

ВАРИАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ И СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

Янчуковский В.Л., Кузьменко В.С., Хисамов Р.З.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука Сибирского отделения
Российской академии наук, Новосибирск, Россия

Рассматривается полугодовая вариация интенсивности космических лучей и сезонная изменчивость сейсмической активности. Полугодовая вариация космических лучей оценивается по данным мировой сети нейтронных мониторов за полувековой период. Для определения уровня сейсмической активности использовались данные о числе сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 6$ за этот же период. Обнаружена сезонная изменчивость числа сильных землетрясений, которая следует за полугодовой вариацией интенсивности космических лучей. С точки зрения сейсмологии трудно объяснить наличие сезонной изменчивости землетрясений. Рассматривается возможный механизм связи сезонной изменчивости числа землетрясений и полугодовой вариации интенсивности космических лучей.

На наличие связи сейсмичности Земли с 11-летним циклом солнечной активности (СА) было указано еще в 1938 году Пьером Бернаром [Пьер Руссо, 1966]. Результаты исследований процессов на Солнце и в межпланетной среде, накопленный объем данных инструментальных сейсмических наблюдений и использование энергетической классификации землетрясений обеспечили более подробное исследование зависимости сейсмичности Земли от солнечной активности. Анализ данных инструментальных сейсмических наблюдений и гелиогеофизических данных за период 1909 – 1926 гг. и 1962 – 1977 гг. показал [Сытинский, 1989] увеличение сейсмичности Земли вблизи максимума на спаде и вблизи минимума 11-летнего солнечного цикла. На интервале 21-ого цикла солнечной активности (за период с 1975 по 1987 годы) была рассмотрена [Соболев и др., 1998] связь суммарной годовой энергии землетрясений и интенсивности космических лучей (по данным высокоширотного нейтронного монитора станции космических лучей Апатиты). Отмечается достаточно тесная связь, коэффициент корреляции на рассматриваемом интервале составил – 0.82. Возможно, такая связь наблюдается и на меньших временных интервалах.

О внеатмосферной природе сезонных вариаций интенсивности космических лучей (КЛ) с максимумами в периоды равноденствия впервые было отмечено еще в работе [Дорман, Лузов, 1967]. Последующие теоретические и экспериментальные исследования природы годовой и полугодовой вариаций интенсивности КЛ рассматриваются в работах [Крымский и др., 2012; Белов и др., 2015] и др. По результатам этих исследований установлено, что годовая и полугодовая вариации КЛ вызваны: с одной стороны, наличием гелиоширотного градиента плотности КЛ, который обусловлен существованием северно-южной асимметрией в низкоширотной гелиосфере, а с другой - положением и раствором нейтрального слоя межпланетного магнитного поля. Для оценки сезонного

распределения потока КЛ в атмосфере были привлечены данные за длительный период наблюдений, выполненных с помощью нейтронных мониторов [<http://www.nmdb.eu/>]. При этом использовались исправленные на метеорологические эффекты среднемесячные значения темпа счета нейтронных мониторов мировой сети станций КЛ за период с 1970 г. по 2018 г. Наблюдаемая с помощью нейтронных мониторов сезонная вариация интенсивности КЛ представлена на рис. 1 для станций космических лучей северного (а) и южного (б) полушарий.

