

УДК 550.385+550.348

## О СВЯЗИ МЕЖДУ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ И ГЕОМАГНИТНЫМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ

© 2020 г. А.В. Гульельми

*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия*

В журнале “Геофизические исследования” недавно опубликована статья, в которой авторы, по их выражению “попытались проверить идею о магнитной буре и наведенных ею теллурических полях и токах как триггере землетрясений” [Козырева, Пилипенко, 2020, с. 33]. Поскольку, с одной стороны, авторам не удалось подтвердить идею на эксперименте, а, с другой, – она широко обсуждается в геофизической литературе, авторы рассматривают свою публикацию, помимо прочего, как “приглашение космофизиков и сейсмологов к совместному обсуждению” проблемы. Предлагаемая статья является кратким ответом на данное приглашение. Подчеркнуто, что, вопреки утверждению авторов обсуждаемой работы, сильное землетрясение как репер для синхронизации магнитометрических наблюдений использовалось многими исследователями. Названы работы, в которых связь сейсмичности с магнитными возмущениями и другими экзогенными факторами обнаружена на статистически значимом уровне. Высказано предположение о причине, по которой авторы обсуждаемой статьи не обнаружили признаков такой связи.

**Ключевые слова:** геомагнетизм, сейсмология, солнечно-земные связи, землетрясение, магнитная буря, вероятность и статистика.

### Введение

Поиск связи между сейсмическими и геомагнитными явлениями ведется уже более ста лет, но между специалистами всё ещё нет согласия относительно характера такой связи и даже самого её существования (см. обзоры [Guglielmi, 1999; Гульельми, 2006, 2007, 2019]). Недавно на страницах журнала “Геофизические исследования” опубликована интересная статья О.В. Козыревой и В.А. Пилипенко [2020], в которой сказано, что изменения сейсмичности под воздействием магнитных бурь и суббурь не обнаружены. Свою работу авторы рассматривают “как адресованное космофизикам и сейсмологам приглашение к совместному обсуждению” проблемы [Козырева, Пилипенко, 2020, с. 43], что и стало поводом для написания данной дискуссионной заметки.

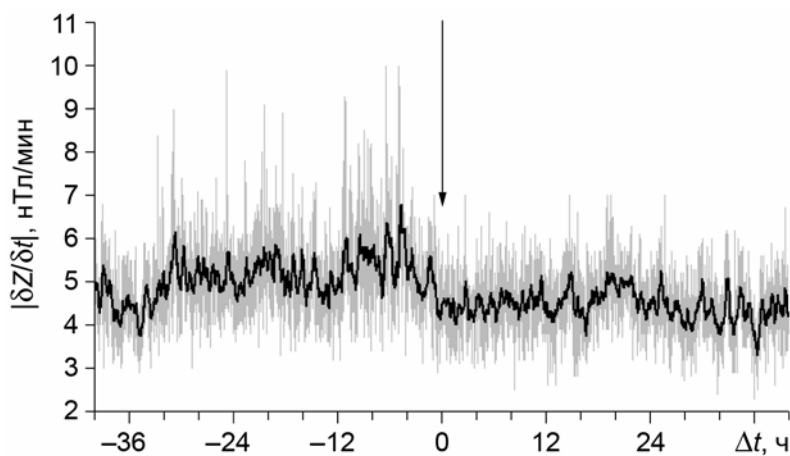
Авторы названной статьи провели тщательное исследование возможной связи землетрясений на Аляске с магнитными бурями и суббурями. Выбор Аляски мотивирован тем, что этот регион характеризуется высокой сейсмической и геомагнитной активностью. Использовались данные о землетрясениях и о возмущениях геомагнитного поля за 2014–2016 гг. Статистический анализ выполнялся методом наложения эпох, причем в качестве репера был выбран момент землетрясения. Данные наблюдений накапливались на интервале от –10 до +10 дней относительно репера. Вывод авторов об отсутствии признаков связи землетрясений с магнитной возмущенностью базируется на соображении, что вариации того или иного параметра геомагнитного поля не превышают стандартного отклонения.

