

УДК 551.2

СВЯЗЬ ГЛОБАЛЬНОЙ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И ВАРИАЦИЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ

Член-корреспондент РАН Б. В. Левин^{1,2,*}, Е. В. Сасорова²,
В. Б. Гурьянов¹, академик РАН В. В. Ярмолюк³

Поступило 28.05.2018 г.

Из анализа наблюдений за скоростью вращения Земли и ее вулканической активностью с 1720 по 2015 г. следует, что возрастание вулканической активности совпадает во времени с этапами уменьшения угловой скорости вращения (торможения) Земли. Уменьшение вулканической активности совпадает с увеличением угловой скорости вращения (разгоном). Используются материалы Каталога Смитсоновского института США, всего 160 сильных событий с $VEI \geq 4$ (в том числе 25 событий с $VEI \geq 5$). В настоящее время (с 2006 г.) Земля вступила в новую стадию торможения, и уже обнаруживается тенденция к усилению активности ряда катастрофических природных процессов.

Ключевые слова: вулканизм, активность, индекс вулканической эксплозивности (VEI), угловая скорость вращения Земли, стадия торможения, стадия ускорения.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524846729-733>

По наблюдениям последних лет ряд катастрофических природных явлений характеризуется ярко выраженным неравномерным распределением в пространстве и времени. Связь сейсмической активности (СА) и изменений относительной угловой скорости вращения Земли (ОСВЗ) ранее показана в работах [1–5]. Цель настоящей работы — сопоставление вулканической активности (ВА) и угловой скорости вращения Земли. Для проведения такого анализа необходимо иметь длинные ряды наблюдений за ВА и ОСВЗ.

Для анализа ВА планеты был скомпилирован рабочий каталог вулканических извержений на базе сайта Смитсоновского института США [6]. Представленный каталог содержит последовательный перечень всех вулканических извержений мира, для каждого из которых определяется индекс вулканической эксплозивности (Volcano Explosive Index, VEI).

В зависимости от мощности произошедшего события индекс VEI принимает значения от 0 до 8. Более или менее достоверной можно считать информацию об извержениях с $VEI \geq 4$, оказавших заметное воздействие на среду обитания человека

и задокументированных в исторических хрониках. Сильные события характеризуются величиной $VEI = 4$ и 5, катастрофические события оцениваются значениями $VEI = 6$ и 7. Для анализа данных нами были отобраны вулканические извержения за период с 1720 г. по настоящее время со значениями $VEI \geq 4$. Всего было отобрано 160 событий (из них 135 событий с $VEI = 4$, 20 событий с $VEI = 5$, четыре события с $VEI = 6$ и одно событие с $VEI = 7$).

Для создания рабочего каталога по вариациям скорости вращения Земли были адаптированы два источника данных. Это общедоступные данные агентства [7], ежесуточные наблюдения за изменениями длительности суток с 1962 по 2016 г. и таблицы, представленные в работах [8, 9]. Каталоги имеют период перекрытия (1962–1984 гг.). Во втором источнике собраны данные за период 1657–1984 гг. с частотой наблюдения один раз в полгода. В этом источнике с 1657 по 1720 г. были частые пропуски наблюдений, поэтому мы использовали данные только с 1720 г. (почти 300 лет). Из двух источников был скомпилирован рабочий каталог за период 1720–2017 гг. с частотой наблюдений раз в полгода.

В рассматриваемых источниках представлены значения LOD (Length of Day). Далее был скомпилирован временной ряд для ОСВЗ, собранный из значений LOD, определяемых как разность величин периодов ($P_z - P_a$), где P_a — период астрономических суток (86 400 с), а P_z — зарегистрированный период земных суток (P_z и P_a измерены в миллисекундах). Относительная вариация угловой скорости определяется как относительное изменение

¹ Институт морской геологии и геофизики
Дальневосточного отделения Российской Академии наук,
Южно-Сахалинск

² Институт океанологии им. П.П. Шириова
Российской Академии наук, Москва

³ Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Российской Академии наук, Москва

*E-mail: levinbw@mail.ru

угловой скорости, выраженное через их периоды: $v = (w - W)/W \approx -(Pz - Pa)/Pa$ и оценивается величиной $v = 8 \cdot 10^{-8}$ [10].

