

НЕКОТОРЫЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ НА ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ "МИХНЕВО" ИДГ РАН

С.А. Рябова, А.А. Спивак

Анализируются результаты инструментальных наблюдений за геомагнитным полем на Геофизической обсерватории "Михнево" ИДГ РАН. Показано, что геофизическая обстановка характеризуется значительным количеством дней с возмущенным состоянием геомагнитного поля. Установлена тенденция к увеличению геомагнитной активности со временем (с 2009 по 2015 гг. количество дней с возмущенной геомагнитной обстановкой увеличилось в 7,6 раза), а также значимая корреляция между количеством геомагнитных возмущений и вариациями индекса солнечной активности $F10,7$. Повторяемость геомагнитных возмущений характеризуется четко выраженными периодичностями с характерными периодами около 14, 27, 60, 182 и 365 сут.

Введение

Магнитное поле Земли характеризуется значительными временными вариациями разной амплитуды и длительности [Афанасьев, Шевнин, 1978; Rangarajan, Iyemori, 1997; Бондарь и др., 2003; Головков и др., 2004; Гордина и др., 2006; Glasmeier et al., 2009; Мороз и др., 2011; Сомских и др., 2011; Гвишиани, Лукьянова, 2015]. Наиболее значимые вариации, представленные магнитными бурями и близкими к ним по характеру возмущениями меньшей интенсивности, представляют собой наиболее интересный объект исследований. Изучение сильных вариаций геомагнитного поля в виде магнитных бурь и суббурь (возмущения планетарного масштаба, вызванные взаимодействием потока солнечной плазмы с магнитосферой Земли) позволяет совершенствовать и разрабатывать новые модели магнитосферных и ионосферных магнитных источников [Гвишиани, Лукьянова, 2015; Обридо и др., 2013; Троицкая, Гульельми, 1969].

Большой интерес к статистике геомагнитных возмущений возникает при разработке новых магнитотеллурических способов и методов [Бердичевский, Дмитриев, 2009; Водяников и др., 2006; Светов и др., 1997], способов диагностики

геодинамического состояния земной коры [Гульельми, 2007] и исследования метеорологических процессов в атмосфере [Лобычева, Седых, 2015].

Не менее важным представляется изучение более слабых по сравнению с бурями возмущений магнитного поля, характеристики которых могут содержать информацию как о глобальных, так и локальных источниках. В целом все возмущения в совокупности характеризуют условия среды обитания, а их параметры востребованы при оценке биофизических эффектов, проявляющихся, в частности, в организме человека [Беляев и др., 2003; Леднев, 2013; Мартынюк и др., 2012; Экология, 2006; Черешнев и др., 2016].

Следует отметить и прикладное значение исследований вариаций естественного электромагнитного фона. Такие данные востребованы при высокоточных измерениях и прецизионном производстве на микро- и наномасштабном уровнях, например, в биотехнологии, а также при производстве электронных элементов и микросборок для современной электронной и вычислительной техники и т. д. Повышение интереса к изучению вариаций магнитного поля отмечается в последнее время в связи с развитием и внедрением нанотехнологий.

В настоящей работе приводятся некоторые результаты статистической обработки геомагнитных возмущений для условий средней широты Восточно-Европейской платформы.

Исходные данные

В качестве исходных данных использовались результаты инструментальных наблюдений¹ за геомагнитным полем, выполненных в условиях Геофизической обсерватории "Михнево" ИДГ РАН (ГФО МНВ) в период 2009–2015 гг. Обсерватория расположена в центральной части Восточно-Европейской платформы (54,960N; 37,7740E) [Адушкин и др., 2016] на юге Московской области вдали от крупных промышленных объектов в зоне влияния глубинной тектонической структуры – Нелидово-Рязанской шовной зоны (НРШЗ), приуроченной к руслу р. Оки. Трехкомпонентная² регистрация индукции магнитного поля (компоненты B_x , B_y и B_z) выполняется в стационарно оборудованном геомагнитном павильоне с помощью феррозондового магнитометра LEMI-018, электронный блок которого обеспечивает преобразование данных, получаемых с феррозондового датчика, их обработку и накопление с дискретностью 1 с. Технические характеристики используемых измерительных средств, результаты регистрации магнитного поля Земли в ГФО МНВ в виде привязанных ко времени цифровых рядов, а также рассчитанный индекс магнитной активности K для 3-х часовых интервалов времени размещены на сайте ИДГ РАН (<http://idg.chph.ras.ru/~idg/data/>).