В настоящей статье мы кратко рассмотрим вопрос о выборе репера для синхронизации магнитометрических наблюдений. Затем укажем на работы, в которых связь

сейсмичности с магнитными возмущениями и другими факторами обнаружена на статистически значимом уровне. Сколько-нибудь полный перечень работ такого рода был бы, по нашему мнению, неуместен в рамках данной дискуссии. В основном, будут упомянуты работы, которые автор знает досконально, поскольку принимал в них участие. И, наконец, будет обозначена возможная причина, по которой авторы обсуждаемой статьи не обнаружили связи землетрясений с геомагнитными возмущениями.

### О выборе репера

В статье [Козырева, Пилипенко, 2020, с. 38] сказано, что авторами "... в отличие от предшествующих работ, в качестве нулевой (реперной) точки использовался не момент  $SC$ , а момент землетрясения". Это не совсем так. Действительно, в ряде работ репером служило внезапное начало магнитной бури  $SC$  (см., например, [Соболев, Закржевская, Харин, 2001; Закржевская, Соболев, 2004; Гульельми, Лавров, Собисевич, 2015], а также обзор в [Бучаченко, 2019]). Однако в поле зрения авторов обсуждаемой статьи не попали работы, в которых репером был именно момент землетрясения. Остановимся на работе [Гульельми, Зотов, 2012], которая интересна тем, что в ней удалось обнаружить связь сильных землетрясений с магнитными вариациями. В этой работе были использованы данные обсерватории Гуам ( $13.6^\circ$  с.ш.,  $144.9^\circ$  з.д.) и каталога *NEIC* Геологической службы США за 1991–2009 гг.<sup>1</sup> В качестве примера ниже приведен рисунок из этой работы, демонстрирующий динамику вариаций геомагнитного поля.



Динамика вариаций геомагнитного поля до и после сильных землетрясений [Гульельми, Зотов, 2012]. Серая кривая – исходный график, черная – результат его сглаживания по 20 точкам. Стрелкой указан момент землетрясения, служащий реперной точкой (0 на горизонтальной оси), от которой отсчитываются интервалы времени  $\Delta t$ , ч до и после толчка. На вертикальной оси – модуль разности между смежными ежеминутными значениями  $Z$ -компоненты геомагнитного поля  $|\delta Z/\delta t|$ , нТл/мин

Dynamics of the geomagnetic field variations before and after strong earthquakes [Guglielmi, Zotov, 2012]. The black curve is obtained by smoothing the original graph (gray curve) over 20 points. On the horizontal axis: 0 is a reference point (the moment of the earthquake is indicated by the arrow), relative to which the time intervals before and after the shock  $\Delta t$ , h are measured; on the vertical axis: the absolute value of the difference between adjacent every minute values of the component  $Z$  of the geomagnetic field  $|\delta Z/\delta t|$ , nT/min

<sup>1</sup> [http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic\\_global.html](http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic_global.html)

При анализе применялся метод синхронного накопления; в качестве репера был принят момент землетрясения, отмеченный на рисунке стрелкой. Были отображены события с магнитудами  $M \geq 7$  в полосе от  $100^\circ$  до  $170^\circ$  з.д.; интервалы накопления составляли от  $-40$  до  $+40$  ч относительно репера. Черная кривая на рисунке получена сглаживанием исходного графика по 20 точкам. Представленное на рисунке свидетельствует о повышенном уровне магнитных флуктуаций в 30-часовом интервале, предшествующем землетрясению. Обращает на себя внимание довольно резкое изменение размаха вариаций, особенно заметное при сопоставлении отрезков кривых за 12 часов до землетрясения и в течение 12 часов после него.

Приведенный результат удалось получить благодаря следованию тонким, но жестким методологическим правилам при выполнении синхронного детектирования, которые были выработаны О.Д. Зотовым при поиске явлений синхронизма в динамической системе “литосфера–техносфера–магнитосфера” на фоне сильных помех [Зотов, Гульельми, 2010].

