ВАРИАЦИИ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ И ЕЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Е.В. Сасорова¹, Б.В. Левин^{2,1}

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г.Москва, <u>sasorova_lena@mail.ru</u> ² Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН г.Южно-Сахалинск

Введение

Известно, что сейсмическая активность Земли демонстрирует отчетливую неравномерность (неоднородность) как в пространстве, так и во времени. Периоды усиления сейсмической активности (СА) сменяются периодами ее спада. И эти периоды по-разному проявляются в различных регионах Земли. Усиление СА в одном регионе может сопровождаться ее уменьшением в другом регионе.

Цель данной работы состоит в выделении закономерностей в распределениях плотности сейсмических событий и в установлении связи изменений СА с вариациями угловой скорости вращения Земли (v).

Для сильных землетрясений (3T) периоды усиления CA сменяются периодами ее спада, и эти циклы продолжаются по несколько десятков лет (по разным оценкам - около 30, 55 и 70 лет). В работе [1] сделана попытка выявить периодичности в появлении сильных 3T за период с 1900 по 2013гг. Авторами работы выделены характерные периоды усиления CA: 25, 30, и 55лет (для разных магнитудных диапазонов, начиная с Mw>=6.8). В работе [2] были рассмотрены события за период с 1895 по 2014 гг. с Ms>=7.5, и отмечены характерные периоды усиления CA: \approx 25, \approx 30 и 55лет. Ранее [3] при анализе динамики сильных 3T с Ms≥7 в Курильском регионе и на Алеутских островах за 1910–2009 гг. отмечались 30-35 летние периоды цикличности CA.

Подготовка сейсмических данных

Для анализа процессов с периодичностями от нескольких лет до нескольких десятков лет необходимо получить длительные ряды достоверных наблюдательных данных (не менее 100 лет) как для сейсмических событий, так и для вариаций скорости вращения Земли. В работе использовались наблюдательные данные по вариациям угловой скорости длительностью 293 года и временные ряды сейсмических наблюдений длительностью 119 лет.

Для анализа динамики сейсмической активности на данном этапе, мы выбирали 3T с 1895 г. по 2014 гг. (119 лет). По оценкам разных авторов, для первой половины 20-ого века представительными могут считаться события, у которых магнитуда М>=7.0. Оценка представительной магнитуды осуществлялась по рабочим каталогам, очищенным от афтершоков, и независимо для всей Земли и каждого выбранного региона. Для формирования рабочего каталога сильных 3T за период с 1895 по 2014гг. использовались два подмножества баз всемирного каталога NEIC/USGS [4]: каталог USGS/NEIC с 1973 по 2013 гг. и каталог значительных землетрясений на Земле с 2150 до н.э. по 1994 г. н.э., скомпилированный NEIC на основе базы данных агентства NOAA.

В каталоге значительных землетрясений магнитуда событий описывается в шкале агентства NOAA (Mnoaa), а в каталоге NEIC с 1973г. магнитуда каждого события может быть представлена одновременно несколькими значениями Mb, Ms, Mw и другими. Магнитуды Mw начинают активно использоваться с 1985г., а в настоящее время эта шкала становится основной для описания сильных событий. Для рабочего каталога сильных событий с 1895г мы использовали магнитудную шкалу Ms, так как для периода с 1890 г. по 1980 г. не было возможности получить диаграммы рассеивания для шкал Mnoaa и Mw.

Для подготовки рабочих версий каталогов сначала было выполнено: несколько этапов предварительной обработки (исключение дублей, выделение и правка записей с пустыми полями), стандартизация магнитудных шкал и удаление афтершоковых последовательностей.

Для анализа временных распределений весь интервал наблюдений разбивался на пятилетние интервалы, и рассматривалось суммарное количество событий в каждом пятилетнем интервале. На рис.1 представлены распределения сильных землетрясений (с М>=7.5) по пятилетним интервалам

с1985 по 2014 гг.: а) – для всей Земли, б) - для Северного полушария, с)- для Южного полушария. Анализ распределений сильных землетрясений во времени показывает, что существует явно выраженная цикличность усиления и ослабления СА с периодом около 25-35 лет.