Результаты анализа геомагнитной активности

В качестве характеристики геомагнитной активности в настоящей работе использован станционный индекс магнитной активности K [Колесник и др., 2009].

¹ Наблюдения за магнитным полем организованы и выполняются силами лаборатории литосферно-ионосферных связей ИДГ РАН.

² Система координат: ось X направлена на географический север, Y – на восток, Z – вертикально вниз

Это связано с тем, что именно локальные характеристики геомагнитной активности определяют биофизическую характеристику среды обитания в конкретном регионе. Например, сравнительный анализ планетарного K_p и станционного K (ГФО МНВ) индексов геомагнитной активности за период 2009–2015 гг. свидетельствует о том, что в значительном количестве случаев (~51% от общего числа) максимальные за сутки значения K_p и K отличаются на одну единицу в ту или иную сторону (в 25 случаях это отличие составляет две единицы в меньшую для K -индекса сторону, в 7 случаях – в большую)¹. С учетом квазилогарифмической нелинейности шкалы определения K -индекса такое отличие в геомагнитной активности следует считать значительным. При этом следует иметь в виду, что с точки зрения влияния на человеческий организм больший интерес вызывают исследования именно местных геомагнитных вариаций. Учитывая высокую плотность населения в центральном районе России, а также близость к крупному мегаполису, каким является г. Москва, изучение вариаций K -индекса ГФО МНВ представляется весьма важным.

Количественная характеристика геомагнитных возмущений разной интенсивности на ГФО МНВ за период 2009–2015 гг. представлена в табл. 1. С учетом общего количества 3-х часовых интервалов за указанный период наблюдений (20448 интервалов) получаем, что более чем в 41% случаев на ГФО МНВ наблюдалось в разной степени возмущенное состояние магнитного поля. Статистика наиболее сильных геомагнитных возмущений ($K \geq 4$) по количеству дней в году приведена в табл. 2 (анализировалась выборка максимальных за сутки значений $K = K_0$) и в виде гистограммы на рис. 1.

Полученные данные свидетельствуют о достаточно высоком уровне геомагнитной активности на ГФО МНВ: за 2556 дней наблюдений магнитные бури фиксировались в 179 сутках, возмущенная геомагнитная обстановка – 329 сутках. Также отмечается ярко выраженная тенденция к увеличению со временем количества дней с магнитными бурями и суббурями.

Таблица 1.

Статистика геомагнитных возмущений разной интенсивности по 3-х часовым интервалам для ГФО МНВ за период 2009–2015 гг.

Характеристика геомагнитного возмущения	Большая магнитная буря	Магнитная буря		Возмущенное состояние магнитного поля	Слабовозмущенное состояние магнитного поля		Спокойное состояние
	$K \geq 7$	$K = 6$	$K = 5$	$K = 4$	$K = 3$	$K = 2$	$K < 2$
Количество событий	11	45	246	755	2408	4984	11999

Гистограмма месячных вариаций общего количества геомагнитных возмущений N с $K \geq 3$, для условий ГФО МНВ приведена на рис. 2. Данные рис. 2 также демонстрируют повышение интенсивности геомагнитных возмущений со време-

¹ Значения K_p -индекса определялись в соответствии с данными сайта <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/Kp/index/>

Таблица 2.

Количество дней, характеризующихся геомагнитными возмущениями
с $K = K_0$, по годам

K_0	Год						
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
9	–	–	–	–	–	–	1
8	–	–	–	–	–	–	–
7	–	–	1	1	1	–	1
6	–	3	7	8	2	2	6
5	2	6	15	30	20	21	47
4	15	42	44	46	51	56	75

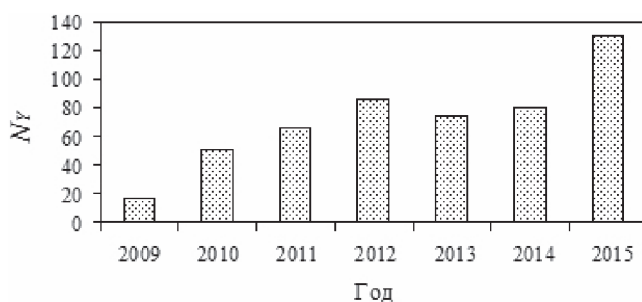


Рис. 1. Гистограмма количества дней в году N_y , характеризующихся возмущенным состоянием геомагнитной обстановки на ГФО МНВ с $K \geq 4$