### О триггерах землетрясений

Принято различать эндогенные и экзогенные триггеры [Гульельми, 2007]. К первым относятся, например, сфероидальные колебания Земли, модулирующие глобальную активность землетрясений [Гульельми, Зотов, Завьялов, 2014]. Экзогенные триггеры возникают в техносфере, атмосфере и в магнитосфере. Удивительны по своим проявлениям триггеры техногенного происхождения (см., например, [Зотов, Гульельми, 2010; Тарасов, 2010; Страхов, Савин, 2013; Бучаченко, 2019]), но мы не будем останавливаться на них, поскольку обсуждаемая нами статья О.В. Козыревой и В.А. Пилипенко посвящена конкретной проблеме, а именно, поиску электромагнитных триггеров космического (магнитосферного) происхождения.

Литература по проблеме воздействия на сейсмичность электромагнитных полей космического происхождения исключительно богата и разнообразна. Назовем лишь некоторые опубликованные в последние два десятилетия работы, в которых приводятся факты, свидетельствующие о существовании явных признаков воздействия магнитных полей космического происхождения на сейсмичность: [Hayakawa, 1999; Соболев, Закржевская, Харин, 2001; Закржевская, Соболев, 2004; Hattori, 2004; Собисевич, Канониди, Собисевич, 2010; Адушкин и др., 2012; Гульельми, Зотов, 2012; Гульельми, Лавров, Собисевич, 2015; Бучаченко, 2019; Гульельми, 2019; Гульельми, Клайн, 2020; Соболев и др., 2020].

### Заключение

Почему же, в отличие от многих других работ, работа [Козырева, Пилипенко, 2020] завершается выводом о вероятном отсутствии связи между землетрясениями и магнитными возмущениями?

На первый взгляд можно подумать, что интервал в три года, выбранный авторами, просто слишком мал, но это только на первый. Если даже увеличить объем выборки путем увеличения длины интервала, вывод авторов не изменится при той методологической установке, которую они взяли за основу для суждения о результатах обработки наблюдений.

Вывод авторов базируется на сопоставлении вариации медианы интересующего их параметра со стандартным отклонением того же параметра. Результат такого сопоставления, вообще говоря, не зависит от объема достаточно большой выборки. Но это

ошибочная установка. Надо было сопоставлять вариацию с точностью оценки выборочной медианы, а отнюдь не со стандартным отклонением параметра.

Разумеется, для проверки гипотезы о влиянии магнитных бурь на сейсмичность могут быть использованы и другие критерии, хорошо известные в теории вероятностей [Четыркин, Калихман, 1982].

### Благодарности

Выражаю искреннюю признательность Н.А. Куражковской, обратившей мое внимание на статью [Козырева, Пилипенко, 2020], и благодарю О.Д. Зотова за обсуждение.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научных проектов 18-05-00096 и 19-05-00574.

Работа поддержана Программой № 12 Президиума РАН, Проектом КП19-270 Министерства образования и науки Российской Федерации, а также программами государственных заданий Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН.