Далее использовались временные ряды по ВА и ОСВЗ одинаковой длительности с 1720 г. по настоящее время. Первое с 1720 г. из зафиксированных извержений с $VEI \geq 4$ датируется 1721 г., последнее датируется 29.05.2015 г.

В работе [3] с помощью спектрального анализа были выделены характерные периоды для временного ряда значений v . Для низкочастотной составляющей это 63, 32 и 23 года; для среднечастотной составляющей 1 год и полгода, а для высокочастотной составляющей 13,6 и 28 сут. Для данной работы интерес представляет в основном низкочастотная составляющая.

На рис. 1 представлены данные наблюдений (временной ряд) по относительной скорости вращения Земли v с 1720 по 2017 г. и значения V_n — низкочастотной составляющей ОСВЗ, которая включает периоды более 10 лет. Анализ временного ряда V_n позволяет отметить периоды уменьшения угловой скорости вращения (торможения), например с 1729 по 1766 г., с 1831 по 1854 г., и самый значительный период торможения за всю историю наблюдений с 1878 по 1916 г. За периодами торможения следуют периоды увеличения угловой скорости (ускорение вращения планеты). Переход от стадии ускорения к стадии торможения (и наоборот), как правило, сопровождается значительными и очень резкими колебаниями угловой скорости. Суммарная дли-

тельность этих колебаний может составлять несколько лет. Эти участки временного ряда названы переходными зонами. С 2006 г. наша планета вступила в новую стадию торможения, которая продолжается и в настоящее время.

На рис. 1 отмечены линиями со стрелками 1–5 начальные стадии сильнейших извержений (с $VEI = 6$ или 7) за последние 300 лет. Следует отметить, что начало всех выделенных извержений приходится на стадию торможения угловой скорости. Извержения, помеченные номерами 1, 2, 3 и 4, начинались в переходных зонах.

Далее, в рабочем каталоге были выделены извержения вулканов с $VEI = 5$, начальные этапы извержений были положены на временную ось с дискретностью 0,5 года (рис. 2).

Извержения представлены вертикальными линиями 2, на этом же рисунке представлен временной ряд значений V_n (1). В верхней части рисунка отмечены периоды торможения 3 и ускорения 4 для низкочастотной составляющей V_n угловой скорости вращения Земли. Нетрудно заметить, что большинство извержений с $VEI = 5$ (17 из 20, или 85%) начинается в период торможения или в переходный период. Три извержения, которые приходятся на период ускорения угловой скорости, это Cerro, 1916; St Helen, 1980; Chichon, 1982.

Посчитаны коэффициенты корреляции между относительной угловой скоростью вращения Земли v и вулканической активностью. Для этого извержения за период с 1700 по 2017 г. с $VEI \geq 4$ были