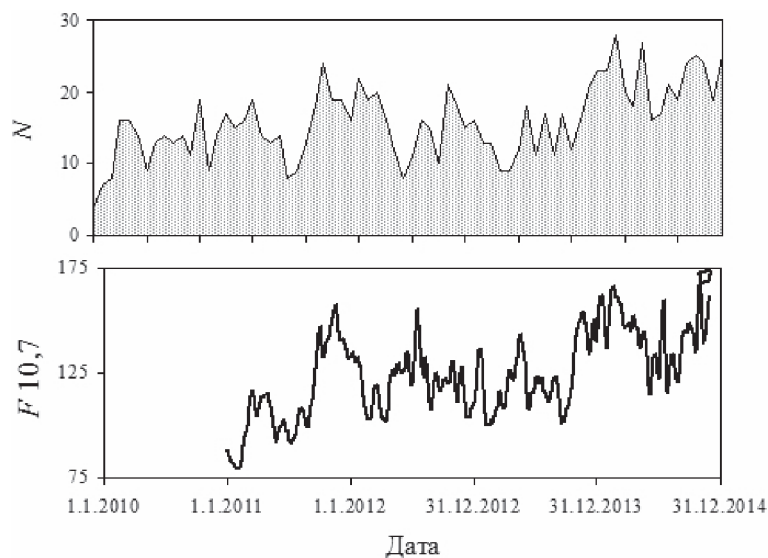


Рис. 2. Гистограмма помесечного количества геомагнитных возмущений с $K \geq 3$ (верхняя панель) и вариации индекса солнечной активности (нижняя панель)

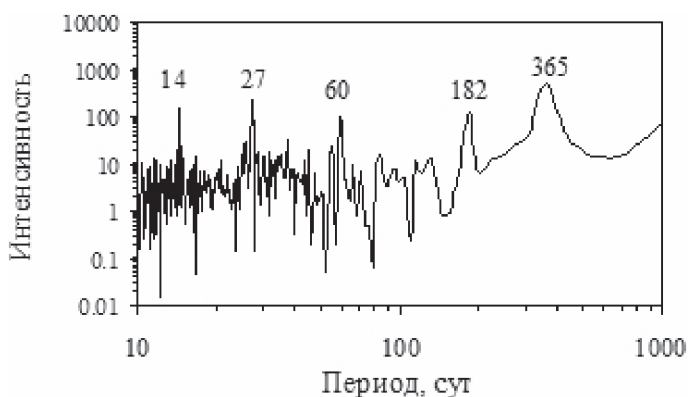


Рис. 3. Периодограмма количества геомагнитных возмущений с максимальным за сутки индексом K за период 2010–2015 гг. на ГФО МНУ

нем. В качестве второй особенности графика $N(t)$ следует отметить наличие хорошо выраженных периодичностей указанной функции. С целью более детального выделения периодичностей в вариациях геомагнитных возмущений анализировался ряд суточных значений K_C (в качестве величины K_C выбиралось максимальное значение $K = K_0$). Результаты представлены на рис. 3, из которого следует, что повторяемость геомагнитных возмущений характеризуется периодичностями с периодами около 14, 27, 60, 182 и 365 сут., большая часть из которых (14, 27, 182 и 365 сут.) совпадает с периодами геомагнитных возмущений, установленными в работе [Fraser-Smith, 1971]. Обнаруженная нами периодичность в 60 сут. в настоящее время не находит физического объяснения и требует проведения дальнейших исследований.

Связь между количеством геомагнитных возмущений и солнечной активностью

Отдельный интерес представляет сопоставление геомагнитной и солнечной активностей. Действительно, основной из причин сильных вариаций магнитного поля Земли являются возмущения межпланетного магнитного поля в результате взаимодействия солнечной плазмы с магнитосферой. В этой связи следует ожидать, что геомагнитная активность должна коррелировать с солнечной активностью. Выберем в качестве меры: геомагнитной активности – суммарное за месяц количество геомагнитных возмущений N с $K \geq 3$, а солнечной активности – индекс $F10.7$ – параметр, определяющий интенсивность (плотность потока) радиоизлучения Солнца на частоте 10,7 см (2800 МГц). Результаты сопоставления временных вариаций величин K и $F10.7$ (рис. 2) показывают, что действительно в периоды увеличения индекса $F10.7$ наблюдается рост количества геомагнитных возмущений N и наоборот. Оценка кросскорреляционной связи между N и $F10.7$ свидетельствует о значимой корреляции между количеством геомагнитных возмущений и солнечной активностью (коэффициент ранговой корреляции Спирмена составляет около 0,61).