Рис. 1. Распределения сильных землетрясений (с М>=7.5) по пятилетним интервалам с1985 по 2014 гг.: а) – для всей Земли, б) - для Северного полушария, с)- для Южного полушария. По горизонтальным осям - верхние границы пятилетних интервалов; по вертикальным осям – относительное количество землетрясений $\overline{N}_i = N_i / N_{sum}$, где \overline{N}_i - количество событий в i-ом интервале, а N_{sum} - суммарное количество событий по всем временным интервалам. Тонкие сплошные вертикальные линии соответствуют минимумам СА.

Следует отметить, что значительный пик сейсмической активности в начале 20-го столетия наблюдается на всех трех фрагментах рис. 1. Наиболее значительная разница в сейсмической активности наблюдается в Северном полушарии. С 1896 по 1920 гг. (5 пятилетних интервалов) зарегистрировано 190 событий (в среднем 38 событий за каждый пятилетний интервал), а с 1925 по 2015 гг. (19 пятилетних интервалов) произошло 198 событий, (10 событий за интервал), т.е. практически четырехкратное уменьшение.

Подготовка наблюдательных данных по вариациям скорости вращении Земли.

Для анализа вариаций скорости вращения Земли адаптированы два источника данных. Это – общедоступные данные агентства International Earth Rotation Service [5] и таблицы, представленные в работах [6, 7]. В первом источнике собраны ежесуточные наблюдения за изменениями угловой скорости с 1962 по 2012 (всего 18328 отсчетов). В этой базе представлены значения LOD (Length of Day), определяемые как разность величин периодов (Pz - Pa), где Pa - период астрономических суток (86400 сек), а Pz -период земных суток (Pz и Pa измерены в мсек). Вариация угловой скорости v определяется как относительное изменение угловой скорости, выраженное через их периоды:

 $v = (\omega - \Omega) / \Omega \approx -(Pz - Pa) / Pa.$

Здесь ω и Ω угловые скорости, соответствующие наблюдаемым и стандартным суткам [8]. В процессе предварительной обработки отбракованы ошибочные записи данных. Полученные данные стали основой для рабочего каталога ежесуточных наблюдений за период с 1962 по 2012 (далее в тексте короткий каталог – SCAT).

Во втором источнике собраны данные за период 1657 -1984гг. с частотой наблюдения – один раз в полгода. На интервале с 1657 по 1720 имеются годичные и полуторагодовые пропуски наблюдений, поэтому для подготовки рабочего каталога был использован период с 1720 по 1984 гг. (общая продолжительность наблюдений 260 лет, длина каталога - 521 отсчет). В процессе предварительной обработки были выбракованы многочисленные ошибочные записи данных и определены значения v для всей таблицы, которая стала основой рабочего каталога полугодовых наблюдений за период с 1720 по 1984 гг. (далее в тексте длинный каталог, - LCAT).



Рис.2. Относительное безразмерное изменение угловой скорости вращения Земли (v) с 1962 по 2014 гг., временной ряд для короткого каталога (SCAT); временной ряд для объединенного каталога (JCAT) - за период 1720 -2014 гг. Горизонтальные оси обоих фрагментов - время (год), вертикальные оси - значение: v *10⁸.

Затем каталог LCAT был расширен на 30 лет за счет добавления значений с 1984 по 2014 гг. из каталога SCAT. Добавленные значения получались за счет усреднения ежесуточных наблюдений на каждом полугодовом промежутке (для временного интервала с 1962 г. по настоящее время). Оба каталога имеют общий (накладывающийся) период наблюдения с 1962 г. по1984 г. Сопоставление двух временных рядов за этот период: каталога LCAT и усредненного ряда по полугодовым интервалам каталога SCAT показало, что средняя относительная ошибка от усреднения не превышает 5%.

Полученный таким образом JCAT (объединенный каталог) содержит наблюдения с 1720 по 2014 гг. (294 года, 588 наблюдений). Временные ряды наблюдений по относительной угловой скорости вращения Земли для каталогов SCAT и JCAT представлены на рис 2.

Для каталога JCAT выделяются длительные интервалы времени (до десяти и более лет), сменявшие друг друга, в которые происходили значительные увеличения значений v (с 1859 по 1867 гг. и 1910-1928 гг.) или их уменьшения (с 1867 по 1911 гг.). Отмечаются длительные интервалы времени, на которых наблюдаются незначительные колебания значений v вокруг некоторого постоянного уровня (1780-1840 гг.). Для временного ряда по каталогу SCAT можно отметить, колебания значений v в высокочастотном диапазоне (год, полгода, 28 и 14 суток). Длиннопериодные колебания в десятки лет, хотя и наблюдаются на рис.2, но при длительности наблюдений 50 лет, корректное выделение этих составляющих спектра не представляется возможным.

