

С. Н. Мукашева, О. И. Соколова, А. Б. Андреев, В. И. Капыгин, А. М. Малимбаев

*Институт ионосферы, г. Алматы, 050020, Казахстан
e-mail: snmukasheva@gmail.com***УЛЬТРАНИЗКОЧАСТОТНЫЕ ФЛУКТУАЦИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ
ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА ОБСЕРВАТОРИИ АЛМА-АТА [43.25°N; 76.95°E]**

Аннотация. Изменчивость состояния геомагнитного поля в сейсмоактивных регионах является предметом пристального внимания геофизиков. Работы по данному направлению ведутся с целью выявления в геомагнитных данных возмущений космического и литосферного характера. В настоящей работе приведены результаты исследования особенностей поведения магнитного поля в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня на основе данных обсерватории «Алма-Ата» [43.25°N; 76.95°E]. Установлены отличительные особенности ультранизкочастотных флуктуаций в магнитовозмущенный день ($K_p=8$) и в магнитоспокойный день ($K_p=2$). В возмущенный день амплитуда колебаний составляют 5-15 нТ с периодами от 2 до 5 мин, тогда как в магнитоспокойный день амплитуда колебаний наибольшие по Z-компоненте, они составляют 0.5 ± 0.15 нТ с периодами менее 1 мин. Изучена динамика спектрального показателя β , вычисленного методом быстрого преобразования Фурье для полуночных значений геомагнитного поля в сейсмоактивный период. Выявлено, что динамика спектрального показателя β определяется геомагнитной обстановкой, то есть внешние факторы, такие как вспышечная активность Солнца, в первую очередь, влияют на характеристики ультранизкочастотных флуктуаций геомагнитного поля. Присутствие аномалий сейсмогенного характера не отмечается, возможно, из-за средней интенсивности землетрясений.

Ключевые слова: геомагнитное поле, геомагнитная буря, ультранизкочастотная флуктуация

Введение

Земля является открытой неравновесной динамической системой [1]. Ее эволюция зависит от характера воздействия на нее внешних факторов. К таким факторам, прежде всего, относятся солнечная активность и солнечный ветер. Чтобы понять, как влияют такие факторы, изучаются различные параметры солнечно-земной физики. К одному из таких наиболее чувствительных параметров, относятся параметры магнитного поля Земли.

Изменчивость геомагнитного поля как открытой неравновесной системы, несомненно, представляют большой интерес для решения многих научных задач в области физики околоземного космического пространства и самой Земли. Так в настоящее время признается, что в сейсмоактивных регионах необходимы комплексные исследования динамических процессов в геофизических полях [2-5]. Современные теории предполагают, что земная кора в сейсмоактивных регионах ведет себя как самооргани-

зованная динамическая система, которая естественным образом эволюционирует в критическое стационарное состояние [6]. При этом процессы подготовки землетрясений могут быть связаны с изменением структур среды и с изменением их электромагнитных характеристик вблизи области эпицентра [7]. Аномальное поведение геомагнитных суточных вариаций может быть вызвано изменениями структуры проводимости и подземными течениями вдоль разломов до землетрясения [8]. Об электромагнитных эффектах, связанных с катастрофическими сейсмическими событиями, сообщается во многих работах, например [7, 9-12], в которых на основе наблюдений и спектрального анализа геомагнитных данных выявлены аномалии сейсмогенного характера до (и после) землетрясения. Успешное предсказание землетрясений требует воспроизводимых пресеismicческих сигнатур, которые обеспечивают актуальную информацию в реальном времени и характеризуют специфику относительно

интенсивности, местоположения и времени предсказанного землетрясения [13].

Целью настоящей работы является анализ ультранизкочастотных флуктуаций характеристик геомагнитного поля в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня, а именно, близ города Алматы. С одной стороны, такие исследования вносят вклад в накопление эмпирических данных об эффектах в геомагнитном поле при активизации сейсмических явлений, поскольку мегаполис Алматы (Казахстан) [43.2°N; 76.9°E], расположен в сейсмически активном внутриматинентальном горном поясе Северного Тянь-Шаня. Сейсмичность в этом регионе обусловлена продолжающимися столкновениями плит Индия и Евразия, что приводило к серии разрушительных землетрясений в (и до) 20-го века. Палеосейсмические исследования показывают, что регион имеет потенциал для возникновения катастрофических землетрясений магнитудой $M > 7.0$ [14-15]. С другой стороны, результаты исследования влияния внешних и внутренних факторов на изменчивость геомагнитного поля как открытой неравновесной системы, несомненно, представляют большой интерес для решения многих научных задач в области физики околоземного космического пространства.

Эмпирические данные

Для выяснения особенностей поведения магнитного поля в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня использовались измерения трёх компонент геомагнитного поля, полученные на обсерватории «Алма-Ата». Обсерватория «Алма-Ата» (geomag.ionos.kz), единственная в Средне-Азиатском регионе геомагнитная обсерватория, входящая в состав международной сети INTERMAGNET, международный код обсерватории – AAA; географические координаты [43.25°N; 76.95°E]; геомагнитные координаты [34.3°N, 152.7°E]. Регистрация в реальном времени секундных вариаций X-, Y-, Z-компонент геомагнитного поля проводится на базе феррозондовых магнитометров Lem1-008 и Lem1-018M. Для анализа гелиогеофизической обстановки использовались

планетарный Kp-индекс по данным Международного центра данных Киото, Япония, (<http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp>).

Информация по сейсмическим событиям получена по данным Глобального сейсмологического каталога Национального центра информации о землетрясениях (NEIC) Национальной службы США (<http://earthquake.usgs.gov>), расстояние от эпицентра до г. Алматы уточнено по данным Казахстанского Национального Центра данных (<http://www.kndc.kz>), осязательность землетрясения в г. Алматы приведена согласно данным ГУ «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция Комитета науки МОН РК» (<http://some.kz/index.php>).

Спектральный анализ ультранизкочастотных флуктуаций параметров геомагнитного поля. Для исследования ультранизкочастотных флуктуаций (УНЧ) геомагнитного поля были сформированы для каждого дня 24 набора 1-часовых временных рядов, каждый из которых включает $N = 3600$ секундных значений X-, Y-, Z-компонент геомагнитного поля, и для них традиционным методом быстрого преобразования Фурье FFT (Fast Fourier Transform, FFT) рассчитаны значения спектрального показателя β .

Примеры обработки данных ULF методом БПФ для местного полдня (12:00-13:00 LT) в магнитовозмущенный день (Kp=8) 8 сентября 2017 г. и в магнитоспокойный день (Kp=2) 4 октября 2017 г. приведены на рисунке 1. Вариации X-, Y-, Z-компонент геомагнитного поля показаны с удаленным трендом, прямая представляет собой наклон спектра β . Магнитовозмущенный день (Kp=8) выбран из периода очень большой магнитной бури, произошедшей 6-9 сентября 2017 г. По данным наблюдательной лаборатории «Солнечная динамика» NASA (<https://sdo.gsfc.nasa.gov/>) магнитная буря была вызвана серией вспышек на Солнце, в том числе вспышкой X9.3 – самой интенсивной вспышкой, зарегистрированной в течение текущего солнечного цикла.

