

Спектры суточных вариаций геомагнитного поля

И. И. Рокитянский, А. В. Терешин, 2019

Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 9 июля 2019 г.

У результаті спектрального аналізу часових рядів геомагнітного поля з дискретністю 60 с (дані мережі Intermagnet) і тривалістю, наприклад, 1 рік ($31 \cdot 10^6$ с) отримуємо середньорічний амплітудний спектр на періодах приблизно від 500 до $5 \cdot 10^6$ с, на якому бачимо безперервну частину (континуум-спектр) і вузькі лінії на добовому періоді $T_0 = 86\,400$ с та його гармоніках з періодами $T = E_0 / n$, де $n = 2 \div 7$. Досліджено добову лінію спектра і її гармоніки. Розглянуто середньорічні спектри добових варіацій геомагнітного поля обсерваторій мережі Intermagnet у Північній Америці і середньосезонні спектри п'яти обсерваторій, що визначають високі, середні та низькі геомагнітні широти обох півкуль. На навколополюсних високих геомагнітних широтах спостерігають тільки добову гармоніку, на геомагнітному екваторі — сім гармонік, у зоні полярних сяїв на середніх широтах — проміжну кількість гармонік від двох до семи. Амплітуда максимальна у високих широтах (50—80 нТл), менша — на геомагнітному екваторі (≈ 40 нТл) і ще менша на середніх широтах (10—15 нТл). Ці результати добре узгоджуються з відомими даними щодо добових варіацій. Використано подання гармонік добового періоду спектральними лініями, що дає змогу легко і наочно відслідковувати особливості добових варіацій та їх зміни як за даними окремих обсерваторій, так і за синхронними даними багатьох обсерваторій. Становить інтерес новий науковий результат — виявлено розширення спектральної лінії добової гармоніки з вересня по лютий, яке відсутнє з березня по серпень для всіх трьох розглянутих років (2009—2011) на всіх п'яти обсерваторіях. Це не сезонна варіація, оскільки вона рівною мірою спостерігається на обсерваторіях і Північної, і Південної півкуль, в яких сезони знаходяться у протифазі. Можна вважати, що це явище пов'язане з певною орієнтацією Землі в космічному просторі щодо деякого фактора, що розширює добову спектральну лінію. Припущено, що таким фактором може бути абсолютний рух Землі, утворений ієрархією космологічних обертань. Подано короткий огляд літератури щодо визначення параметрів абсолютного руху.

Ключові слова: добові геомагнітні варіації, гармоніки добових варіацій, абсолютний рух Землі.

Введение. При изучении вариаций вектора индукции в Северной Америке [Бабак и др., 2014] авторы на каждой обсерватории исследовали параметры полного зарегистрированного геомагнитного поля, в частности спектры в широком диапазоне периодов. Было замечено, что на высокоширотных обсерваториях наблюдается только одна спектральная линия на суточном периоде T_0 , тогда как южнее, особенно на среднеширотных обсерваториях, наблюдаются также и **гармоника** су-

точного периода T_0/n , где $n = 2, 3$, иногда к ним добавляются еще 4, 5 и в некоторых зонах — 6 и 7 гармоника.

На рис. 1 обсерватории расположены в порядке убывания их геомагнитной широты. Первые три обсерватории THL, ALE и RES расположены близ геомагнитного полюса в пределах $7,5^\circ$ от него, на них наблюдается только суточная линия без гармоник и преобладание горизонтальных компонент над вертикальной. Следующие две обсерватории IQA и BLC находятся в се-