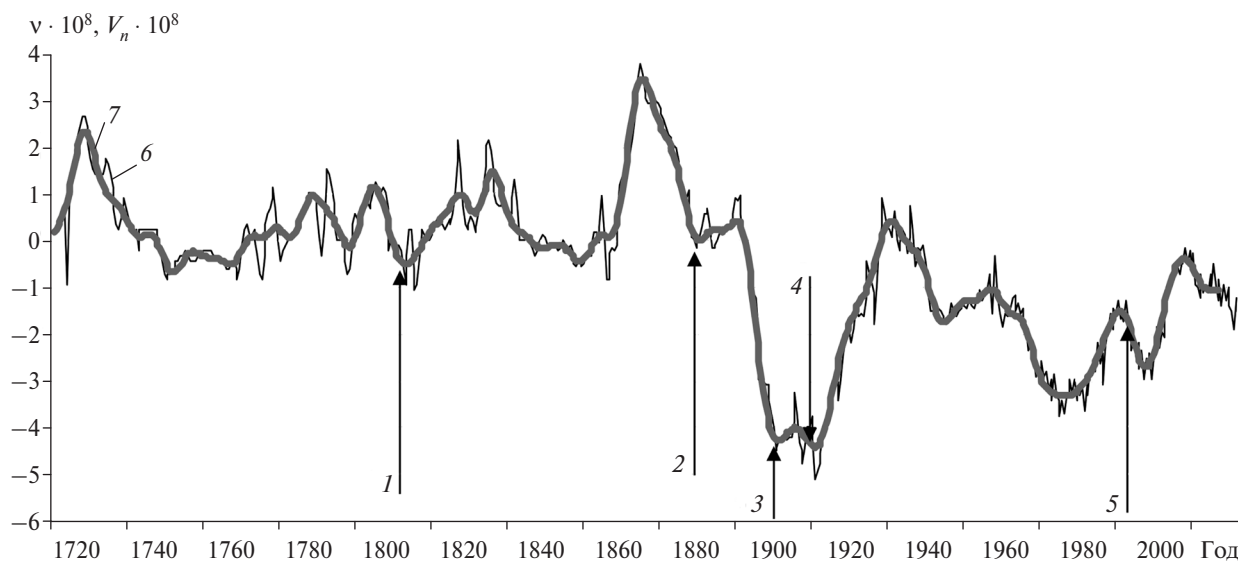


Рис. 1. Временные ряды значений v (ОСВЗ) и значений V_n — (низкочастотной составляющей ОСВЗ) за период 1720–2017 гг. Вертикальные линии 1–5 со стрелками — начальные стадии сильнейших извержений за последние 300 лет (1 — вулкан Tambora (1812 г.), 2 — Krakatau (1883 г.), 3 — Santa Maria (1902 г.), 4 — Novarupta (1912 г.), 5 — Pinatubo (1991 г.)), 6 — значения v , 7 — значения V_n .

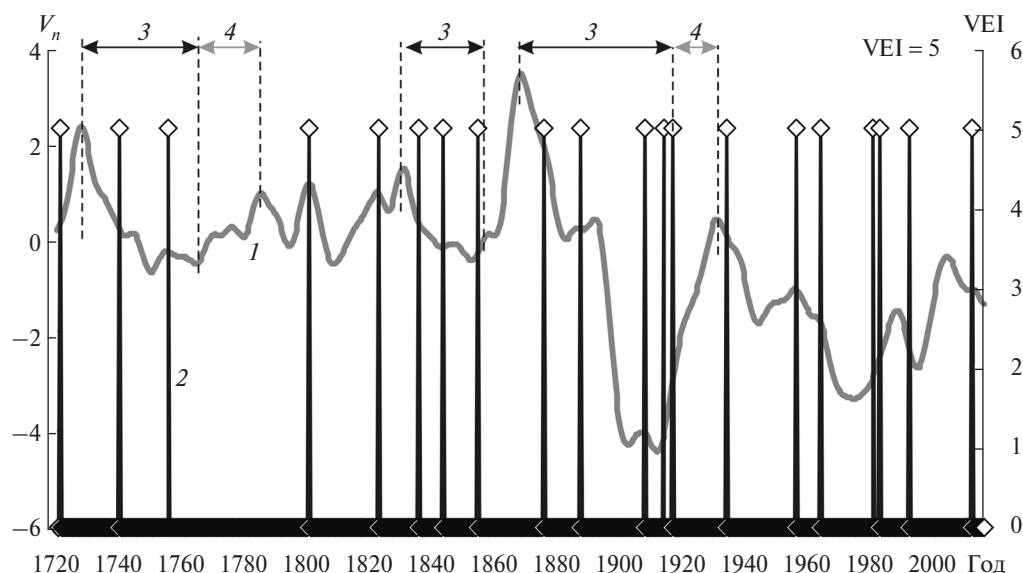


Рис. 2. Временной ряд значений V_n и извержения вулканов с $VEI = 5$, расположенные на временной оси за период 1720–2017 гг. 1 — значения V_n , 2 — начало извержений. Горизонтальные линии со стрелками 3, 4 определяют границы стадий торможения (3) и ускорения вращения Земли (4).