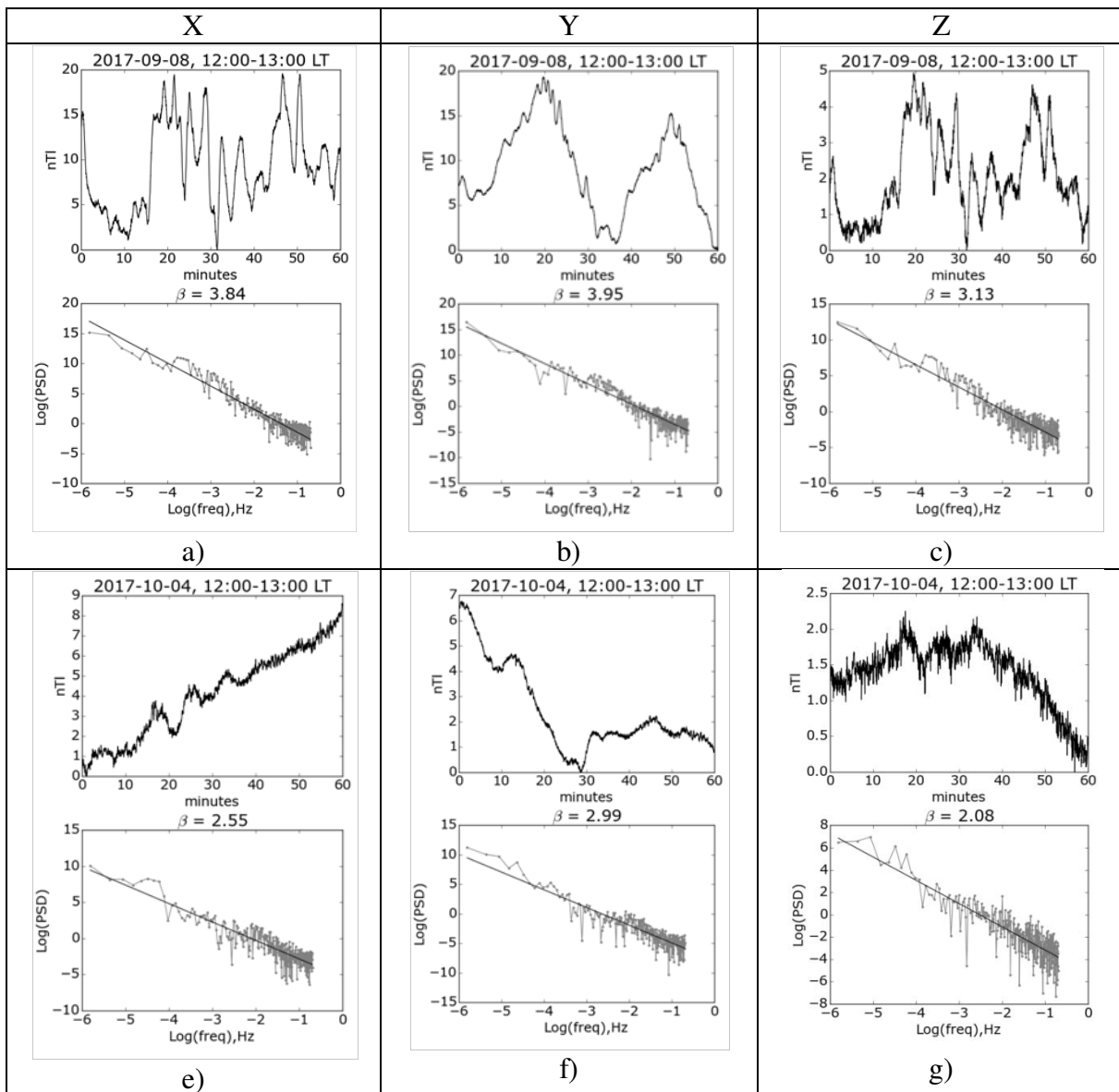
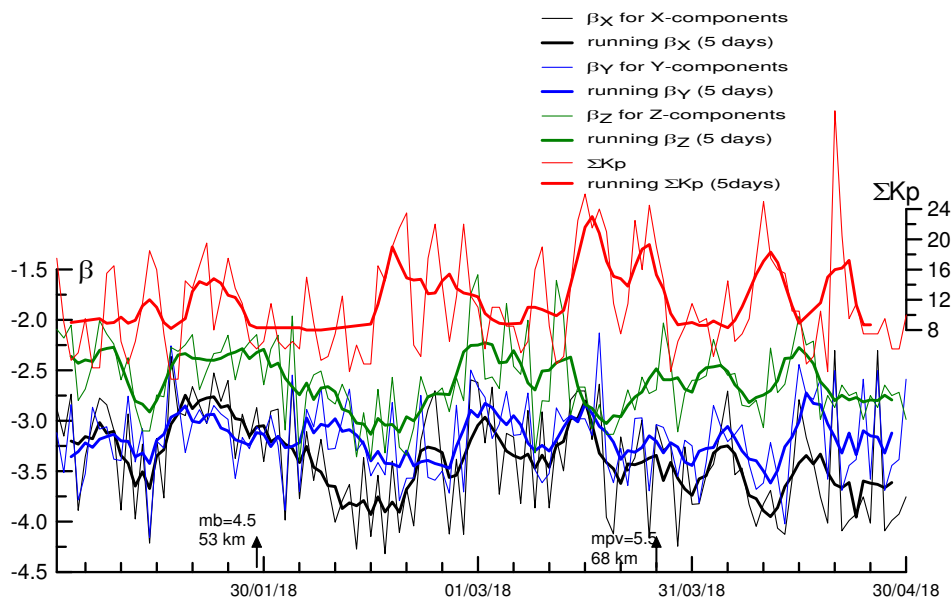


Рисунок 1 – Спектр мощности сигнала, рассчитанный по вариациям X-, Y-, Z-компонент по данным геомагнитной обсерватории «Алма-Ата» [43.25°N; 76.92°E] для временных интервалов 12-13 LT. Верхний ряд – в магнитовозмущенный день 8 сентября 2017 г. (Kp=8); нижний ряд – в магнитоспокойный день 4 октября 2017 г. (Kp=2).

Таблица 1 – Ощутимые в г. Алматы землетрясения, произошедшие на Северном Тянь-Шане в период с 1 января по 30 апреля 2018 г.

Time yyyy-mm-ddThh:mm:cc.ccc	Epicenter		Mag	Mag type	Distance from Almaty, km (sensibility)
	Coordinates	Depth km			
2018-01-29T14:36:35.560Z	[43.2015°N; 77.7514°E]	29.34	4.5	mb	55 (2)
2018-03-26T12:53:50.310Z	[43.8570°N; 77.3618°E]	23.97	4.6/5.5	mb/mpv	68 (3-4)



Тонкая линия указывает суточные значения β ; толстая линия – скользящие средние с шагом 5 дней. Стрелкой указаны моменты землетрясений с магнитудой > 4.5 , произошедшие на расстоянии не более 70 км

Рисунок 2 – Динамика спектрального показателя β , вычисленная методом БПФ для полуночного 00:00-01:00 LT сектора за период с 1 октября 2017 г. по 30 апреля 2018 г. по данным геомагнитной обсерватории «Алма-Ата» [43.25°N; 76.92°E]

В возмущенный день в рассматриваемом часовом интервале 12-13 LT амплитуда возмущений наибольшие по X-компоненте, они составляют $\sim 5-15$ нТ с периодами от 2 до 5 мин. Наклон спектра, β равен 3.84, 3.95 и 3.13, рассчитанный по X-, Y-, Z-компонентам, соответственно. В магнитоспокойный день в часовом интервале 12-13 LT амплитуда возмущений наибольшие по Z-компоненте, они составляют ~ 0.5 нТ с периодами менее 1 мин. Наклон спектра β равен 2.55, 2.99 и 2.08, рассчитанный по X-, Y-, Z-компонентам, соответственно.

УНЧ возмущения с амплитудами от десятых долей до десятков нТл и делятся на регулярные геомагнитные пульсации, Pc, и иррегулярные, импульсные, Pi. В зависимости от периодов геомагнитные пульсации классифицируются следующим образом: Pc1 (T = 0.2-5 с), Pi1 (T = 1-40 с); Pc2 (T = 5-10 с), Pi2 (T = 40-150 с); Pc3 (T = 10-45 с), Pi3 (T > 150 с); Pc4 (T = 45-150 с); Pc5 (T = 150 - 600 с); Pc6 (T > 600 с).

Вопрос о генерации регулярных пульсаций геомагнитного поля на сегодняшний день остается открытым. Волны

в переходной области между солнечным ветром и магнитосферой могут служить мощным источником магнитных пульсаций [16]. Резонансное возбуждение Pc3-Pc5 пульсаций в магнитосфере Земли многократно обсуждалось в литературе. Некоторые авторы резонансными эффектами объясняют часто наблюдаемую гармоническую структуру спектров Pc3-Pc4 после магнитных бурь с внезапным началом (S_C) [17]. В ряде работ обсуждается вопрос о возможности непосредственного переноса Pc5 пульсаций из солнечного ветра в магнитосферу, при этом спектр пульсаций может отличаться от резонансных частот магнитосферы [18-20]. Pi пульсации характерны для ночных часов и для периодов геомагнитных возмущений. УНЧ возмущения могут возникнуть в литосфере из-за магнитогидродинамического эффекта, связанного с тектоническими процессами в очаге землетрясения из-за микро-разрушения среды или образования трещин в фокальной зоне эпицентра [2, 9-12, 21].

В связи с тем, что большинство магнитных выбросов ULF имеют магнитосферное происхождение, самый простой способ проверить реальное присутствие

сейсмогенных эффектов в вариациях параметров геомагнитного поля – изучить временную эволюцию их спектральных характеристик [13]. Далее рассмотрим динамику спектрального показателя β , вычисленного методом БПФ для полуночного 00:00-01:00 LT за период с 1 января по 30 апреля 2018 г. Этот временной интервал выбран потому что он включает ближайшие ощутимые землетрясения, произошедшие 29.01.2018 г. ($m_b = 4.5$) и 26.03.2018 г. ($m_{pv} = 5.5$) на расстоянии 55 км и 68 км от г. Алматы, соответственно, (Табл. 1). Изменения спектрального показателя β для X-компоненты (черная кривая), Y-компоненты (синяя кривая), Z-компонент (зеленая кривая) в рассматриваемый период показывают зависимость от геомагнитной обстановки, вариации ΣK_p на рисунке 2 показаны красной кривой.

