

УДК 550.348:551.21:523.9

О ВЗАИМОСВЯЗЯХ ЭНДОГЕННОЙ АКТИВНОСТИ ЗЕМЛИ С СОЛНЕЧНОЙ И ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

© 2009 г. С. В. Белов, И. П. Шестопапов, Е. П. Харин

Представлено академиком Д. В. Рундквистом 08.02.2009 г.

Поступило 13.04.2009 г.

К настоящему времени известно, что изменение солнечной активности вызывает цепочку взаимосвязанных явлений в межпланетном пространстве, магнитосфере, ионосфере, нейтральной атмосфере, биосфере [1]. Анализ публикаций о взаимосвязи солнечной активности с сейсмичностью показывает, что в зависимости от качества и полноты используемых каталогов и длительности рядов наблюдений диапазон выводов варьируется от утверждений о существовании корреляции между энергией землетрясений с числами Вольфа до обнаружения антикорреляции между ними [2, 3]. Поэтому одной из задач явилось создание наиболее полного и однородного каталога землетрясений за длительный период, и что позволило бы на его основе оценить взаимосвязь энергии землетрясений с солнечной активностью.

Наряду с сейсмичностью одним из главных проявлений эндогенной активности Земли является вулканизм. Изучению различных его аспектов посвящена обширная литература, осуществляется международная программа “Global Volcanism program” [4]. Внутригодовая синхронность проявлений сейсмичности и вулканизма с максимумом в июне-июле выявлена в [5]. Однако в сводной монографии Н. П. Лаверова и др. [6] отмечено, что “проблема взаимоотношения вулканизма и сейсмичности не получила однозначного решения. Особенно это касается их причинно-следственных связей”.

В настоящей работе впервые на основе статистики за длительный период, охватывающий несколько солнечных циклов, проанализирована связь главных проявлений эндогенной активности Земли — вулканизма и сейсмичности, а также их связь с солнечной и геомагнитной активностью.

В работах [1, 7] на основе статистических данных было показано, что в целом на протяжении нескольких солнечных циклов между сейсмичностью и солнечной активностью существует значимая отрицательная корреляция, которая нарушается в периоды мощных солнечных вспышек, когда генерируются интенсивные потоки заряженных частиц в широком диапазоне энергий. В ходе анализа данных о солнечной и сейсмической активности за период с 1680 по 2002 г. выявлено три вековых цикла сейсмической активности и установлено, что в начале каждого из них сейсмичность нарастает.

Для анализа вулканизма использован каталог [8]. Однако в нем содержатся данные об вулканических извержениях лишь за 1890–1977 гг. В связи с его неполнотой авторы обратились к каталогу вулканических извержений за 1870–2007 гг. Смитсоновского института (The Smithsonian Institution’s Global Volcanism Program), в котором, к сожалению, отсутствуют оценки энергетики извержений. На основе обоих каталогов была создана общая мировая информационная база данных, включающая объемы излившейся лавы и извергнутого пепла. Для анализа сейсмичности использован каталог землетрясений с магнитудами $M_s \geq 6$ и $m_b \geq 5.5$ за 1898 – 2002 гг., созданный в [1] на основе данных Национального центра информации о землетрясениях Геологической службы США (NEIC, USGS) [9], Международного сейсмологического центра (ISC) [10], каталога сильных землетрясений [11] и каталога Н. В. Голубевой [12].

В настоящей работе использовались данные каталога [1], продленного до 2008 г. Для характеристики солнечной активности использованы данные о числах Вольфа [13].