Сопоставительный анализ временных рядов.

Для обоих временных рядов: SCAT и JCAT были рассчитаны спектры (Рис.3). Характерные периоды спектра для SCAT: один год, полгода, 28 и 14 суток. Это широко известные периоды, связанные с орбитальными компонентами движения Земли в системе Земля-Луна-Солнце. Характерные периоды в спектре объединенного каталога (JCAT) – 62 года, 32 года и 23 года. Более короткие периоды на этом наборе данных не дают заметных пиков в спектре.



Рис. 3. Спектр для значений v по данным SCAT за период 1962-2014 гг., двойной логарифмический масштаб; спектры для временного ряда значений v по данным JCAT на период 1720-2014: линейный масштаб (слева) и двойной логарифмический масштаб (справа вверху). Горизонтальные оси - количество циклов в год.



Рис. 4. Временной ряд, полученный в результате полосовой фильтрации значения v (выделялись периоды в интервале от 124 до 19 лет) по данным объединенного каталога, содержит все низкочастотные составляющие спектра JCAT. Вертикальная ось – относительная скорость вращения Земли (v)

Внимательный анализ динамики усиления и ослабления СА [2] показал, что продолжительность временного интервала между максимальными значениями плотности сейсмических событий во времени не остается постоянной, хотя периодичность около 30 лет и указывается в ряде источников. Далее мы рассматриваем суммарное влияние всех низкочастотных

составляющих (62, 32 и 23 года) на периодичность СА. Временной ряд, полученный в результате фильтрации данных объединенного каталога JCAT, в интервале от 124 до 19 лет приведен на рис 4. Максимальный разброс значений v для этого ряда приходится на сравнительно ограниченный временной интервал (1865-1932 гг).

Низкочастотная составляющая значений v с 1895 по 2014 г приведена на верхнем фрагменте рис. 5. Далее для низкочастотной составляющей были определены приращения угловой скорости за промежуток времени Δt :- $\Delta v/\Delta t$. Эта величина является некоторой оценкой для ускорения вращения Земли. Ускорение считается при Δt стремящемся к нулю, а здесь определяется приращение на постоянном для всего ряда промежутке времени Δt , который можно менять. График для приращений угловой скорости приведен на среднем фрагменте рис. 5. Положительные значения приращений соответствуют стадиям разгона, а отрицательные – стадиям торможения.



Рис. 5. Верхний фрагмент - значение v по объединенной низкочастотной составляющей спектра угловой скорости Земли (периоды от 124 до 19 лет). Средний фрагмент - приращение угловой скорости Δv/Δt на том же интервале времени; нижний фрагмент – распределение плотности сильных землетрясений (с М≥7.5) по пятилетним интервалам, по вертикальной оси - количество землетрясений в каждом пятилетнем интервале (фрагмент адаптирован из работы [2]). По горизонтальным осям – верхние границы пятилетних интервалов (год).

На нижнем фрагменте рис. 5 представлено распределение плотности сильных 3Т (с М≥7.5) по пятилетним интервалам за период с 1895 по 2014. На графике просматривается явно выраженная периодичность последовательного уменьшения и увеличения СА.

Обсуждение результатов анализа.

Сопоставим фрагменты, представленные на рис. 5. Здесь максимумы СА соответствуют завершающим этапам стадий уменьшения угловой скорости вращения (т.е. торможения). Эти промежутки времени (верхний фрагмент) помечены серыми прямоугольниками. Промежуткам времени с минимальной СА соответствуют заключительные этапы стадии увеличения угловой скорости (стадии разгона, помечены звездочками). Пунктирные вертикальные линии соответствуют пятилетним интервалам с максимальной СА.

Следует отметить, что локальные минимумы приращений угловой скорости $\Delta v/\Delta t$ практически совпадают по времени с максимумами СА. Т.е максимальное усиление СА происходит на стадии максимального торможения.

Ранее отмечалось четырехкратное увеличение плотности сейсмических событий в пятилетних интервалах первой четверти XX века (по сравнению со второй половиной XX века). Именно этот период (1895-1920 гг) и соответствует длительному и самому значительному торможению (уменьшению значений v и $\Delta v/\Delta t$) за весь период наблюдений (с 1720 г).

Дополнительное исследование показало, что положение максимумов и минимумов в распределении 3T сохраняется при замене пятилетних интервалов на трехлетние или шестилетние.