положены на временную ось. Полученный временной ряд был обработан методом скользящего среднего с размером окна 15 и 30 лет. Для вычисленного таким образом ряда усреднённой вулканической активности (УВА) и ряда со значениями v были посчитаны коэффициенты корреляции K_t (t — размер усредняющего окна).

На рис. 3 представлены оба ряда для значения $t = 15$ и 30 лет. Наличие отрицательной корреляции между двумя временными рядами можно отметить сразу после визуального сравнения временных рядов. Вычисленные значения K_{15} и K_{30} оказались равными $-0,549$ и $-0,588$ соответственно. Далее ряды $УВА_{15}$ и $УВА_{30}$ сдвигались относительно ряда со значениями v , и при каждом сдвиге значения K_t пересчитывались. Всего выполнено по 25 сдвигов для каждого окна. После нескольких сдвигов абсолютная величина K_t начинает резко уменьшаться для обоих окон. Максимум $|K_{15}|$ достигается при сдвиге на 3,5 года, а для $|K_{30}|$ — при сдвиге на два года.

На рис. 4 дана гистограмма распределения вулканических извержений по пятилетним интервалам за период с 1720 по 2017 г. Визуальный анализ гистограммы на рис. 4 позволяет отметить существенное увеличение количества вулканических извержений за период с 2006 по 2015 г. Вариации значений v и V_n (рис. 1) показывают, что с 2006 г. Земля вступила в стадию уменьшения угловой скорости вращения, соответственно должна увеличиваться её ВА.

В табл. 1 представлены данные по количеству извержений и суммарному значению VEI за два пе-

риода наблюдений: с 2000 по 2005 г. (предыдущая стадия ускорения угловой скорости) и с 2006 по 2017 г. (текущая стадия торможения). Вулканическая активность за период 2006–2017 гг. возрастает почти в 3 раза (2,8 раза). Следует отметить, что в настоящее время стадия торможения не окончена, она ещё продолжается.

Результатом настоящей работы является нахождение взаимосвязи между вариациями угловой скорости и степенью вулканической активности. Замедление скорости вращения планеты (этап торможения) приводит к росту вулканической активности, и наоборот, увеличение скорости вращения Земли вызывает уменьшение ВА. Показана отрицательная корреляция между ВА и ОСВЗ. Эта связь была частично описана в [11].

Ранее подобная взаимосвязь между вариациями угловой скорости и степенью глобальной сейсмической активности была показана в работах [12, 13]. В настоящее время Земля вступила в стадию торможения и ряд катастрофических геофизических процессов имеет тенденцию к усилению.

Таблица 1. Сравнительные данные по количеству извержений и суммарному значению VEI за два периода наблюдений

| Период наблюдений | 2000–2005 гг. | 2006–2017 гг. |
|---|---------------|---------------|
| Количество извержений за период (n) | 5 (n_1) | 14 (n_2) |
| Суммарное значение VEI | 20 | 57 |
| n_2/n_1 | 2,8 | 2,8 |
| Сум. VEI-2/VEI-1 | 2,85 | 2,85 |