Результаты сопоставительного анализа главных компонент эндогенной активности Земли — сейсмичности и вулканизма, отражающих тектонический и магматический процессы в зависимости от солнечной активности, представлены на рис. 1 и 2. Как можно видеть (рис. 1), в конце XIX в. происходило быстрое увеличение сейсмической активности. Максимального значения она достигла в начале XX столетия, затем происходило постепенное ее понижение. Минимальные значения сейсмической активности наблюдались пе-

Государственный геологический музей
им. В. И. Вернадского
Российской Академии наук, Москва
Геофизический центр
Российской Академии наук, Москва

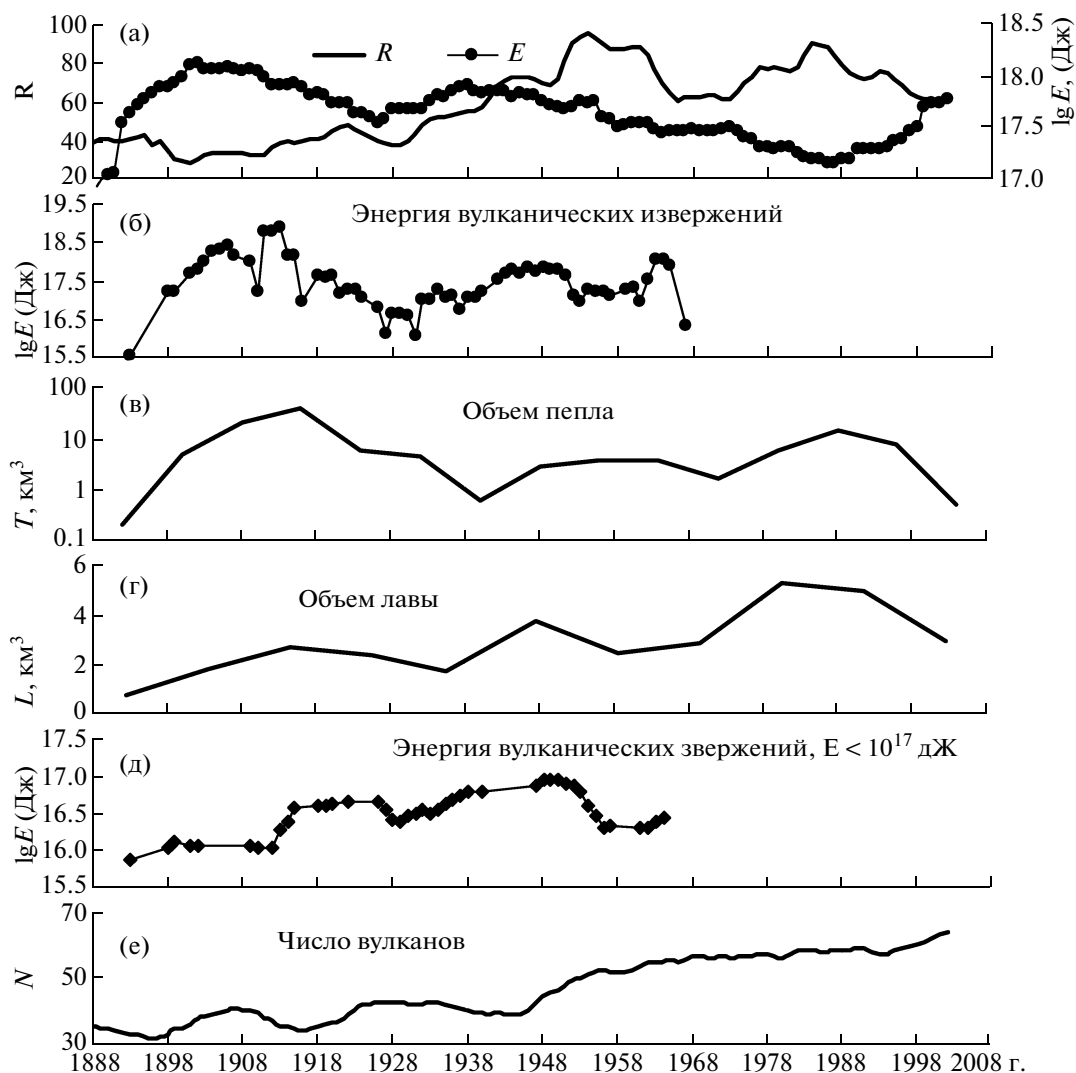


Рис. 1. Временные вариации: а - среднегодовых значений чисел Вольфа R - и ежегодных выделений сейсмической энергии в землетрясениях на всем земном шаре (E), сглаженных по 11 значениям, за период с 1888 по 2007 г; б - суммарных годовых значений энергии вулканических извержений на земном шаре, сглаженных по пяти значениям, за период с 1888 - 1971 гг; в, г - объема извергнутого материала: в - пепла, г - лавы (суммарные значения за 8 лет) за период с 1888 по 2007 г; д - энергии вулканических извержений с энергией менее 10^{17} Дж; е - общего числа извергающихся вулканов в год, сглаженных по 11 значениям за период с 1888 по 2007 г.