Спектральный показатель β , рассчитанный для всех трех компонент, изменяется в противофазе с ΣK_p . Присутствие аномалий сейсмогенного характера не отмечается, возможно, из-за средней интенсивности выбранных землетрясений.

Заключение. В данной статье проведен спектральный анализ ультранизкочастотных флуктуаций параметров геомагнитного поля. Установлены отличительные особенности ультранизкочастотных флуктуаций в магнитовозмущенный день ($K_p=8$) и в магнитоспокойный день ($K_p=2$). В возмущенный день амплитуда колебаний составляют 5-15 нТ с периодами от 2 до 5 мин, тогда как в магнитоспокойный день амплитуда колебаний наибольшие по Z-компоненте, они составляют 0.5 ± 0.15 нТ с периодами менее 1 мин.

Исследована динамика спектрального показателя β , вычисленная методом БПФ, в связи с несколькими землетрясениями в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня близ города Алматы [43.2°N; 76.9°E]. Детальное исследование динамики спектрального показателя β для полуночного 00:00-01:00 LT временного интервала за период с января по апрель 2018 г. показало зависимость геомагнитных параметров от K_p -индекса. Присутствие аномалий сейсмогенного характера не

отмечается, возможно, из-за средней интенсивности выбранных землетрясений.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке программно-целевого финансирования научно-технической программы О.0799 Аэрокосмическим комитетом Министерства цифрового развития, оборонной и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан, проект № 0118PK00799.

Список литературы

- 1 Somsikov V.M. Problems of Evolution of Open Systems // PEOS. 2007. Т. 9(2). С.5-16.
- 2 Guglielmi A.V., Zotov, O.D. Correlation between Pc1 electromagnetic activity and earthquakes // *Izv. Phys. Earth*. 2010. V. 46(6). P. 486-492.
- 3 Sobolev G.A. Seismicity dynamics and earthquake predictability // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*. 2011. V. 11. P. 445-458, doi:10.5194/nhess-11-445-2011.
- 4 Pulinet S.A., Boyarchuk K.A. Ionospheric Precursors of Earthquakes // Springer Berlin Heidelberg New York, ISBN 3-540-20839-9. 2004. 312p.
- 5 Molchanov O., Schekotov A., Fedorov E., Belyaev G. Gordeev E. Preseismic ULF electromagnetic effect from observation at Kamchatka // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*. 2003. V., 3. P. 203–209. doi.org/10.5194/nhess-3-203-2003.
- 6 Bak P., Tang C., Wiesenfeld K. Self-organized criticality // *Phys. Rev. A*. 1988. V. 38. P. 364-374. doi: 10.1103/PhysRevA.38.364.
- 7 Smirnova N., Hayakawa M., Gotoh K. Volobuev D. Scaling characteristics of ULF geomagnetic fields at the Guam seismoactive area and their dynamics in relation to the earthquake // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*. 2001. V. 1. P. 119–126, doi:10.5194/nhess-1-119-2001.
- 8 Sheshpari M. Seismo-Magnetic Precursors Seen from Space in Magnetosphere Anomaly for Prediction of Earthquakes, Electronic // *Journal of Geotechnical Engineering*. 2017. V. 22 (12). P. 4551-4557.

- 9 Dovbnya B. V. On the earthquake effects in the regime of Pc1 // *J. Atmosph. Terrestr. Physics*. 2007. V. 69, (14). P. 1765-1769.
- 10 Hayakawa M. On the fluctuation spectra of seismo-electromagnetic phenomena // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2011. V. 301 (11). P.301-308. doi:10.5194/nhess-11-301-2011.
- 11 Hattori K., Han P., Yoshino C., Febriani F., Yamaguchi H., Chen C.H. Investigation of ULF Seismo-Magnetic Phenomena in Kanto, Japan During 2000-2010: Case Studies and Statistical Studies // *Surv Geophys.* 2013. V. 34. P. 293-316, doi: 10.1007/s10712-012-9215-x.
- 12 Febriani F., Han P., Yoshino C., Hattori K., Nurdiyanto B., Effendi N., Maulana I., Gaffar E. Ultra low frequency (ULF) electromagnetic anomalies associated with large earthquakes in Java Island, Indonesia by using wavelet transform and detrended fluctuation analysis // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2014. V. 14. P. 789-798. doi:10.5194/nhess-14-789-2014.
- 13 Masci F.: On claimed ULF seismogenic fractal signatures in the geomagnetic field, *J. Geophys. Res.-Space Phys.* 2010. V. 115, A10236, doi:10.1029/2010JA015311,.
- 14 Burtmen V.S., Skobelev S.F., Molnar P. Late Cenozoic slip on the Talas-Ferghana fault, the Tien Shan, central Asia // *Geological Society of America Bulletin*. 1996. V. 108 (8). P. 1004-1021.
- 15 Timush A.V., Kurskeev A.K. The Problems of Seismic Safety in Kazakhstan, Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP). Proceeding of Workshop on Implementation of GSHAP in Central and Southern Asia, 17-21 October, 1994, Beijing China, 1994.–P.120-148.
- 16 Schott J.J., Kleimenova N.G., Kozyreva O.V. Amplitudes of Pc3 and Pc4 geomagnetic pulsations near the plasmapause projection (Kerguelen Observatory) // *Geomagn. and Aeronom.* 2004. V. 44(5). P. 567-573.
- 17 Kleimenova N.G., Kozyreva O.V. Global Pi3 geomagnetic pulsations as a response of large variations in the solar wind and IMF during the magnetic storm of August 5, 2011 // *Geomagn. and Aeronom.* 2014. V. 54(2). P. 195–202, doi: 10.1134/S001679321402011X, 2014.
- 18 Villante U., Di Giuseppe P., Francia, P. On the correspondence between interplanetary, magnetospheric and geomagnetic fluctuations at selected frequencies// *Memorie della Societa Astronomic Italiana*. 2003. V. 74. P. 753-756.
- 19 Kessel R. L., Mann I.R., Fung S.F., Milling D.K., O'Connell N. Correlation of Pc5 wave power inside and outside the magnetosphere during high speed streams // *Annales Geophysicae*. 2004. V. 22(2). P. 629-641.
- 20 Kozyreva O.V., Kleimenova N.G., Vattermann J. Pc5 geomagnetic pulsations under a high dynamic pressure of the solar wind during the initial phase of the magnetic storm (April 16, 1999) // *Geomagn. and Aeronom.* 2005. V. 44(5). P. 577-586.
- 21 Prattes G., Schwingenschuh K., Eichelberger H.U., Magnes W., Boudjada M., Stachel M., Vellante M., Villante U., Wertzergom V., Nenovski P. Ultra Low Frequency (ULF) European multi station magnetic field analysis before and during the 2009 earthquake at L'Aquila regarding regional geotechnical information// *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2011. V. 11. P. 1959–1968. doi:10.5194/nhess-11-1959-2011.

Принято в печать 16.04..2019

С. Н. Мукашева, О. И. Соколова, А. Б. Андреев, В. И. Капыгин, А. М. Малимбаев
Институт ионосферы, г. Алматы, 050020, Казахстан
e-mail: snmukasheva@gmail.com

УЛЬТРАНИЗКОЧАСТОТНЫЕ ФЛУКТУАЦИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА ОБСЕРВАТОРИИ АЛМА-АТА [43.25°N; 76.95°E]

Аннотация. Изменчивость состояния геомагнитного поля в сейсмоактивных регионах является предметом пристального внимания геофизиков. Работы по данному направлению ведутся с целью выявления в геомагнитных данных возмущений космического и литосферного характера. В настоящей работе приведены результаты исследования особенностей поведения магнитного поля в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня на основе данных обсерватории «Алма-Ата» [43.25°N; 76.95°E]. Установлены отличительные особенности ультранизкочастотных флуктуаций в магнитовозмущенный день ($K_p=8$) и в магнитоспокойный день ($K_p=2$). В возмущенный день амплитуда колебаний составляют 5-15 нТ с периодами от 2 до 5 мин, тогда как в магнитоспокойный день амплитуда колебаний наибольшие по Z-компоненте, они составляют 0.5 ± 0.15 нТ с периодами менее 1 мин. Изучена динамика спектрального показателя β , вычисленного методом быстрого преобразования Фурье для полудневных значений геомагнитного поля в сейсмоактивный период. Выявлено, что динамика спектрального показателя β определяется геомагнитной обстановкой, то есть внешние факторы, такие как вспышечная активность Солнца, в первую очередь, влияют на характеристики ультранизкочастотных флуктуаций геомагнитного поля. Присутствие аномалий сейсмогенного характера не отмечается, возможно, из-за средней интенсивности землетрясений.

