. – № 2. – Вып. № 6. – С. 116-122.

8. Серафимова Ю.К., Широков В.А. Особенности связи сильнейших землетрясений мира ( $M_w \geq 8.7$ ) с циклами солнечной активности и 18.6-летним лунным приливом // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Тр. Третьей научно-техн. конф. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 191-194.

9. Серафимова Ю.К., Широков В.А. Прогнозирование сильных землетрясений, вулканических извержений и цунами на основе изучения их связи с лунным приливом 18.6 г. и 22-летним Хейловским циклом солнечной активности // Сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке (К 50-летию детальных сейсмологических наблюдений). – Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2012. – С. 305–328.

10. Сытинский А.Д. О связи землетрясений с солнечной активностью // Физика Земли. – 1989. – № 2. – С. 13-30.

11. Широков В.А. Влияние девятнадцатилетнего лунного прилива на возникновение больших камчатских извержений и землетрясений и их долгосрочный прогноз // Геологические и геофизические данные о Большом трещинном Толбачинском извержении 1975-1976 гг. – М.: Наука, 1978. – С. 164-170.

12. 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.

13. 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. Серия Науки о Земле. – 2006. – № 2. – Вып. № 8. – С. 120-133.

14. Широков В.А., Серафимова Ю.К. Прогноз сильных мировых землетрясений, цунами и вулканических извержений до 2025 г. и перспективы повышения его эффективности // Проблемы сейсмичности Дальнего Востока и Восточной Сибири: докл. научн. симпоз., 1-4 июня 2010г., г. Хабаровск. – Хабаровск: ИТиГ им. Ю.А.Косыгина ДВО РАН, 2010. – С. 302-305.