ред 1990 г. т.е. примерно через 100 лет от начала возрастания. Солнечная активность в период максимума энерговыделений при землетрясениях имела минимальные значения в течение всего XX столетия (см. рис. 1, а). С этого момента на протяжении столетия солнечная активность постепенно нарастала. Наиболее высокие ее значения отмечены в 1954 и 1984 г. Этим максимумам солнечной активности соответствует относительно низкая сейсмическая энергия. В целом установлена отрицательная корреляция между этими параметрами. Коэффициент корреляции $r = -0.8$. Это позволяет утверждать, что, как правило, наибольшая сейсмическая активность соответствует минимальной солнечной активности и наоборот.

Ранее в [1] было показано, что столетний цикл солнечной и сейсмической активности разбивается на три периода примерно по 33 года, т.е. длительность каждого составляет три 11-летних цикла солнечной активности. Отмечалось ниже, что наиболее сильные землетрясения происходят в начале каждого векового цикла. Из рис. 1, 2 видно, что начиная примерно с 1990 г. прошлого века происходит существенное нарастание выделения сейсмической энергии. Похожий тренд графика энергии землетрясений (нарастание сейсмической энергии от минимальной в 1990 г. к весьма высокой в 2004–2007 г.) наблюдался приблизительно в 1890 г. Это, по-видимому, указывает на то, что в начале 90-х годов прошлого века насту-