Рис. 4. Суммарная длительность активного периода геомагнитных возмущений с $K \geq 4$ на ГФО MNV

Активные периоды геомагнитных возмущений

Наряду с количеством событий важным параметром геомагнитной активности является общая продолжительность геомагнитных возмущений разной интенсивности T . Анализ показывает, что суммарная продолжительность геомагнитных возмущений с $K \geq 4$ существенно изменяется со временем (рис. 4). При этом отчетливо проявляется периодичность T , которая характеризуется периодом $\sim 4,5$ сут. Вычисление средней по годам продолжительности геомагнитных возмущений с $K \geq 4$ за месяц T_1 показывает, что в целом величина T_1 практически постоянна и близка к величине ~ 256 час (рис. 5, а). При этом, характерно, что средняя по годам суммарная продолжительность геомагнитных возмущений с $K = 5$ и 6 (магнитные бури) за месяц T_2 изменяется со временем сильнее и демонстрирует периодичность с периодом ~ 3 месяца (рис. 5, б). Такое отличие в характере вариаций T_1 и T_2 объясняется весомым вкладом возмущений с $K = 4$ (возмущенное состояние магнитного поля) в общую продолжительность геомагнитной активности.

Заключение

В результате выполненных исследований установлены следующие особенности геомагнитной активности для условий средней широты:

1. Геофизическая обстановка характеризуется значительным количеством дней с возмущенным состоянием геомагнитного поля: за 7-летний период магнитные бури наблюдались в 179 сутках, при этом зарегистрировано 5 больших бурь с $K \geq 7$; 329 дней характеризовались возмущенной геомагнитной обстановкой ($K = 4$);
2. Установлена тенденция к увеличению геомагнитной активности со временем (с 2009 по 2015 гг. количество дней с возмущенной геомагнитной обстановкой увеличилось в 7,6 раза);
3. Показано, что повторяемость геомагнитных возмущений характеризуется четко выраженными периодичностями с характерными периодами около 14, 27, 60, 182 и 365 сут.;
4. Установлена значимая корреляция между количеством геомагнитных возмущений и вариациями индекса солнечной активности $F10,7$.

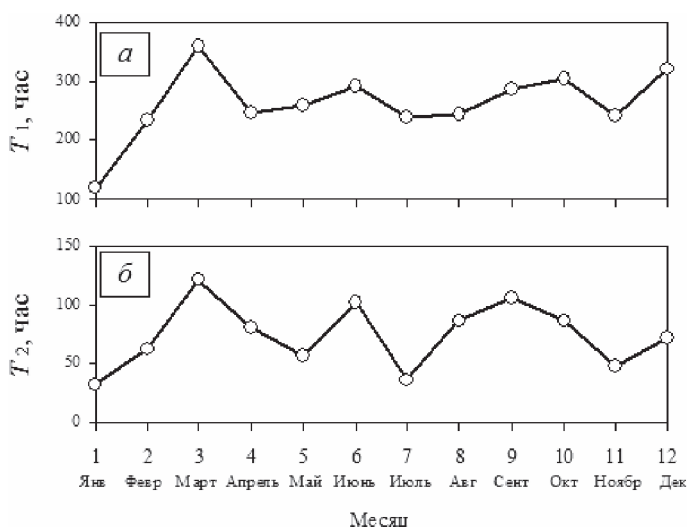


Рис. 5. Продолжительность по месяцам геомагнитных возмущений с $K \geq 4$ (а) и магнитных бурь с $K = 5$ и 6 (б) за период 2010–2015 гг. на ГФО МНУ

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН IV.8 (проект 0146-2015-0011 "Взаимодействие и преобразование геофизических полей на границе земная кора-атмосфера") в части обработки геофизических данных.