### Литература

- Адушкин В.В., Рябова С.А., Спивак А.А., Харламов В.А. Отклик сейсмического фона на геомагнитные вариации // Докл. Академии наук. 2012. Т. 444, № 3. С.304–308.
- Бучаченко А.Л. Микроволновое стимулирование дислокаций и магнитный контроль очага землетрясения // Успехи физических наук. 2019. Т. 189, № 1. С.47–54.
- Гульельми А.В. Проблемы физики геоэлектромагнитных волн (обзор) // Физика Земли. 2006. № 3. С.3–16.
- Гульельми А.В. Ультранизкочастотные электромагнитные волны в коре и в магнитосфере Земли // Успехи физических наук. 2007. Т. 177, № 12. С.1257–1276.
- Гульельми А.В. История становления сейсмоэлектродинамики // Наука и технологические разработки. 2019. Т. 98, № 1. С.5–20.
- Гульельми А.В., Зотов О.Д. О магнитных возмущениях перед сильными землетрясениями // Физика Земли. 2012. № 2. С.84–87.
- Гульельми А.В., Зотов О.Д., Завьялов А.Д. Динамика афтершоков Суматра-Андаманского землетрясения // Физика Земли. 2014. № 1. С.66–74.
- Гульельми А.В., Клайн Б.И. О воздействии Солнца на сейсмичность Земли // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 1. С.111–115.
- Гульельми А.В., Лавров И.П., Собисевич А.Л. Внезапные начала магнитных бурь и землетрясения // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 1. С.98–103.
- Закржевская Н.А., Соболев Г.А. Влияние магнитных бурь с внезапным началом на сейсмичность в различных регионах // Вулканология и сейсмология. 2004. № 3. С.63–75.
- Зотов О.Д., Гульельми А.В. Проблемы синхронизма электромагнитных и сейсмических событий в динамической системе Магнитосфера–Техносфера–Литосфера // Солнечно-земная физика. 2010. № 16. С.19–25.
- Козырева О.В., Пилипенко В.А. О взаимосвязи геомагнитной возмущенности сейсмической активности для региона Аляски // Геофизические исследования. 2020. Т. 21, № 1. С.33–49. <https://doi.org/10.21455/gr2020.1-333>
- Собисевич Л.Е., Канониди К.Х., Собисевич А.Л. Наблюдения УНЧ геомагнитных возмущений, отражающих процессы подготовки и развития цунамигенных землетрясений // Докл. Академии наук. 2010. Т. 435, № 4. С.548–553.
- Соболев Г.А., Закржевская Н.А., Харин Е.П. О связи сейсмичности с магнитными бурями // Физика Земли. 2001. № 11. С.62–72.
- Соболев Г.А., Закржевская Н.А., Мигунов И.Н., Соболев Д.Г., Бойко А.Н. Влияние магнитных бурь на низкочастотный сейсмический шум // Физика Земли. 2020. № 3. С.3–28.

- Страхов В.Н., Савин М.Г. Об управлении сейсмической активностью // Геофизический журнал. 2013. Т. 35, № 6. С.3–10.
- Тарасов Н.Т. Влияние сильных электромагнитных полей на скорость сеймотектонических деформаций // Докл. Академии наук. 2010. Т. 433, № 5. С.689–692.
- Четыркин Е.М., Калихман И.Л. Вероятность и статистика. М.: Финансы и статистика, 1982. 319 с.
- Guglielmi A.V. Some problems in seismoelectrodynamics: A review // Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes. Tokyo: TERRAPUB, 1999. P.931–938.
- Hattori K. ULF geomagnetic changes associated with large earthquakes // Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences. 2004. V. 15, N 3. P.329–360.
- Hayakawa M., ed. Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes. Tokyo: TERRAPUB, 1999. 996 p.

### Сведения об авторе

**ГУЛЬЕЛЬМИ Анатолий Владимирович** – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7(495) 582-99-71. E-mail: [guglielmi@mail.ru](mailto:guglielmi@mail.ru)

## ON THE RELATIONSHIP BETWEEN EARTHQUAKES AND GEOMAGNETIC DISTURBANCES

A.V. Guglielmi

*Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

**Abstract.** The authors recently published the article in the journal “Geophysical Research” in which, in their expression they “tried to test the idea of magnetic storm and the telluric fields and currents induced by it as an earthquake trigger” [Kozyreva, Pilipenko, 2020, p. 33]. Since, on the one hand, the authors were unable to experimentally confirm the idea, and, on the other, it is widely discussed in geophysical literature, the authors consider their publication, among other things, as “an invitation of cosmophysicists and seismologists to a joint discussion” of the problem. The present article is a brief response to this invitation. It is emphasized that, contrary to the assertion of the authors of the discussed article, a strong earthquake as a benchmark for synchronizing magnetometric observations was used by many researchers. The works in which the relation of seismicity with magnetic disturbances and other exogenous factors was found at a statistically significant level are named. An assumption is made about the reason why the authors of the discussed article did not find signs of such a relation.

**Keywords:** geomagnetism, seismology, solar-terrestrial relations, earthquake, magnetic storm, probability and statistics.