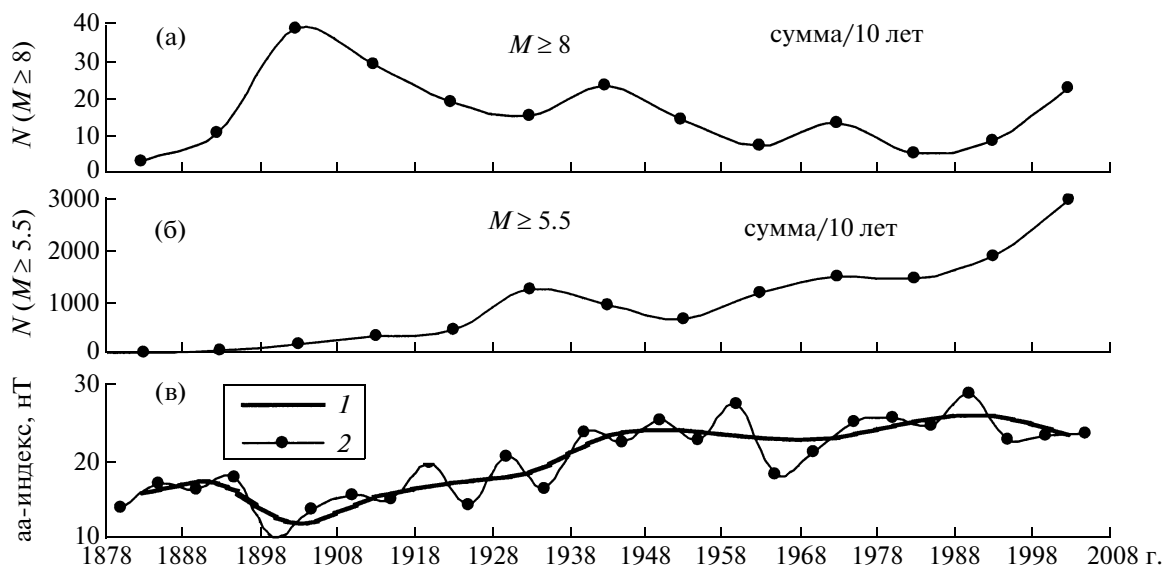


Рис. 2. Временные вариации количества землетрясений в десятилетних интервалах (N) различных магнитуд на земном шаре: а – наиболее мощных с $M \geq 8$; б – в целом с $M \geq 5.5$; в – значений aa-индекса, характеризующего геомагнитную активность, усредненные за 5 и 10 лет, за период с 1878 по 2007 г.

пил новый вековой цикл, в начале которого будут наблюдаться солнечные циклы с относительно небольшим числом пятен, характерных для начала вековых циклов, и сильная сейсмическая активность, которая сохранится на протяжении относительно длительного времени. Землетрясения 26.12.2004 г. с магнитудой $M = 9$, 28.03.2005 г. с $M = 8.6$ в районе Индонезии, землетрясения в 2006 и 2007 г. с $M > 8$, а также последние данные по сейсмичности за 2008 год подтверждают этот вывод.

Интересно, что особенности выделения вулканической энергии за 1890–1971 гг. близки к характеру проявления сейсмичности (можно сравнить ход кривых на рис. 1, а, б). Кроме того, при сравнении этих графиков обращает на себя внимание наблюдаемое в ряде случаев небольшое запаздывание в проявлении максимумов вулканизма по отношению к сейсмичности. Устанавливается положительная корреляция ($r = 0.71$) между энерговыделениями при землетрясениях и энергией вулканических извержений, что является прямым свидетельством внутреннего единства тектонического и магматического процессов. Небольшое запаздывание максимумов вулканизма по отношению к соответствующим максимумам сейсмичности, по-видимому, указывает на то, что сейсмический процесс по сравнению с вулканизмом является более “оперативным откликом” геологической среды на процессы в глубинных оболочках Земли.

Представлялось интересным также наряду с энергией вулканических извержений проанализировать на протяжении периода, охватывающего несколько солнечных циклов, объемы изверг-

нутого вулканами материала (как пепловую, так и лавовую его составляющие) на основе каталога [4] (рис. 1, в, г). Видно, что характер вариаций объема пепла и объема лавы разный. Временные вариации объема пепла положительно коррелируют с энергией извержений. Коэффициент корреляции $r = 0.8$. Временные вариации объема лавы имеют положительную корреляцию ($r = 0.72$) лишь с энергией вулканических извержений, мощность которых менее 10^{17} Дж. Причиной этих особенностей, возможно, является то, что объемы выбрасываемого пепла отражают наиболее энергетически мощную эксплозивную составляющую в деятельности вулканов, излияния же лавы происходят в условиях выделения меньших затрат энергии. В целом же масштаб проявления эффузивной деятельности нарастает. Количество действующих вулканов (см. рис.1 е) имеет тенденцию к увеличению.

При анализе сейсмичности интересно отдельно рассмотреть временные вариации количества землетрясений в целом (N) и высокомагнитудных (рис. 2, а, б). Из рис. 2, а следует, что число мощных землетрясений с магнитудой $M \geq 8$ в конце XIX в. увеличивается и в начале XX столетия принимает максимальное за все столетие значение. Затем их количество понижается и в конце XX столетия становится минимальным, т.е. примерно через 100 лет от начала возрастания. Примечательно (рис. 2, б), что общее количество землетрясений (всех, магнитуда которых $M \geq 5.5$) непрерывно увеличивается на протяжении всего XX столетия, так же как и растет общее число вулканических извержений (рис.1, е). Отметим так-

же, что вид кривой вариаций числа землетрясений с магнитудой $M \geq 8$ (рис. 2, а) близок к кривой энерговыделений при землетрясениях (рис. 1, а). Это понятно, так как сейсмическая энергия определяется в основном крупными землетрясениями.