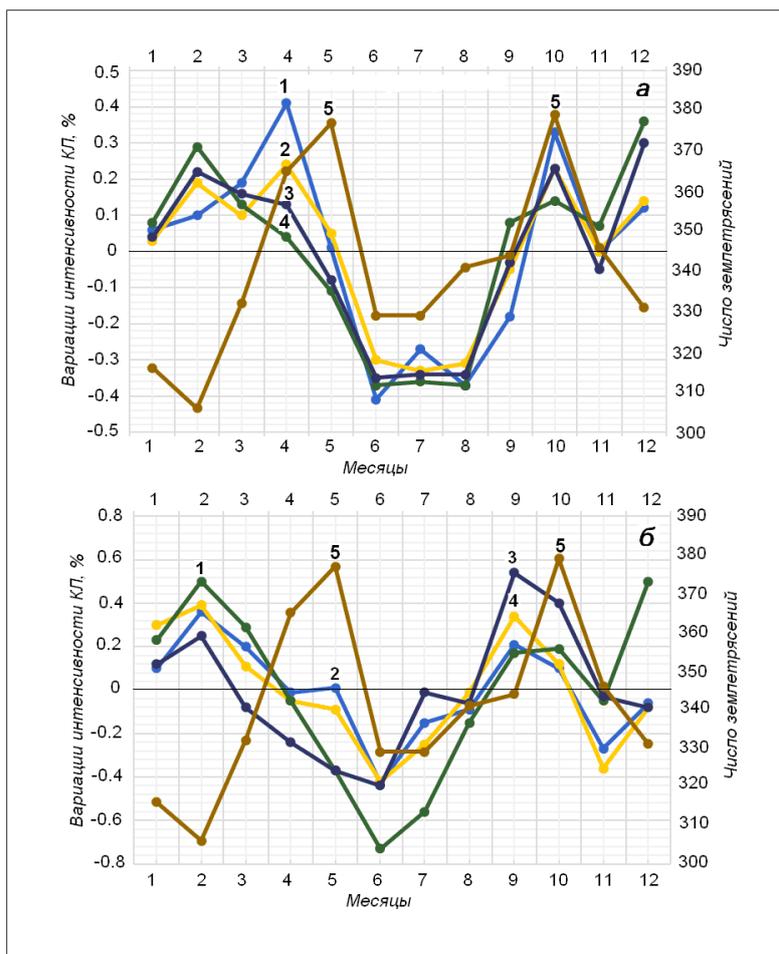


Рис. 1. Сезонная вариация интенсивности КЛ: а - по данным нейтронных мониторов северного полушария (1 – Novosibirsk, 2 – Irkutsk, 3 – Ouly, 4 – Moscow); б – по данным нейтронных мониторов южного полушария (1 – Hermanus, 2 – Potchefstroom, 3 – Sanae, 4 – Tsumeb); а также сезонная изменчивость числа сильных землетрясений (кривая 5).

В определении среднемесячных значений использовались все данные, независимо от фазы солнечного цикла, не исключались периоды с сильными Форбуш-понижениями и вспышками КЛ. Нетрудно заметить, что результаты, полученные с помощью станций КЛ северного полушария, более согласованы (рис. 1а). Это объясняется более высоким качеством данных всех этих станций КЛ. Данные наблюдений непрерывны, получены с

помощью приборов одного типа, имеющих большую эффективную площадь сбора, которая обеспечивает высокую статистическую точность регистрации. Среди группы станций КЛ южного полушария только станция КЛ Tsumeb имеет прибор, уровень которого соответствует уровню приборов станций КЛ северного полушария. Несмотря на это на всех станциях КЛ полугодовая вариация наблюдается одновременно и, практически, равной амплитуды независимо от координат станции и ее высоты над уровнем моря. Сезонная изменчивость числа землетрясений была обнаружена ранее [Кропоткин и Люстих, 1974] только для слабых и умеренных землетрясений. Для землетрясений с магнитудой $M \geq 5.5$ ответ не всегда однозначен. В данной работе для оценки сезонного распределения сейсмической активности были использованы данные наблюдений числа только сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 6$ на интервале в 50 лет [<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes>]. Полученные результаты показаны также на рис. 1 (кривая 5). Таким образом, сезонная изменчивость характерна не только для слабых и умеренных землетрясений, но и для сильных. Однако очень трудно с точки зрения сейсмологии объяснить наличие сезонной изменчивости землетрясений. Представленные результаты позволяют нам наблюдать, что сезонное распределение числа сильных землетрясений как бы следует за полугодовой вариацией интенсивности КЛ.