Ключевые слова: геомагнитное поле, геомагнитная буря, ультранизкочастотная флуктуация

С. Н. Мукашева, О. И. Соколова, А. Б. Андреев, В. И. Капыгин, А. М. Малимбаев
Ионосфера институты, Алматы қ., 050020, Қазақстан
e-mail: snmukasheva@gmail.com

АЛМАТЫ ОБСЕРВАТОРИЯСЫНДА ӨЛШЕУ БОЙЫНША ГЕОМАГНИТ ӨРІСІНІҢ УЛЬТРАКҮЛГІН ФЛУКТУАЦИЯСЫ [43.25°N; 76.95°E]

Аннотация. Сейсmobелсенді аймақтардағы геомагнитті өріс жағдайының өзгергіштігі геофизиктердің жіті назар аударуының мәні болып табылады. Осы бағыт бойынша жұмыстар геомагнитті деректерде ғарыштық және литосфералық сипаттағы ауытқуларды анықтау мақсатында жүргізілуде. Осы жұмыста "Алма-Ата" обсерваториясының деректері негізінде Солтүстік Тянь-Шань сейсмикалық белсенді аймағындағы магнит өрісінің мінез-құлқының ерекшеліктерін зерттеу нәтижелері келтірілген [43.25°N; 76.95°E]. Магнитті майланған күні ($K_p=8$) және магнитті тынығу күні ($K_p=2$) ультракүлгін флуктуациялардың ерекше ерекшеліктері орнатылған. 2-ден 5 минутқа дейінгі кезеңдерде тербеліс амплитудасы 5-15 нТ құрайды, ал магнитті тынығу күні тербеліс амплитудасы Z-компонент бойынша ең үлкен, олар 1 мин аз уақытпен 0.5 ± 0.15 нТ құрайды. Сейсмикалық белсенді кезеңде геомагнит өрісінің жартылайғырлы мәндері үшін Фурье тез түрлендіру әдісімен есептелген β спектрлік көрсеткішінің динамикасы зерттелді. Күн, бірінші кезекте, геомагнитті өрістің ультражиілікті флуктуацияларының сипаттамаларына әсер етеді. Спектрлік көрсеткішінің серпіні геомагнитті жағдаймен анықталады, яғни күннің жарқыл белсенділігі сияқты сыртқы факторлар, бірінші кезекте, геомагнитті өрістің ультракүлгін флуктуацияларының сипаттамаларына әсер етеді. Сейсмикалық сипаттағы аномалиялардың болуы жер сілкіністерінің орташа қарқындылығына байланысты байқалмайды.

Түйінді сөздер: геомагнит өрісі, геомагниттік дауыл, ультра төмен жиіліктегі флуктуациясы

S. N. Mukasheva, O. I. Sokolova, A. B. Andreev, V. I. Kapytin, A. M. Malimbayev
Institute of Ionosphere, Almaty, 050020, Kazakhstan
e-mail: snmukasheva@gmail.com

ULTRA-LOW-FREQUENCY FLUCTUATIONS OF GEOMAGNETIC FIELD AS MEASURED AT THE OBSERVATORY ALMA-ATA [43.25°N; 76.95°E]

Abstract. The variability of the geomagnetic field in seismic regions is the subject of close attention of geophysicists. Work in this direction is carried out in order to identify geomagnetic data perturbations of space and lithospheric nature. This paper presents the results of a study of the behavior of the magnetic field in the seismic region of the Northern Tien Shan on the basis of data from the Observatory "Alma-Ata" [43.25°N; 76.95°E]. The distinctive features of ultra-low-frequency fluctuations in the magnetically disturbed day ($K_p=8$) and in the magnetically calm day ($K_p=2$) were established. On the perturbed day, the oscillation amplitude is 5-15 NT with periods from 2 to 5 minutes, whereas on the magnetically calm day the oscillation amplitude is the largest in the Z-component, they are 0.5 ± 0.15 NT with periods less than 1 min. The dynamics of the spectral index β calculated by the method of fast Fourier transform for the midnight values of the geomagnetic field in the seismic period is studied. It was found that the dynamics of the spectral index β is determined by the geomagnetic environment, that is, external factors such as solar flare activity, primarily affect the characteristics of ultra-low-frequency fluctuations of the geomagnetic field. The presence of seismogenic anomalies is not observed, possibly due to the average intensity of earthquakes.

Keywords: geomagnetic field, geomagnetic storm, ultra-low-frequency fluctuation

А.В. Виляев, А.П. Стихарный
 Институт ионосферы, Алматы, 050020, Казахстан
 e-mail: vilayev@gmail.com

О ВОЗМОЖНОСТИ НАРУШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ ЗЕМЛИ ТЕХНОГЕННЫМ ФАКТОРОМ

Аннотация. Рассматривается гипотеза о возможности нарушения динамического равновесия Земли вследствие климатических изменений последних 150 лет и техногенного воздействия на примере катастрофической аварии нефтяной платформы компании British Petroleum в Мексиканском заливе 20 апреля 2010 г. Гипотеза соответствует постулату о неизбежности изменения механизмов взаимодействия различных физических полей вследствие случайных микровоздействий. На основе спутниковых данных показано, что в результате аварии произошло изменение траектории движения течения Гольфстрим, которое привело к изменению температурного режима, солёности и плотности, значительных по объёму океанических масс. Изменение плотности океанических масс в локальных областях могло вызвать смещение центра масс Земли на 10^{-4} м и отклонение оси ее вращения на $3.4 \cdot 10^{-6}$ ас. Показано, что процесс нарушения динамического равновесия Земли может сопровождаться возрастанием количества относительно слабых землетрясений (в диапазоне магнитуд 4.2-4.8 на 41.5%) и интенсивности сейсмического шума (тремора) по данным сетей широкополосных сейсмостанций и спутниковой GPS навигации. При этом суммарная величина выделяющейся сейсмической энергии остается практически неизменной. Авторы проводят обоснование сформулированной гипотезы с использованием эмпирических данных, математической модели и расчетов.

Ключевые слова: гипотеза, динамическое равновесие Земли, течение Гольфстрим, техногенный фактор, сейсмичность.

Введение

Возникновение деформационных процессов, обусловленных возмущениями напряженно-деформированного состояния земной коры, может быть интерпретировано с позиций гипотезы нарушения динамического равновесия вращающейся Земли. Гипотеза соответствует постулату о неизбежности структурных изменений различных физических полей вследствие случайных микровоздействий. Триггером таких слабых флуктуаций могут стать как вариации планетарных факторов, в частности, изменения климата, параметров вращения Земли, земные и океанические приливы, закономерная смена лунных фаз и др., так и техногенные факторы в виде мощных взрывов, антропогенных изменений климата или, как показано в настоящей статье, перераспределение океанических течений, обусловленных техногенными воздействиями.

Индикатором нарушения динамического равновесия может быть изменение числа слабых землетрясений в литосфере

Земли. Активизация сейсмических процессов слабыми возмущениями напряженно-деформированного состояния земной коры рассматривалась в [1-4]. В указанных работах показано, что слабые возмущения способны инициировать деформационные волны в литосфере Земли, генерируя сейсмические колебания с высвобождением сейсмической энергии.

Цель настоящей работы заключается в проверке рабочей гипотезы о возможности нарушения динамического равновесия Земли антропогенным фактором. Метод проверки гипотезы включает анализ фактических данных наблюдений геофизических полей, построение математической модели и выполнение расчетов на ее основе.

Антропогенный фактор воздействия на динамику Земли

В качестве примера катастрофического техногенного воздействия на динамику Земли рассматривалась авария в Мексиканском заливе в 80 км от побере-

жья на месторождении Макондо компании BritishPetroleum в результате взрыва нефтяной платформы Deepwater Horizon 20 апреля 2010 г.

Через повреждения скважины на глубине 1500 м в течение 152 суток происходила неконтролируемая утечка нефти, общее количество которой составило 682 тыс. т (5 миллионов баррелей). Нефтяное пятно распространилось на площади 75 тыс. кв. км [5]. В Мексиканском заливе на глубинах до 1300 м были обнаружены пятна нефти протяженностью до 16 км и толщиной до 90 м. Для уменьшения последствий экологической катастрофы около 19 млн. л диспергаторов было добавлено к более миллиарду литров сырой нефти.

По спутниковым данным было установлено, что разлив нефти в Мексиканском заливе и массовое применение диспергентов повлияли на скорость и направление океанического течения Гольфстрим (Рис.1).



Рисунок 1. Схема океанических течений Атлантического океана [7]

Гольфстрим - интенсивное, теплое океаническое течение в западной части Атлантического океана у восточного побережья Северной Америки. Оно расщепляется на две части - Северный поток или Североатлантический дрейф, который пересекает Атлантический океан в направлении к Северной Европе, и Южный поток или Канарское течение, рециркулирую-

щееот берегов Западной Африки [6]. Размеры течения составляют 100 км по ширине и от 800 до 1200 м по глубине. Скорость потока наиболее интенсивна у поверхности и в среднем составляет около 6.4 км/ч при максимальной величине до 9 км/ч. Гольфстрим транспортирует от 20 до 40 Sv воды в секунду (1 Sv эквивалентен 10^6 м^3), что превышает единовременный сток всех рек в мире.