Попытки обнаружить связь между глобальной сейсмической активностью и особенностями вращения Земли предпринимались неоднократно [9, 10, 11, 12]. Однако авторы использовали в основном каталоги ЗТ, длительностью не более 60 лет, и данные по вариациям угловой скорости Земли из базы IERS (временные ряды длительностью 50 лет). Анализ коротких временных рядов не дает возможности выделить периодичности в СА и в изменениях скорости вращения Земли длительностью более чем 10 лет.

Анализ физики связи между торможением и ускорением вращения Земли и увеличением или уменьшением ее СА в данной работе не рассматривался. Однако, ранее было показано [13], что увеличение угловой скорости вращения Земли ведет к увеличению степени сжатия нашей планеты, увеличению ее экваториального радиуса и увеличению площади ее поверхности. Вследствие этого может уменьшаться напряжение между литосферными плитами и, соответственно, должна уменьшаться степень СА. При уменьшении скорости вращения наоборот, степень сжатия уменьшается, уменьшается площадь поверхности и расстояние между плитовыми структурами; т.е. происходит увеличение напряженности в среде и увеличение СА. В эти периоды влияние высокочастотных составляющих в вариациях скорости вращения (годовые, полугодовые, 28суточные и 14-суточные) на СА начинают проявляться более заметно.

Благодарности.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность В.В. Адушкину и М.Я. Марову за возможность обсуждения физических идей работы и полезные замечания, а также Е.Б. Чиркову и М.В. Родкину за плодотворные обсуждения. Работа частично поддержана грантом РФФИ 13-05-00060.

Список литературы

- 1. Лутиков А.И., Рогожин Е.А.. Вариации интенсивности глобального сейсмического процесса в течение XX начале XXI веков. // Физика Земли. 2014. №4. С. 25-42.
- 2. Левин Б.В., Сасорова Е.В. Динамика сейсмической активности Земли за 120 лет.// ДАН. 2015. Т.461. №1. С.82-87. **DOI:** 10.7868/S086956521507018Х
- 3. Левин Б.В., Сасорова Е.В. Сейсмичность Тихоокеанского региона: выявление глобальных закономерностей. М.: Янус-К, 2012. 308 с.
- 4. NEIC USGS: <u>http://www.ncedc.org/anss/catalog-search.html</u>
- 5. International Earth Rotation and Reference System Service, http://iers.org
- 6. McCarthy D.D., and Babcock A.K. The length of day since 1656. //Physics of the Earth and Planetary Interiors. 1986. V.44. P.281-292.
- Morrison, L.V. Rotation of the Earth from A.D. 1663 1972 and the constancy of G. //Nature. 1973. V. 241. P. 519-520.
- 8. Сидоренков Н.С. Физика нестабильностей вращения Земли. М. Наука. Физматлит. 2002. 384 с.
- Varga P., D. Gambis, Z. Bus, Ch. Bizouard. The relationship between the global seismicity and the rotation of the Earth, // Journées 2004 - systèmes de référence spatio-temporels. Fundamental astronomy: new concepts and models for high accuracy observations. Paris, 20-22 September 2004, edited by N. Capitaine, Paris: Observatoire de Paris, ISBN 2-901057-51-9. 2005. P. 115 – 120.
- 10. Фридман А.М., Клименко А.В., Поляченко Е.В., Фридман М.В. О связи глобальной сейсмической активности Земли с особенностями ее вращения. //Вулканология и сейсмология. 2005. №1. С.67-74.
- 11. Горькавый Н.Н., Трапезников Ю.А., Фридман А.М. О глобальной составляющей сейсмического процесса и ее связи с наблюдаемыми особенностями вращения Земли. // ДАН. 1994. Т.338. №4. С.525-527.
- Ma, Li-Hua; Han, Yan-Ben; Yin, Zhi-Qiang Distribution Characteristics of Global Significant Earthquakes and Possible Connection Between Earthquakes and Earth's Variable Rotation Rate, Astronomical Research and Technology. Publications of National Astronomical Observatories of China (ISSN 1672-7673). 2007. Vol. 4. No. 4. P. 406-411.
- Levin B., Domanski A., and Sasorova E. Zonal concentration of some geophysical process intensity caused by tides and variations in the Earth's rotation velocity. // Adv. Geosci. 2014. 35. 137–144, doi:10.5194/adgeo-35-137-2014.