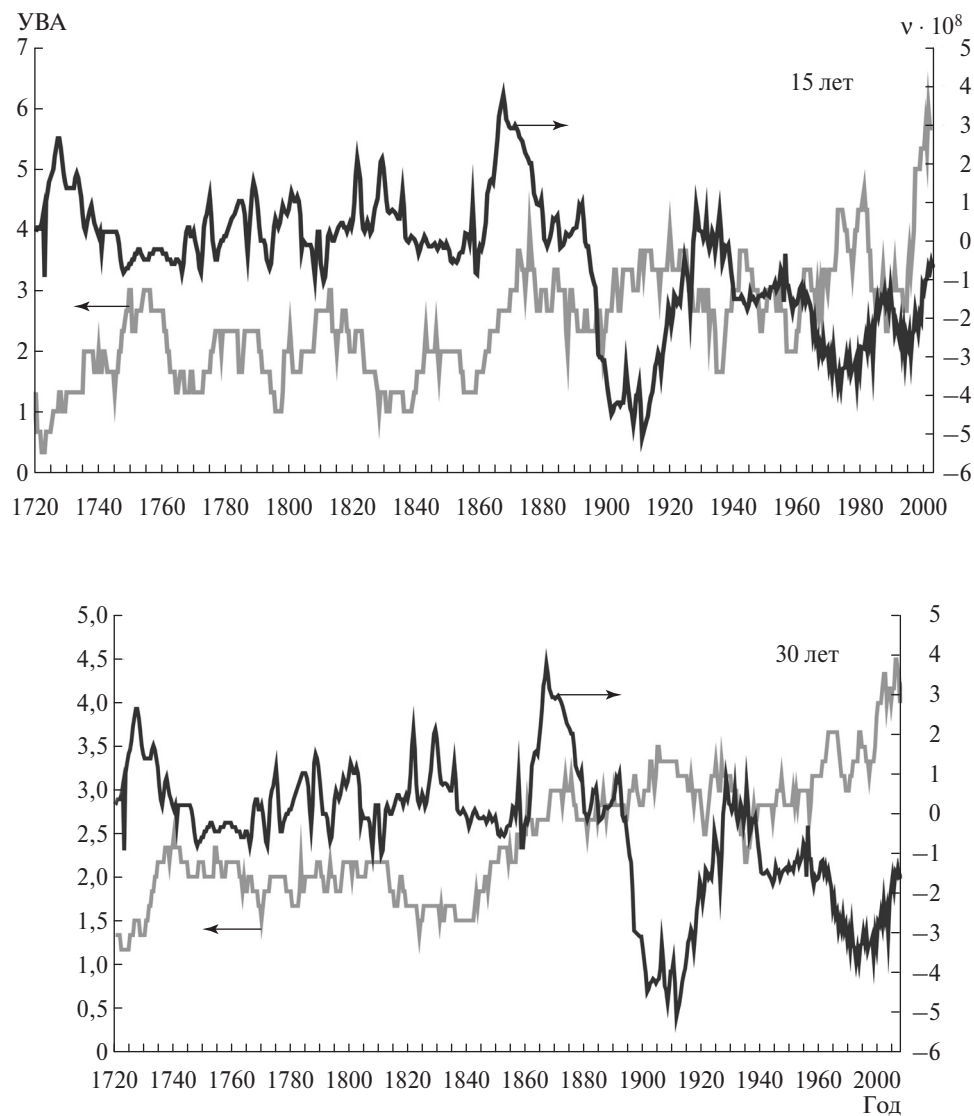


Рис. 3. Сопоставление вариаций относительной угловой скорости вращения Земли v и усредненного ряда вулканической активности УВА для скользящего окна в 15 и 30 лет. Дискретность временной шкалы 0,5 года.

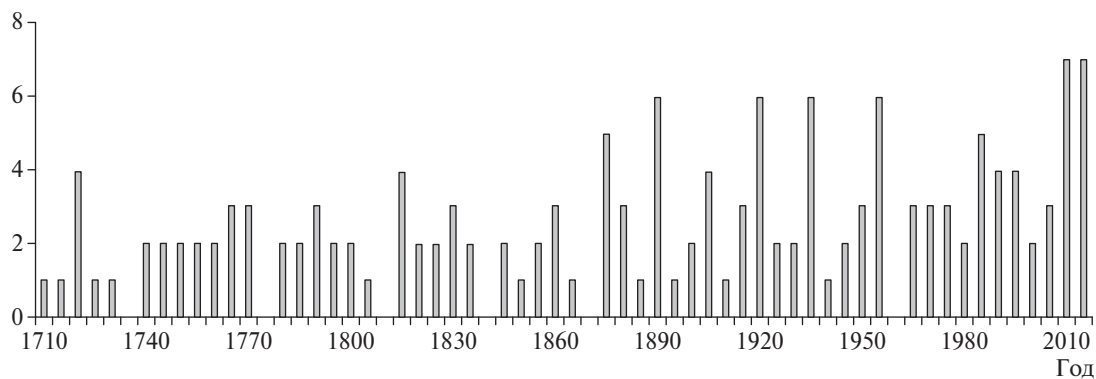


Рис. 4. Распределение вулканических извержений по пятилетним интервалам за период с 1720 по 2017 г. По оси ординат — количество извержений с $VEI \geq 4$ за пятилетний интервал.