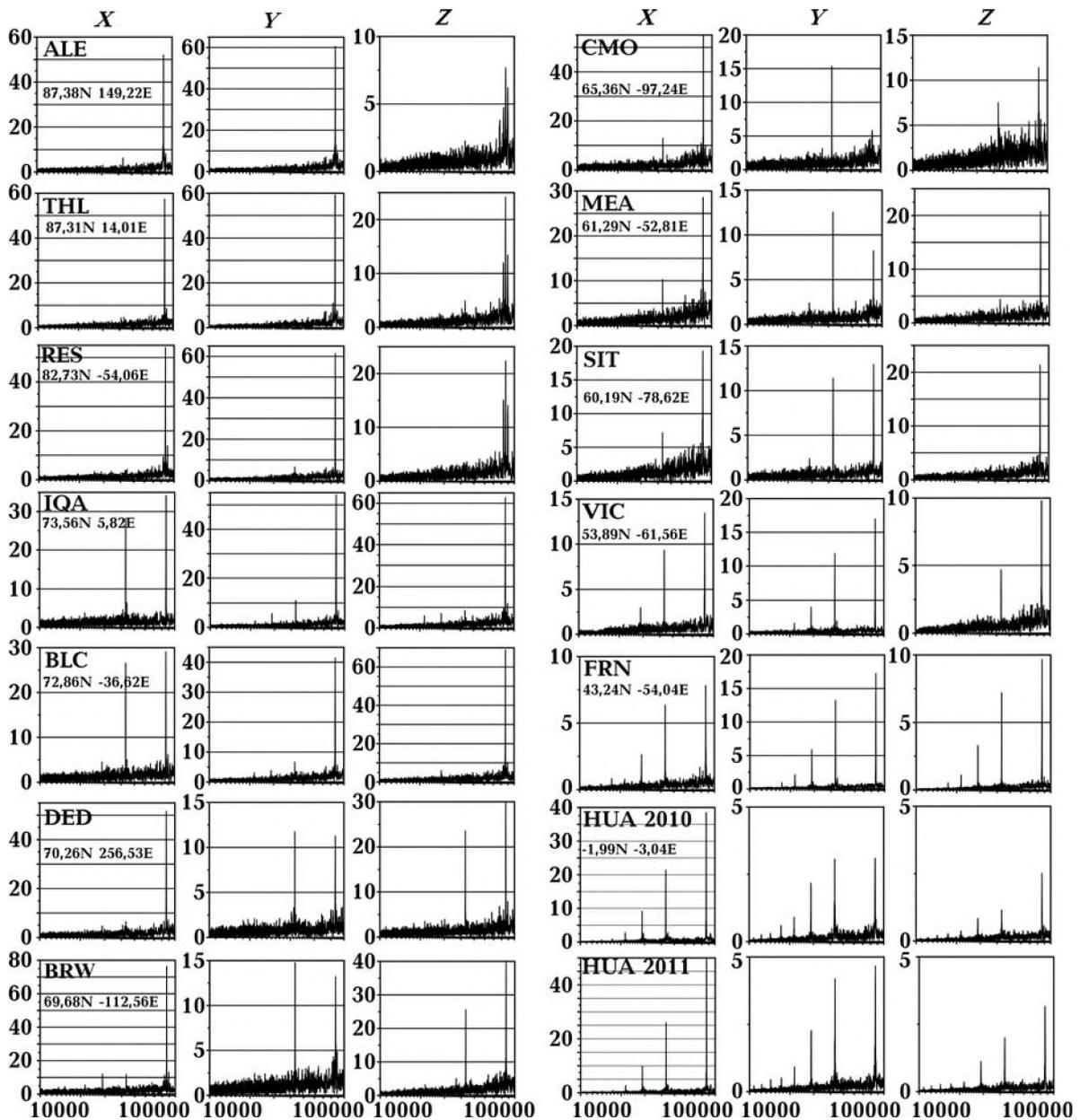


Рис. 1. Среднегодовые спектры геомагнитного поля на обсерваториях Северной Америки для диапазона периодов 10^4 — 10^5 с по данным 2001 г. (для обсерватории HUA в Южной Америке спектр дан для 2010 и 2011 г.). В левом столбце приведены международный код обсерватории и ее геомагнитные координаты. По оси абсцисс отложен период от 10^4 до 10^5 с в логарифмическом масштабе, по оси ординат — амплитуда (нТл) в линейном масштабе; X , Y , Z — северная, восточная и вертикальная компоненты геомагнитного поля.

веро-восточной части Канады в полярной шапке близ зоны полярных сияний, где протекают интенсивные нестабильные ионосферные токи широтного простираения. Их спектры почти одинаковы: на X -компоненте вторая гармоника близка по амплитуде к первой, на Y - и Z -компонентах первая

гармоника доминирует. Четыре станции DED и BRW (а также YKS и FCC, не включенные в рисунок) растянуты на 2500 км от севера Аляски до Гудзонова залива. Для этой зоны также характерна высокая конформность спектров: на X -компоненте первая гармоника доминирует (вторая и тре-

твля на порядок меньше), на Y - и Z -компонентах первая и вторая гармоники примерно равновелики (и других гармоник нет). Спектры следующих трех станций похожи на спектры предыдущей группы, но со своими особенностями: на Y -компоненте вторая гармоника в 2,8 и 1,6 раз больше первой гармоники на станциях СМО и МЕА соответственно.

В средних широтах амплитуда суточных гармоник уменьшается и их спектр в основном (с некоторыми исключениями) имеет "правильную" форму: максимальная амплитуда у первой гармоники и убывание амплитуды с повышением порядка гармоники. Такое поведение характерно для всех 12 среднеширотных обсерваторий Северной Америки, из которых на рисунке представлены только две — VIC и FRN.