У восточных берегов Северной Америки теплый Гольфстрим сталкивается с холодным Лабрадорским течением, протекающим с севера на юг вдоль западной окраины Лабрадорского моря. Лабрадорское течение - холодное с температурой воды менее 0°C и имеет низкую соленость - от 30 до 34 ‰. Течение Лабрадора ограничено континентальным шельфом и распространяется на глубинах до 600 м. Объем его водного транспорта составляет 3.5- 5.4 Sv/c [8].

Система океанических течений Гольфстрим-Лабрадор в Северной Атлантике играет существенную роль в формировании климата Земли, перераспределяя тепло и воздействуя на углеродный цикл. В работах [9,10] показано, что конвекция в течениях Лабрадора и Гольфстрима ослабевает. По спутниковым данным такое ослабление проявляется в характерных изменениях температуры приповерхностной воды в субполярных районах Атлантического океана и в пределах течения Гольфстрим. С 2006 г. замедление течения Гольфстрим вызывалось естественными причинами опреснения Лабрадорского течения. Крупномасштабная авария нефтяной платформы «Бритиш петролиум» 20 апреля 2010 г. в Мексиканском заливе вызвала ускорение процесса замедления течения Гольфстрим.

Первое сообщение об «остановке» Гольфстрима приводится в работе [11], в которой показано, что средняя температура воды в северной части течения Гольфстрим понизилась на 10°C , по сравнению с «докатастрофным» 2009 г. При этом течение Гольфстрим переместилось на 800 миль (1481 км) к востоку. Спутниковые снимки Гольфстрима между 76 и 47 меридианами показали, что понижение темпе-

ратуры воды составило 10°C , по сравнению с температурами для того же периода прошлого года. Эти данные позволяют предполагать прямую причинно-следственную связь между остановкой теплового Кольцевого течения в Мексиканском заливе и падением температуры воды в течении Гольфстрим. Исследования ProtonicsChemicalCorporation и кафедры прикладных воздушно-космических наук университета Колорадо (США) также подтверждают, что течение Гольфстрим изменилось свою траекторию. [12]

С использованием таких эмпирических данных в настоящей работе предложена рабочая гипотеза о том, что изменение траектории движения течения Гольфстрим сопровождалось изменением температурного режима, солёности и плотности, значительных по объёму океанических масс (рисунок 2).

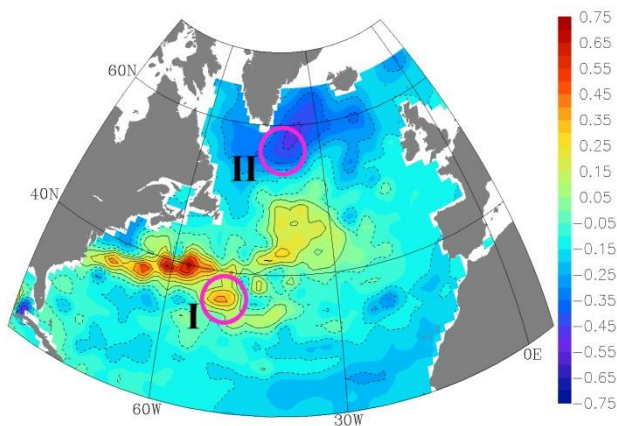


Рисунок 2 – Карта скорости течений субполярного круговорота [13].

I и II моделируемые области изменения температурного режима

При этом предполагается, что процесс происходил сравнительно медленно, и формирование «посткатастрофического» изменения температурного режима происходило в течении времени порядка двух лет, начиная с 2011 г. Такое перераспределение температуры водных масс могло сопровождаться нарушением равновесного состояния динамической системы вращающейся Земли, изменениями положения центра Земли и полюсов и могло со-

провождаться возрастанием количества слабых землетрясений. Покажем это.

Постановка задачи и решение

Движение центра Земли представляет собой простейший механический аттрактор, определяющий совокупность внутренних и внешних условий конечного состояния развития системы. Рассмотрим изменение устойчивого положения центра Земли в случае нарушения однородности распределения масс отдельных областей на ее поверхности. Примем упрощённую модель изменяемой части течений в виде двух равных по размеру дисков радиусом 500 км (R_G), мощностью 1 км (H_G) и с аномальной плотностью воды ρ_G с центром в точке с координатами $N35^{\circ} W50^{\circ}$ (область I – увеличение температуры), и в точке с координатами центра $N57^{\circ} W40^{\circ}$ (область II – уменьшение температуры) (Рис.2).

Центр масс Земли (центр инерциальной системы материальных точек) определяется как геометрическая точка, характеризующая движение системы всех частиц целого тела. В классической механике уравнение геометрического положения центра, как системы материальных точек для случая непрерывного распределения масс, записывается как [14]:

$$\bar{r}_c = \frac{1}{M} \int_V \rho \bar{r} dV \quad (1)$$

где r_c – радиус-вектор центра масс, M – суммарная масса системы, V – объём, ρ – плотность.

Обозначим состояние системы «до» нарушения режима движения индексом 1 и «после» - индексом 2. Вычисления проведем в прямоугольной и сферической системах координат с центром, соответствующим центру масс Земли. Распишем формулу (1) по координатам центра масс;

$$x_1 = \frac{1}{M} \int_V \rho \bar{r} x dV \quad (2)$$

$$y_1 = \frac{1}{M} \int_V \rho \bar{r} y dV \quad (3)$$

$$z_1 = \frac{1}{M} \int_V \rho \bar{r} z dV \quad (4)$$

Определим объёмы перераспределения неоднородных областей как «до» - V_1 и «после» - V_2 , при этом $|V_2| = |V_1|$. Соответственно, объём неизменной части будет равен $V_o = V - (V_1 + V_2)$.

Обозначим плотности «до» - ρ_1 и «после» - ρ_2 . Тогда формула (2) запишется в виде:

$$x_{до} = \frac{1}{M} \int_{V_1} \rho \bar{r} x dV + \frac{1}{M} \int_{V_2} \rho \bar{r} x dV + \frac{1}{M} \int_{V_0} \rho \bar{r} x dV = \frac{1}{M} \rho_1 X_1 V_1 + \frac{1}{M} \rho_2 X_2 V_2 + \frac{1}{M} \int_{V_0} \rho \bar{r} x dV \quad (5)$$

где X_1 и X_2 – координата центра точек I и II.

Аналогично:

$$x_{после} = \frac{1}{M} \rho_2 X_1 V_1 + \frac{1}{M} \rho_1 X_2 V_2 + \frac{1}{M} \int_{V_0} \rho \bar{r} x dV \quad (6)$$

Вычитая (5) из (6) получаем:

$$dX = x_{после} - x_{до} = \frac{1}{M} \rho_2 - \rho_1 X_1 V_1 + \frac{1}{M} \rho_1 - \rho_2 X_2 V_2$$

$$\text{или } dX = \frac{1}{M} \rho_2 - \rho_1 X_1 - X_2 |V| \quad (7)$$

Аналогично, вычитая (3) из (4), получаем:

$$dY = \frac{1}{M} \rho_2 - \rho_1 Y_1 - Y_2 |V| \quad (8)$$

$$dZ = \frac{1}{M} \rho_2 - \rho_1 Z_1 - Z_2 |V| \quad (9)$$

где dX, dY, dZ – отклонения геометрического положения центра масс Земли от его первоначально устойчивого состояния.

Далее рассмотрим возможное изменение положения полюсов оси вращения Земли вследствие смещения центра масс. Для математической однозначности задачи введем условие: *новая ось вращения минимизирует суммарный сдвиг полюсов*. При этом новая ось вращения расположена в плоскости, проходящей через прежние полюса и новый центр масс (рисунок 3), где

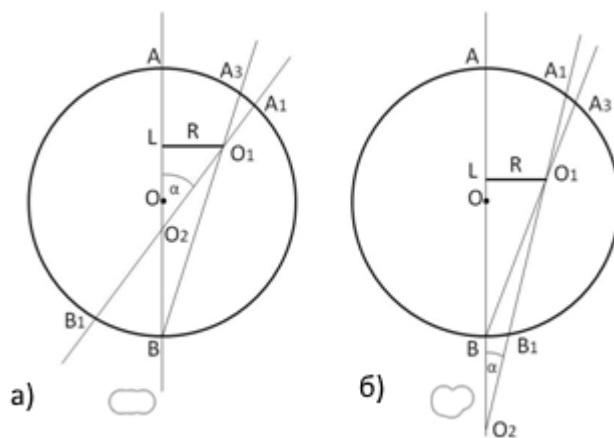
$$R = \sqrt{dX^2 + dY^2} \\ dX = |X_1 - X_2| \\ dY = |Y_1 - Y_2| \\ dZ = L = R_{земли} \sin X_1 - \sin X_2 \quad (10)$$

Изменение угла α накладывается на нутацию колебаний земной оси в процессе прецессионного движения. Нутация изменяет лишь ориентировку оси вращения Земли в пространстве и не влияет на положение этой оси в теле Земли.