### References

- Adushkin V.V., Ryabova S.A., Spivak A.A., Kharlamov V.A., Response of the seismic background to geomagnetic variations, *Doklady Earth Sciences*, 2012, vol. 444, no. 1, pp. 642-646.
- Buchachenko A.L., Microwave stimulation of dislocations and the magnetic control of the earthquake core, *Physics-Uspokhi*, 2019, vol. 62, no. 1, pp. 46-53, DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2018.03.038301>
- Chetyrkin E.M., Kalikhman I.L., *Probability and statistics*, Moscow: Finansy I Statistika, 1982, 319 p. [in Russian].
- Guglielmi A.V., Some problems in seismoelectrodynamics: A review, *Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes*, Tokyo: TERRAPUB, 1999, pp. 931-938.
- Guglielmi A.V., Problems of the physics of geoelectromagnetic waves (a review), *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2006, vol. 42, no. 3, pp. 179-192, <https://doi.org/10.1134/S1069351306030013>

- Guglielmi A.V., Ultra-low-frequency electromagnetic waves in the Earth's crust and magnetosphere, *Physics–Uspekhi*, 2007, vol. 50, no. 12, pp. 1197-1216, <https://doi.org/10.3367/UFNr.0177.200712a.1257>
- Guglielmi A.V., Zotov O.D., Zavyalov A.D., The aftershock dynamics of the Sumatra-Andaman earthquake, *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2014, vol. 50, no. 1, pp. 64-72.
- Guglielmi A.V., History of formation of the seismoelectrodynamics, *Nauka i Tekhnologicheskie Razrabotki (Science and Technological Developments)*, 2019, vol. 98, no. 1, pp. 5-20. [in Russian], <https://doi.org/10.21455/std2019.1-1>
- Guglielmi A.V., Klain B.I., Effect of the Sun on Earth's seismicity, *Solar-Terrestrial Physics*, 2020, vol. 6, no. 1, pp. 89-92, doi: 10.12737/stp-61202010
- Guglielmi A.V., Lavrov I.P., Sobisevich A.L., Storm sudden commencements and earthquakes, *Solar-Terrestrial Physics*, 2015, vol. 1, no. 1, pp. 98-103. [in Russian].
- Guglielmi A.V., Zotov O.D., Magnetic perturbations before the strong earthquakes, *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2012, vol. 48, no. 2, pp. 171-173, doi: 10.1134/S1069351312010065
- Hattori K., ULF Geomagnetic changes associated with large earthquakes, *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 2004, vol. 15, no. 3, pp. 329-360.
- Hayakawa M., Ed. *Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes*, Tokyo: TERRAPUB, 1999, 996 p.
- Kozyreva O.V., Pilipenko V.A., On the relationship of geomagnetic disturbances and seismic activity for Alaska region, *Geophysical Research*, 2020, vol. 21, no. 1, pp. 33-49, <https://doi.org/10.21455/gr2020.1-3>
- Sobisevich L.E., Kanonidi K.Kh., Sobisevich A.L., Observations of ultra-low-frequency geomagnetic disturbances reflecting the processes of the preparation and development of tsunamigenic earthquakes, *Doklady Earth Sciences*, 2010, vol. 435, no. 2, pp. 1627-1632, doi: 10.1134/S1028334X10120160
- Sobolev G.A., Zakrzhevskaya N.A., Kharin E.P., On the relation between seismicity and magnetic storms, *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2001, vol. 37, no. 11, pp. 917-927.
- Sobolev G.A., Zakrzhevskaya N.A., Migunov I.N., Sobolev D.G., Boiko A.N., Effect of magnetic storms on low-frequency seismic noise, *Izvestiya, Physics of the Earth (Fizika Zemli)*, 2020, no. 3, pp. 3-28. [in Russian].
- Strakhov V.N., Savin M.G., On seismic activity control, *Geophys. J.*, 2013, vol. 35, no. 6, pp. 3-9.
- Tarasov N.T., Influence of strong electromagnetic fields on the seismotectonic strain rate, *Doklady Earth Sciences*, 2010, vol. 433, no. 2, pp. 1088-1091.
- Zakrzhevskaya N.A., Sobolev G.A., The effects of magnetic storms with an abrupt start on seismicity in different regions, *Journal of Volcanology and Seismology*, 2004, no. 3, pp. 63-75. [in Russian].
- Zotov O.D., Guglielmi A.V., Problems of synchronism of electromagnetic and seismic events in magnetosphere-technosphere-lithosphere dynamical system, *Solar-Terrestrial Physics*, 2010, no. 16, pp. 19-25. [in Russian].