Поскольку суточные вариации зависят от сезона и максимальны летом [Яновский, 1964; Яременко, 1992; Сумарук и Сумарук, 2004, 2005], авторы исследовали спектры за отдельные сезоны. На рис. 2 представлены результаты пяти обсерваторий, выбранных так, чтобы максимально охватить все геомагнитные широты, включив в их состав украинские обсерватории KIV и AIA. Из полученных данных можно сделать много выводов, приведем наиболее интересные и очевидные.

Расширение спектральной линии суточной гармоники с сентября по февраль и отсутствие расширения с марта по август в течение всех трех рассмотренных годов 2009—2011 на всех пяти обсерваториях. Это не сезонная вариация, поскольку она в равной степени наблюдается на обсерваториях и Северного, и Южного полушарий, в которых сезоны находятся в противофазе. Можно считать, что это явление связано с определенной ориентацией Земли в космическом пространстве относительно некоторого фактора, "размывающего" суточную спектральную линию на более широкую. В качестве такого фактора можно предположить корпускулярный поток от Солнца, распространяющийся вместе с магнитным полем в виде секторной структуры [Витинский 1983] или,

более вероятно, абсолютное движение Земли [Рокитянский, 1995; Rokityansky, 2008].

Абсолютное движение Земли образуется в результате суперпозиции ряда космологических вращений: Земли вокруг Солнца, Солнечной системы вокруг центра масс Галактики, Галактики вокруг своего Аттрактора и т. д. Действие иерархии указанных космологических вращений должно быть различным для право- и левовращающихся систем (киральность нашего мира), а следовательно, и для ионосферномагнитосферных токовых систем, ответственных за суточные вариации геомагнитного поля (см. токовые вихри суточных вариаций в работах [Яновский, 1964, с. 282; Рокитянский, 1981, с. 151]).

Абсолютное движение Земли со среднегодовой скоростью порядка 360 км/с надежно установлено по дипольной части микроволнового фонового излучения [Torres, 1994 и другие работы], менее точно и надежно — по анизотропии потока мюонов в составе космических лучей [Monstein, Wesley, 1996] и по данным лабораторных оптических измерений скорости света в различных направлениях [Маринов, 1991] и еще менее точно — по пространственному распределению проекций на небесную сферу эпицентров нестационарных явлений на Солнце (вспышки, эруптивные протуберанцы, солнечные пятна, полярные факелы) и на Земле (сильнейшие и глубоководные землетрясения) [Ефимов, Шпитальная, 1991]. Абсолютное движение направлено к созвездию Льва. Для земного наблюдателя примерно в этом направлении находится Солнце 10—11 сентября. Через 3 месяца 10 декабря ежегодно орбитальная скорость Земли 30 км/с близка к направлению абсолютного движения Солнца и абсолютное движение Земли увеличивается примерно до 390 км/с, а через полгода уменьшается до 330 км/с (360 ± 30 км/с). Изменение весьма значительное и оно может влиять на многие геофизические процессы. Например, Н.А. Козырев, наблюдая в течение трех лет (1959—1962) причинные связи, фиксируемые по отклонению маятника на вибрирующем