Рассмотрим возможные варианты: Рисунок 3а - точка O_2 лежит внутри Земли или на её поверхности. При этом угол α определяется полусуммой дуг AA_1 и BB_1 и таким образом определяет суммарный сдвиг полюсов. Минимум суммарного

сдвига полюсов достигается при совпадении B_1 и B :

$$2\alpha = \arctan\left(\frac{r}{R+L}\right) \quad (11)$$



О – центр масс «до», O_1 – центр масс «после», АВ – ось вращения «до», A_1B_1 – ось вращения «после», O_2 – точка пересечения осей вращения, α – угол между ними, а) – O_2 внутри Земли; б) – O_2 вне Земли

Рисунок 3 – К расчету возможного изменения положения полюсов оси вращения Земли

Рисунок 3б - точка O_2 лежит вне Земли. В этом случае угол α определяется полуразностью дуг AA_1 и BB_1 . Так как O_1 находится выше O , то дуга BB_1 больше дуги AA_1 , и минимум суммарного сдвига полюсов также достигается при совпадении B_1 и B (формула 11).

Таким образом, уравнения (7-11) определяют конечное состояние процесса динамического развития аттрактора – центра масс Земли.

Исходные данные

Рассмотрим морскую воду как двухкомпонентную систему вода (растворитель)+ морская соль (растворенное вещество), в которой основные свойства ее состояния характеризуются внутренними параметрами - температурой, соленостью и давлением. Температура, соленость и давление определяют величину плотности морской воды. Характерные для поверхности моря (океана) значения плотности, зависящие от температуры, находятся в диапазоне от 0,9960 до 1,0283 кг/м³ [15].

В расчетах плотности морской воды с учетом ее температуры и солёности в настоящей работе использовались эмпирические зависимости (Рис. 4).

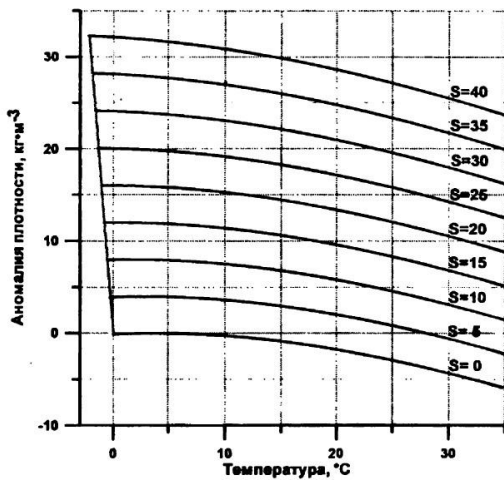


Рисунок 4. Плотность морской воды в зависимости от температуры и солёности при атмосферном давлении [16].

По спутниковым данным [17] в рассматриваемых областях Атлантического океана, за указанный промежуток времени (2009 - 2012 гг.), солёность изменялась в незначительных пределах, как на глубине 459 м (не более $\pm 0.01\text{‰}$), так и на глубине 747 м (не более $\pm 0.005\text{‰}$), и может быть принята за постоянную величину 35.52‰ (Рис. 5).

В тоже время за счет изменения направления движений океанических течений Гольфстрим и Лабрадор произошло перераспределение температуры морской воды в рассматриваемых областях до глубины 1 км (Рис. 6).

В среднем изменение разности температуры океанических масс между моделируемыми областями в интервалах времени 2009 - 2010 гг. и 2011 - 2012 гг. характеризуются значениями не более 1°C . Такой перепад температуры морской воды, в соответствии с эмпирической зависимостью (Рис.4), и при постоянной солёности может сопровождаться относительным изменением плотности на $0,25\text{ кг/м}^3$ (ρ_g).

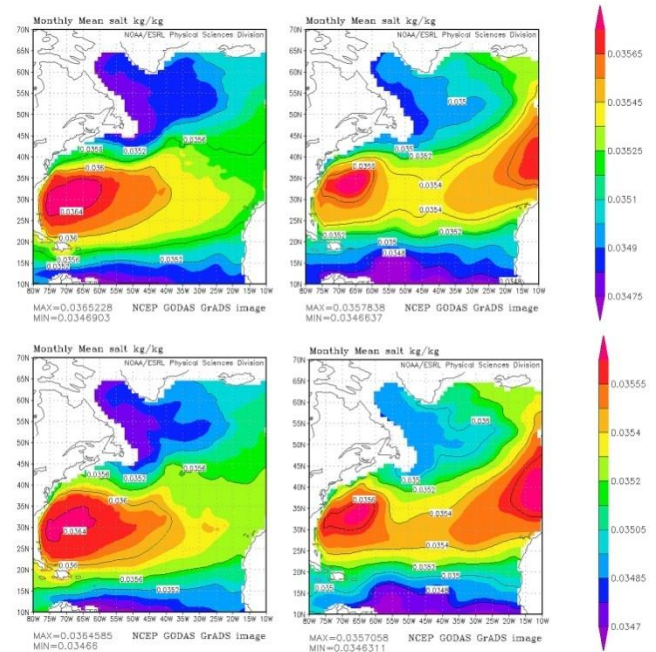


Рисунок 5. Карты среднемесячных значений солёности морской воды на глубинах 459 м и 757 м (слева направо) за 2009-2010 гг. (вверху) и за 2011-2012 гг. (внизу)[17]

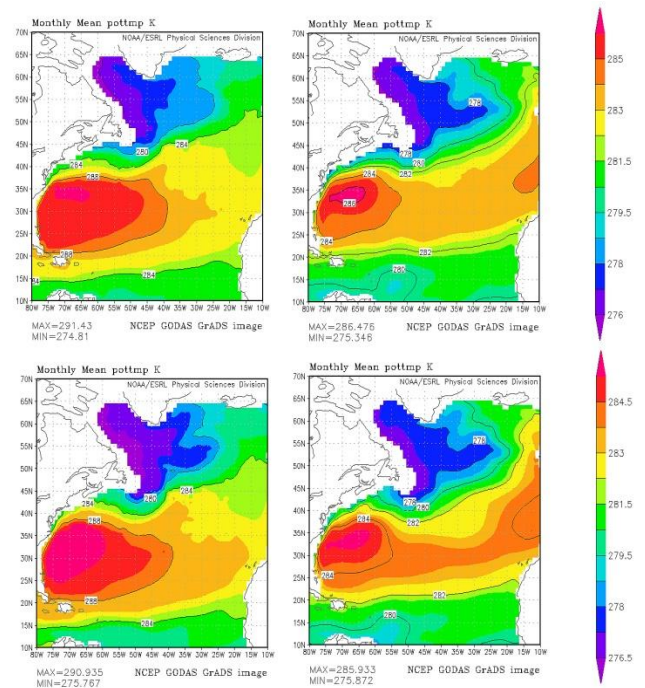


Рисунок 6. Карты среднемесячных значений температуры морской воды на глубинах 459 м и 757 м (слева направо) за 2009 – 2010 гг. (вверху) и за 2011 – 2012 гг. (внизу) [17].

Исходные данные, используемые в расчетах, представлены в таблице 1

Таблица 1. Исходные данные

Параметр	Значение	вСИ
Масса Земли (кг)		5.972E+24
Радиус Земли (м)		6378000
сдвиг точек I-II по широте (X_1-X_2)	22(град.)	2444948 м
сдвиг точек I-II по долготе (Y_1-Y_2)	10 (град)	785836 м
сдвиг точек I-II по оси вращения (Z_1-Z_2)	$R_{\text{Земли}}(\sin(X_1)-\sin(X_2))$	786132 м
Объем изменяемой части течения (м^3)	$\pi R_G^2 H_G$	7.854E+14
Изменение $p_G(\text{кг}/\text{м}^3)$		0.25

В рамках высказанной гипотезы и принятых предположений, на основании исходных данных (Табл. 1) и решений аналитических выражений (7-11), было получено, что вследствие нарушения динамического равновесия Земли, инициированного перераспределением температуры и плотности океанических масс в системе течений Гольфстрим-Лабрадор, перемещение центра масс Земли может составить 10^4 м, а отклонение оси вращения Земли на Северном полюсе по меридиану 10° может достигать $3.4 \cdot 10^{-6}$ ас, что соответствует 0.002% от амплитуды максимальной нутации полюса.

Обсуждение результатов

Полученные результаты подтверждают гипотезу о возможном нарушении динамического равновесия вращающейся Земли за счет ослабления конвекции течения Гольфстрим и последующего перераспределения масс в системе Североатлантических течений. Процесс продолжался со слабой интенсивностью в течение последних 150 лет [9, 10] и был активизирован 20 апреля 2010 г. после техногенной катастрофы в Мексиканском заливе. Такая активизация в настоящее время ослабевает, и прежний «докатастрофический» режим океанических течений постепенно восстанавливается.