Источник финансирования. Работа выполнена в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Институте морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, и Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва. Работа выполнялась в рамках госзадания № 0149–2018–0015 (ИО РАН) и № 0285–2018–0014 (ИМГиГ ДВО РАН), Россия, и частично поддержана грантом РФФИ № 16–05–00089.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sasorova E.V., Levin B.W.* // J. Geogr. and Geol. 2018. V. 10. № 2. DOI: 10.5539/igg.v10n2p43.
2. *Сасорова Е.В., Левин Б.В.* // Вестн. КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2017. № 4 (20). С. 91–100. DOI: 10.18454/2079-6641-2017-20-4-91-100.
3. *Левин Б.В., Сасорова Е.В.* // ДАН. 2015. Т. 464. № 3. С. 351–355. DOI: 10.7868/S0869565215270183.
4. *Varga P., Gambis D., Bus Z., Bizouard Ch.* Journees 2004 — systèmes de référence spatio temporels. Fundamental Astronomy: New Concepts and Models for High Accuracy Observations. Paris, September 20–22, 2004. P.: Observ. Paris, 2005. P. 115–120.
5. *Zheng Dawei, Zhou Yonghong* // Acta Seismol. Sin. 1995. V. 8. № 1. P. 31–37.
6. Каталог Смитсоновского института США. http://Volcano.si.edu/gvp_about.cfm
7. International Earth Rotation and Reference System Service. <http://iers.org>
8. *McCarthy D.D., Babcock A.K.* // Phys. Earth and Planet. Interiors. 1986. V. 44. P. 281–292.
9. *Morrison L.V.* // Nature. 1973. V. 241. P. 519–520.
10. *Сидоренков Н.С.* Физика нестабильностей вращения Земли. М.: Наука/Физматлит, 2002. 384 с.
11. *Levin B.W., Sasorova E.V., Gurianov V.B., Rybin A.V., Yarmoljuk V.V.* EGU General Assembly // Geophys. Res. Abstrts. 2018. V. 20. EGU2018-3814.
12. *Bendick R., Bilham R.* // Geophys. Res. Lett. 2017. V. 44. DOI: 10.1002/2017GL074934.
13. *Levin B.W., Sasorova E.V., Steblov G.M., Doman-ski A.V., Prytkov A.S., Tsyba E.N.* // Geodesy and Geodyn. 2017. V. 8. P. 206–212. <http://dx.doi.org/10.1016/j.j.geog.2017.03.007>

THE RELATIONSHIP BETWEEN GLOBAL VOLCANIC ACTIVITY AND VARIATIONS IN THE VELOCITY OF EARTH'S ROTATION

Corresponding Member of the RAS **B. W. Levin, E. V. Sasorova,**
V. B. Gurianov, Academician of the RAS V. V. Yarmolyuk

Received May 28, 2018

Analysis of observations of the Earth's rotational velocity and volcanic activity of the planet from 1720 until 2015 suggests that higher volcanic activity temporally coincided with periods of decreased angular velocity of Earth's rotation (deceleration), and, vice versa, lower volcanic activity coincided with the periods of increased velocity of the Earth's rotation (acceleration). Our analysis employed the data from the catalog by the Smithsonian Institute, United States, in which each volcanic explosion had its own determined value of the Volcanic Explosivity Index (VEI). The total number of selected intensive eruptions with $VEI \geq 4$ was 160, including 25 eruptions with $VEI \geq 5$. At present (beginning from 2006), the Earth was entry in a deceleration phase and series of catastrophic eruptions reveals the tendency toward intensifying volcanic activity.

Keywords: volcanic activity, Volcanic Explosivity Index, angular velocity of the Earth, braking stage, acceleration stage.