Космические лучи являются основным источником ионизации атмосферы до высот около 100 км, приводящей к существенным физическим изменениям в атмосферном воздухе [Marsh and Svensmark, 2000; Usoskin and Kovaltsov, 2006; Harrison and Tammet, 2008; Кудрявцев и Юнгер, 2011; Tinsley, 2012]. Представленные механизмы воздействия КЛ на погодные явления объясняют, как ионизация атмосферы КЛ приводит к изменениям температуры и давления и, следовательно, к изменению атмосферной циркуляции, с помощью которой полученная тепловая энергия распределяется в атмосфере. Изменения атмосферной циркуляции приводят к значительным изменениям атмосферных процессов. В тропосфере постоянно возникают, развиваются и исчезают вихри. К таким вихрям относятся циклоны и антициклоны. Энергия среднего циклона сопоставима с суммарной годовой энергией всех землетрясений земного шара [Ярошевич, 2019]. Установлено [Боков и Воробьев, 2012, 2014], что именно изменения атмосферной циркуляции обуславливают усиление ряда геофизических предвестников – геоакустические шумы, эмиссию радона, изменение уровня подземных вод, деформацию и наклоны земной коры. При рассмотрении воздействия атмосферных процессов на сезонную изменчивость сильных землетрясений в [Боков и Воробьев, 2007; Боков, 2010] показано, что возрастание числа сильных землетрясений происходит при увеличении общей повторяемости

подвижных внетропических циклонов и антициклонов. На рис. 2 в качестве примера эта связь показана для района Японии.

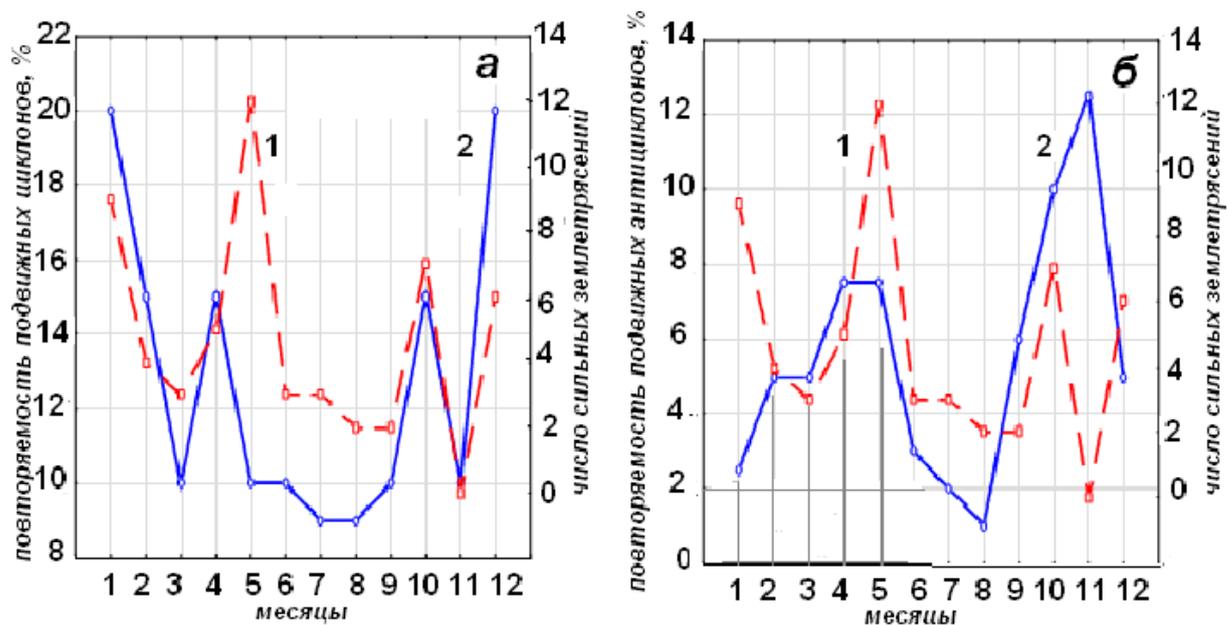


Рис. 10. Сезонная изменчивость числа сильных землетрясений (кривая 1) и повторяемость (кривая 2) подвижных циклонов (а) и подвижных антициклонов (б) для района Японии.

Постоянно смещающиеся воздушные вихри [Боков, 2004] совместно с эндогенными процессами могут вызывать изменения напряженно-деформационного состояния среды и образование колебаний в земной коре.

Таким образом, сезонная изменчивость характерна не только для слабых и умеренных землетрясений, но и для сильных. Сезонное распределение числа сильных землетрясений может быть обусловлено изменениями атмосферной циркуляции в течение года, вызванными полугодовой вариацией галактических космических лучей. Максимальные значения числа сильных землетрясений приходятся на весенние и осенние периоды и совпадают с максимальной изменчивостью атмосферной циркуляции и максимальными значениями интенсивности галактических космических лучей в течение года.