Литература

- Адушкин В.В., Овчинников В.М., Санина И.А., Ризниченко О.Ю. «Михнево»: от сейсмостанции № 1 до современной геофизической обсерватории // Физика Земли. 2016. № 1. С. 108–119.
- Афанасьева В.И., Шевнин А.Д. Некоторые статистические характеристики магнитной активности // Геомагнитная активность и ее прогноз. М.: Наука, 1978. С. 5–33.
- Беляев Г.Г., Чмырев В.М., Клейменова Н.Г., Козырева О.В. Электромагнитный ультранизкочастотный фон мегаполиса (г. Москва) // Геомагнетизм и аэрономия. 2003. Т. 43. № 5. С. 697–701.
- Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир, 2009. 680 с.
- Бондарь Т.Н., Головков В.П., Яковлева С.В. Вековая вариация геомагнитного поля на интервале 1980–2000 гг. // Геомагнетизм и аэрономия. 2003. Т. 43. № 6. С. 854–857.
- Водяников В.В., Гордиенко Г.И., Нечаев С.А., Соколова О.И., Хомутов С.Ю., Яковец А.Ф. Наведенные токи в линиях электропередач по данным геомагнитных вариаций // Геомагнетизм и аэрономия. 2006. Т. 46. № 6. С. 853–858.
- Гвишиани А.Д., Лукьянова Р.Ю. Геоинформатика и наблюдения магнитного поля земли: Российский фрагмент // Физика Земли. 2015. № 2. С. 3–20.
- Головков В.П., Зверева Т.И., Чернова Т.А. Годовая вариация магнитного поля Земли // Геомагнетизм и аэрономия. 2004. Т. 44. № 1. С. 129–134.
- Гордина В.М., Тихоцкий С.А., Щур Д.Ю. О восстановлении гармонического компонента аномалий модуля магнитного поля // Физика Земли. 2006. № 4. С. 69–79.
- Гульельми А.В. Ультранизкочастотные электромагнитные волны в коре и в магнитосфере Земли // Успехи физических наук. 2007. Т. 177. № 12. С. 1257–1276.

Колесник А.Г., Колесник С.А., Побаченко С.В. Электромагнитная экология. Томск: ТМЛ-Пресс, 2009. 336 с.

Леднев В.В. Биологические эффекты крайне слабых переменных магнитных полей: идентификация первичных мишеней // Моделирование геофизических процессов. М.: ОИФЗ РАН, 2013. С. 130–136.

Лобычева И.Ю., Седых П.А. Исследование влияния геомагнитной активности на метеорологические процессы в нижней атмосфере // Физика геосфер. Владивосток: Дальнаука, 2015. С. 334–338.

Мартынюк В.С., Цейслер Ю.В., Темурьянц Н.А. Интерференция механизмов влияния слабых электромагнитных полей крайне низких частот на организм человека и животных // Геофизические процессы и биосфера. 2012. Т. 11. № 2. С. 16–21.

Мороз Ю.Ф., Мороз Т.А., Смирнов С.Э. Результаты мониторинга вариаций геомагнитного поля на обсерваториях "Магадан" и "Паратунка" // Физика Земли. 2011. № 8. С. 49–61.

Обридко В.Н., Канониди Х.Д., Митрофанова Т.А., Шельтинг Б.Д. Солнечная активность и геомагнитные возмущения // Геомагнетизм и аэрономия. 2013. Т. 53. № 2. С. 157–166.

Светов Б.С., Каринский С.Д., Кукса Ю.И., Одинцов В.И. Магнитотеллурический мониторинг геодинамических процессов // Физика Земли. 1997. № 5. С. 36–46.

Сомсиков В.М., Андреев А.Б., Жумабаев Б.Т., Соколова О.И. Анализ суточной динамики спектра вариаций геомагнитного поля // Геомагнетизм и аэрономия. 2011. Т. 51. № 1. С. 68–72.

Троицкая В.А., Гульельми А.В. Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы // Успехи физических наук. 1969. Т. 97. Вып. 3. С. 453–464.

Черешнев В.А., Гамбурцев А.Г., Сигачев А.В., Верхотурова Л.Ф., Горбаренко Е.В., Гамбурцева Н.Г. Внешние воздействия – стрессы-заболеваемость. М.: Наука, 2016. 168 с.

Экология человека в изменяющемся мире / Колл. авторов. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 570 с.

Fraser-Smith A.C. The spectrum of the geomagnetic activity index A_p / Technical report No. 1. Stanford University. Radioscience laboratory, 1971. 172 p.

Glasmeyer K.-H., Soffel H., Negendank J.F.W. Geomagnetic field variations. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, 2009. 425 p.

Rangarajan G.K., Iyemori T. Time variations of geomagnetic activity indices K_p and A_p : an update // Ann. Geophysicae. 1997. Vol. 15. P. 1271–1290.