Для подтверждения состоятельности выдвинутой гипотезы рассмотрим дополни-

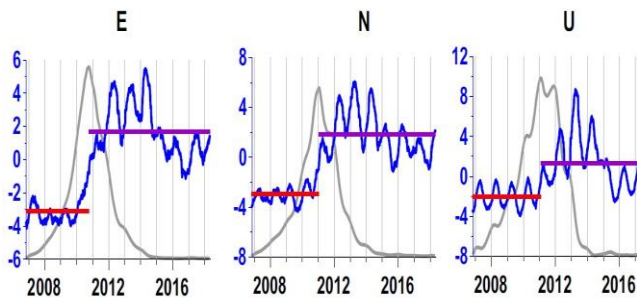
тельные факты. Как указывалось выше, одним из индикаторов изменения динамического равновесия может служить возникновение деформационных волн в литосфере Земли с накоплением или релаксацией глобальных тектонических напряжений и увеличением сейсмической активности [1-4]. Причем, флуктуации тектонических напряжений планетарного масштаба не всегда могут быть измерены непосредственно *in situ*. Их изучение возможно лишь GPS методами спутниковой геодезии в сочетании с регистрацией на сети сейсмических станций.

Впервые результаты анализа изменений глобального сейсмического шума были опубликованы в [18]. Анализ был основан на данных 229 широкополосных станций сетей GSN, GEOSCOPE и GEOFON за 16-летний период с начала 1997 по конец 2012 гг. Изучалось когерентное поведение четырех параметров, характеризующих глобальное поле низкочастотного сейсмического шума на периодах от 2 до 500 мин. Рассматриваемые параметры включали логарифмическую дисперсию, эксцесс, ширину спектра сингулярности и минимальную энтропию вейвлет-коэффициентов непрерывных сейсмических сигналов. На основании проведенного анализа в работе [18] сделан вывод, что наблюдается усиление синхронизации между параметрами глобального сейсмического шума во всем интервале наблюдений с начала 1997 г. «Эта синхронизация продолжает расти до конца исследуемого периода (2012 г.), что можно интерпретировать как вероятный предвестник дальнейшего увеличения интенсивности сильнейших землетрясений во всем мире».

Усиление глобального сейсмического шума к концу 2012 г. можно сопоставить с процессом медленного ослабления течения Гольфстрим в последние 150 лет.

Подтверждением скачкообразного ускорения данного процесса после техногенной катастрофы могут служить результаты исследований [19, 20]. В них рассмотрены статистические параметры вариаций смещений GPS станций, отражающие поверхностные флуктуации напряженно-

деформированного состояния земной коры (Рис.7).



горизонтальные линии красного и пурпурного цвета - средние значения; серые линии –изменение коэффициента Фишера [19]

Рисунок 7. Графики первых главных компонент средних корреляций смещений временных рядов GPS (синие линии).

Совместная обработка данных глобальной сети ежесуточных непрерывных наблюдений GPS позволила авторам исследования [19] выделить скрытый эффект синхронизации низкочастотного собственного шума Земли, который проявлялся приблизительно с 23 октября 2010 по 17 февраля 2011 гг.

Было обнаружено значительное увеличение среднего уровня когерентности (корреляции)суточных величин шума, зарегистрированного на 1097 GPS станциях в девяти регионах Земли (Восточная, Западная и Центральная Северная Америка, Южная Америка, Европа, Япония, Аляска, Австралия, Новая Зеландия). Отмечалось, что в некоторых из указанных районов средний уровень согласованности остается достаточно высоким и не возвращается к предыдущему уровню (Рис. 7). Авторы публикаций [19, 20] считают, что возрастание сейсмического шума могло быть триггером катастрофического землетрясения 11 марта 2011 г., $M=9.1$ в Японии (Тохоку).

Кроме того, при изучении вариаций сейсмичности в рамках нарушения динамического равновесия Земли нами рассмотрены не только сильные землетрясения, но и статистические особенности проявления относительно слабых землетрясений. Использовался мировой каталог землетрясений [21], из которого производились выборки сейсмических событий раз-

личных магнитудных диапазонов для всей Земли в двух одинаковых по продолжительности временных интервалах 2009 – 2010 и 2011 – 2012 гг. Результаты распределения землетрясений и выделившейся сейсмической энергии E (в Дж) в двух временных интервалах представлены в таблице 2 и на рисунке 8.

Таблица 2. Сравнительная выборка числа землетрясений и \log_{10} выделившейся сейсмической энергии в интервале времени 2009 - 2012 гг.

Магнитуды	2009.01.01 - 2010.12.31		2011.01.01 - 2012.12.31	
	кол-во	Энергия (log10)	кол-во	Энергия (log10)
6.9-9.0	51	18,168	43	17,960
6.2-6.8	151	16,686	152	16,684
5.6-6.1	649	16,362	733	16,418
4.9-5.5	4902	16,212	5069	16,203
4.2-4.8	13146	15,743	18614	15,903
3.6-4.1	3744	14,373	4768	14,478

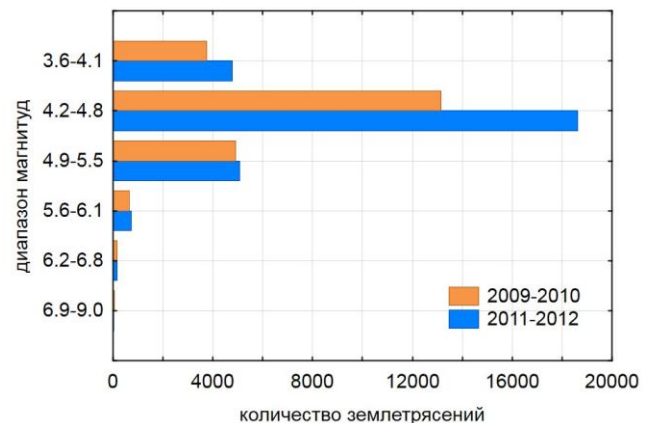


Рисунок 8. Гистограмма распределения числа землетрясений в интервале времени 2009 – 2012 гг.

В диапазонах магнитуд $M \leq 6.8$ в течение «посткатастрофического» интервала времени наблюдается увеличение числа землетрясений, особенно для относительно слабых событий с $M=4.2-4.8$: от 13146 до 18614, т. е. на 41.6%. Выборки включали все произошедшие землетрясения совместно с их афтершоками для наиболее полного

отражения процесса релаксации глобальных тектонических напряжений.

Отметим, что нарушение закона повторяемости землетрясений (Гутенберга – Рихтера) для значений магнитуд $M=3.6-4.1$ в приведенной таблице 2 и на гистограмме (Рис. 8) обусловлено разряженностью сейсмической сети станций регистраций землетрясений по земному шару. Тем не менее, и в данном диапазоне магнитуд наблюдается превышение количества землетрясений в «посткатастрофический» период (2011-2012 гг.)

Вместе с тем, по количеству выделившейся сейсмической энергии значительной дифференциации в рассматриваемых временных интервалах не наблюдается. Т. е. можно полагать, что нарушение динамического равновесия Земли сопровождалось лишь увеличением сейсмического шума (тремора) при сохранении среднего уровня освобождаемой сейсмической энергии.

Заключение

На упрощенной математической модели показано, что замедление океанического течения Гольфстрим и перераспределение температуры и плотности океанических масс в локальных областях в результате климатических изменений за последние 150 лет, а также вследствие техногенной катастрофы, может сопровождаться нарушением динамического равновесия планеты Земля.

В соответствии с выполненными расчетами, возможно смещение центра масс Земли на 10^{-4} м и отклонение оси ее вращения на $3.4 \cdot 10^{-6}$ ас в последующие два года после техногенной катастрофы в Мексиканском заливе. Это могло вызвать наблюдаемое увеличение числа слабых землетрясений в диапазоне магнитуд 4.2 - 4.8 на 41.5% и возрастание интенсивности сейсмического шума (тремора) по данным регистрации на сети широкополосных сейсмостанций и сети GPS навигации. При этом общее количество выделившейся сейсмической энергии оставалось практически неизменным. Это указывает на достаточную устойчивость динамического

равновесия системы Земля в масштабах времени годы – десятилетия – первые столетия. Отметим, что для рассматриваемой системы характерны небольшие флуктуации, и она не всегда полностью возвращается в исходное состояние, а лишь максимально близко приближается к нему.

Таким образом, с учетом приведенных эмпирических данных и расчетов в рамках рассмотренной математической модели, выдвинутая гипотеза о возможности нарушения динамического равновесия Земли техногенным фактором имеет право на существование в качестве научного предположения.