Далее проанализируем возможную связь сейсмичности и вулканизма Земли с геомагнитной активностью. Для анализа последней использован аа-индекс — среднесуточная эквивалентная амплитуда, определяемая по двум антиподальным обсерваториям (Гринвич и Мельбурн) с 1867 г. [14]. На рис. 1, а представлены сглаженные среднегодовые значения чисел Вольфа, а на рис. 2, в сглаженные среднегодовые значения аа-индекса за период с 1878 по 2007 г. Видно, что на протяжении рассматриваемого периода происходит увеличение значений как аа-индекса, так и чисел Вольфа. Между этими параметрами устанавливается положительная корреляция ($r = 0.8$). Временные вариации числа действующих вулканов в год (рис. 1, е) также имеют положительную корреляцию с аа-индексом ($r = 0.9$). Близкий характер кривых аа-индекса и объема лавовых излияний также свидетельствует о наличии положительной связи между этими параметрами. Все эти данные в целом указывают на тесную связь между сейсмичностью, вулканизмом и геомагнитной активностью.

Таким образом, устанавливается следующее:

В целом на протяжении исследуемого периода выявлена существенная значимая отрицательная корреляция сейсмической и вулканической активности с солнечной активностью и геомагнитными возмущениями.

Особенности вариаций сейсмичности и вулканизма позволяют предполагать существование общего векового цикла эндогенной активности Земли, проявляющейся в сейсмической, вулканической, солнечной и геомагнитной активности.

Установлена положительная корреляция энерговыделений при вулканических извержениях с объемом выбрасываемого пепла. Характер вариаций объема излившейся лавы положительно коррелирует со слабыми землетрясениями и с вулканическими извержениями небольшой мощности.

Общее же число землетрясений ($M \geq 5.5$) и число действующих вулканов положительно коррелируют друг с другом и имеют тенденцию к увеличению.

Можно предположить, что солнечная активность, определяя характер геомагнитных вариаций, оказывает триггерное воздействие и является спусковым механизмом, вызывающим “сейсмический шум”, т.е. возникновение относительно слабых землетрясений с магнитудами $M \geq 5.5$ и активизацию вулканов, энергия которых не превышает 10^{17} Дж. Для крупных землетрясений и высокоэнергетичных вулканических извержений такая связь не прослеживается.

Похожий характер вариаций сейсмической и вулканической активности, а также наличие корреляционных зависимостей между ними указывают на внутреннее единство эндогенной активности Земли в целом, являющейся, видимо, следствием общего геофизического процесса в системе Солнце — Земля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шестопалов И.П., Харин Е. П. // Геофиз. журн. 2006. Т. 28. № 4. С. 59–70.
2. Сытинский А. Д. // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1989. № 2. С. 13–30.
3. Georgieva K., Kirov B., Atanasov D. // J. Atmos. Electricity. 2002. V. 22. № 3. P. 291–300.
4. <http://www.volcano.si.edu/world/>
5. Белов С.В. // ДАН. 1986. Т. 291. № 2. С. 421–425.
6. Лаверов Н.П., Добрецов Н.Л., Богатиков О.А. и др. Новейший и современный вулканизм на территории России. М.: Наука, 2005. 604 с.
7. Соболев Г. А., Шестопалов И.П., Харин Е. П. // Физика Земли. 1998. № 7. С. 85–95.
8. Гуценко И.И. Извержения вулканов мира (каталог). М.: Наука, 1979. 476 с.
9. <http://www.earthquake.usgs.gov/regional/neic/>
10. <http://www.isc.ac.uk>.
11. Rothe J. P. The seismicity of the Earth 1953–1965. P.: UNESCO, 1969. 336 p.
12. Голубева Н.В. Каталог сильных землетрясений Земного шара с 1953 по 1967 годы с М. 6. Ин-т Физики Земли АН СССР. М., 1972. 340 с.
13. <http://www.wdcb.ru/stp/data/solar.act/sunspot/>
14. <http://www.wdcb.ru/stp/data/geomagni.ind/aa/aa/>