Список литературы

- 1 Кочарян Г.Г., Костюченко В.Н., Павлов Л.В. Инициирование деформационных процессов в земной коре слабыми возмущениями // Физическая мезомеханика. - 2004. - т. 7. - № 1. - С. 5-22;
- 2 Кочарян Г.Г., Федоров А.Е. Об особенностях механики сейсмического процесса в блочной геофизической среде // Доклады АН СССР. - 1990. - т. 315. - № 6. - С. 1345-1349;
- 3 Адушкин В.В., Спивак А.А. Приповерхностная геофизика: комплексные исследования литосферно-атмосферных взаимодействий в окружающей среде // Физика Земли. - 2012. - №3. - С.3-21;
- 4 Шерман С.И. Деформационные волны как триггерный механизм активизации разломов в сейсмических зонах континентальной литосферы. // Триггерные эффекты в геосистемах. М.: ГЕОС. 2013. С. 46-53
- 5 <https://geektimes.ru/post/250986/>
- 6 https://en.wikipedia.org/wiki/Gulf_Stream
- 7 <https://www.iksinfo.ru/stati/nauka-i-tehnika/item/162-golfstrim-ostanovilsja.html>
- 8 Labrador Current // The Editors of Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/place/Labrador-Current>
- 9 David J. R. Thornalley, Delia W. Oppo, Pablo Ortega, Jon I. Robson, Chris M. Brierley, Renee Davis, Ian R. Hall, Paola Moffa-Sanchez, Neil L. Rose, Peter T. Spooner, Igor Yashayaev & Lloyd D. Keigwin // Anomalously weak Labrador Sea convection and Atlantic overturning during the past 150 years. Letterl Nature. – 2018. - Vol. 556. – P. 227–230

- 10 L. Caesar, S. Rahmstorf, A. Robinson, G. Feulner & V. Saba. // Observed fingerprint of a weakening Atlantic Ocean overturning circulation. Nature volume 556. – P. 191–196. – 2018;
- 11 Gianluigi Zangari Risk of global climate change by BP oil spill/ Frascati National Laboratories (LNF) - National Institute of Nuclear Physics (INFN) Frascati 00044, Via E. Fermi, 40, ITALY <http://www.associazionegeofisica.it/OilSpill.pdf>
- 12 <https://forumnsk.org/material/news/5568482.html>
13. K. Ramanujan, Alan D. Buis, S. Hines, J. Goldman // Satellites record weakening North Atlantic current. – 2004 <https://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2004/0415gyre.html>
- 14 Тарг С. М. Центр инерции (центр масс) // Физическая энциклопедия : [в 5 т.] Гл. ред. А. М. Прохоров. — М.: Большая российская энциклопедия. - 1999. -т. 5. – С.692;
- 15 Справочник «Физические величины». Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова // Раздел "Физика земли" - И.А. Маслов - Москва. Энергоатомиздат, 1991. – С.1234.
- 16 В.С. Архипкин В.С., Добролюбов С. А. Физические свойства морской воды // Москва. Океанология. - 2005. – С.214;
- 17 Behringer, D.W., Y. Xue. Evaluation of the global ocean data assimilation system at NCEP: The Pacific Ocean. // Eighth Symposium on Integrated Observing and Assimilation Systems for Atmosphere, Oceans, and Land Surface, AMS 84th Annual Meeting, Washington State Convention and Trade Center, Seattle, Washington, - 2004; <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/datas.godas.html>
- 18 Lyubushin A.A. Analysis of coherence in global seismic noise for 1997–2012. // Izvestiya. Physics of the solid Earth. – Т. 50. - № 3. –С.325–333;
- 19 Lyubushin A.A. Global coherence of GPS-measured high-frequency surface tremor motions <https://doi.org/10.1007/s1029101807813>
- 20 Tamaz S, Luciano T, Vallianatos F (eds) Complexity of seismic time series: measurement and applications // Elsevier, Amsterdam. – 2018. P.548.
- 21 <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>

Принято в печать 16.04.2019

А.В. Виляев, А.П. Стихарный

Институт ионосферы, Алматы, 050020, Казахстан, E-mail: vilayev@gmail.com

О ВОЗМОЖНОСТИ НАРУШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ ЗЕМЛИ ТЕХНОГЕННЫМ ФАКТОРОМ

Аннотация. Рассматривается гипотеза о возможности нарушения динамического равновесия Земли вследствие климатических изменений последних 150 лет и техногенного воздействия на примере катастрофической аварии нефтяной платформы компании British Petroleum в Мексиканском заливе 20 апреля 2010 г. Гипотеза соответствует постулату о неизбежности изменения механизмов взаимодействия различных физических полей вследствие случайных микровоздействий. На основе спутниковых данных показано, что в результате аварии произошло изменение траектории движения течения Гольфстрим, которое привело к изменению температурного режима, солености и плотности, значительных по объему океанических масс. Изменение плотности океанических масс в локальных областях могло вызвать смещение центра масс Земли на 10^{-4} м и отклонение оси ее вращения на $3.4 \cdot 10^{-6}$ ас. Показано, что процесс нарушения динамического равновесия Земли может сопровождаться возрастанием количества относительно слабых землетрясений (в диапазоне магнитуд 4.2–4.8 на 41.5%) и интенсивности сейсмического шума (тремора) по данным сетей широкополосных сейсмостанций и спутниковой GPS навигации. При этом суммарная величина выделяющейся сейсмической энергии остается практически неизменной. Авторы проводят обоснование сформулированной гипотезы с использованием эмпирических данных, математической модели и расчетов.

Ключевые слова: гипотеза, динамическое равновесие Земли, течение Гольфстрим, техногенный фактор, сейсмичность.

A.V. Vilayev, A.P. Stikharny

Institute of Ionosphere, Almaty, 050020, Kazakhstan, Email: vilayev@gmail.com

ON THE POSSIBILITY OF DISTURBANCE FOR DYNAMIC BALANCE OF EARTH BY TECHNOGENIC FACTOR

Abstract. The hypothesis about the possible disturbance for Earth's dynamic balance due to climate changes of the last 150 years and technogenic impact is considered on the example of the catastrophic accident of the British Petroleum oil platform in the Gulf of Mexico on April 20, 2010. The hypothesis corresponds to the postulate about the inevitability of changes in the interaction mechanisms of various physical fields due to random microeffects. Based on satellite data, it was shown that the accident caused a change in the trajectory of the Gulf Stream flow, which led to a change in temperature, salinity and density of significant ocean masses. A change in the density of ocean masses in some areas could cause a shift of the center of mass of the Earth by 10^{-4} m and a deviation of its axis of rotation by $3.4 \cdot 10^{-6}$ ac. It is shown that the process of disturbance the Earth's dynamic balance can be accompanied by an increase in the number of relatively weak earthquakes (in the range of magnitudes 4.2–4.8 by 41.5%) and the intensity of seismic noise (tremor) according to the data of broadband seismic networks and satellite GPS navigation. At the same time, the total value of the seismic energy released remains almost unchanged. The authors substantiate the formulated hypothesis using empirical data, a mathematical model, and calculations.

Keywords: hypothesis, dynamic balance of Earth, Gulf Stream current, anthropogenic factor, seismicity.

А.В. Виляев, А.П. Стихарный

Институт ионосферы, Алматы, 050020, Казахстан, E-mail: vilayev@gmail.com

ЖЕРДІҢ ДИНАМИКАЛЫҚ ТЕҢГЕРІМІН ТЕХНОГЕНДІК ФАКТОРМЕН БҰЗУ МҮМКІНДІГІ ТУРАЛЫ

Аннотация. 2010 жылдың 20 сәуірінде Мексика шығанағындағы Бритиш Петролеум мұнай платформасындағы апатты жағдайдың мысалында соңғы 150 жылдағы климаттың өзгеруіне және техногендік әсерге байланысты Жердің динамикалық тепе-теңдігінің ықтимал бұзылуы туралы гипотеза қарастырылған. Гипотеза кездейсоқ микроэффекттерге байланысты түрлі физикалық өрістердің өзара әрекеттесу механизмдеріндегі өзгерістердің сөзсіздігіне сәйкес келеді. Спутниктік деректер аварияның салдарынан Гольфстрим ағынының бағыты өзгергенін көрсетті. Бұл мұхит массасының үлкен көлемінің температурасын, тұздылығын және тығыздығын өзгертуге әкелді. Жергілікті жерлерде мұхит массасының тығыздығының өзгеруі Жер массасының орталығында 10^{-4} м және айналу осінің ауытқуы $3.4 \cdot 10^{-6}$ ас болуы мүмкін. Сейсмикалық станциялар мен спутниктік GPS навигациясы бойынша Жердің динамикалық теңгеріміндегі өзгеріс нөлдік жер сілкіністердің 41.5% -ға ұлғаюымен және сейсмикалық шудың артуымен бірге жүруі мүмкін екендігі көрсетілген. Бұл жағдайда шығарылатын сейсмикалық энергияның жалпы құны іс жүзінде өзгермейді. Авторлар эмпирикалық деректерді, математикалық модельді және есептеулерді қолдану арқылы тұжырымдалған гипотезаны дәлелдейді.

Түйін сөздер: гипотеза, Жердің динамикалық тепе-теңдігі, Гольфстрим ағыны, техногендік фактор, сейсмикалық.