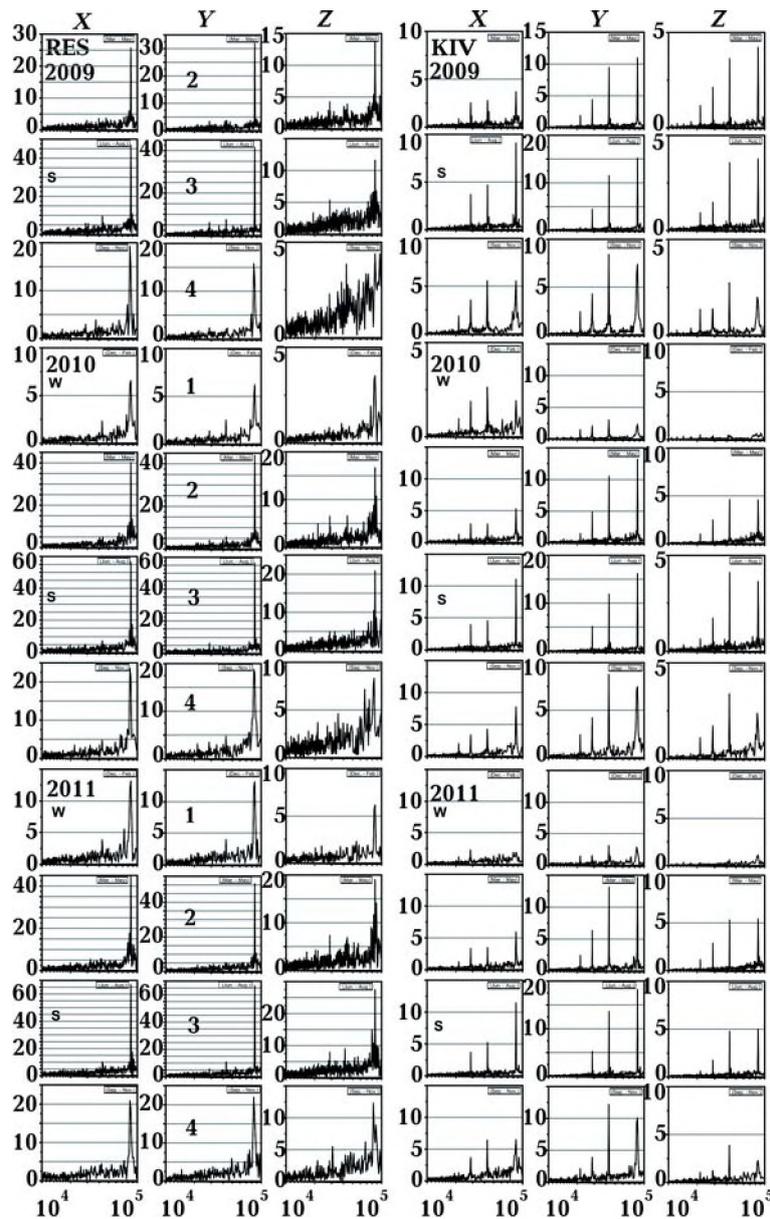


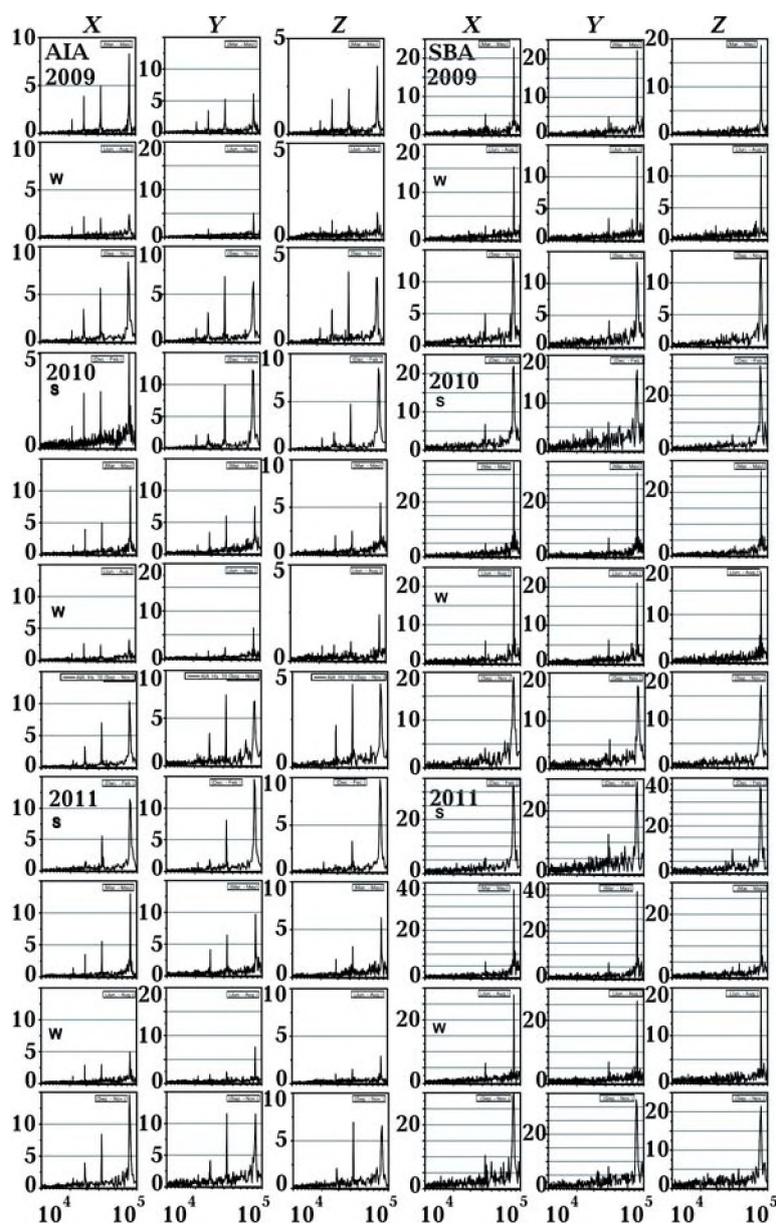
Рис. 2. Среднесезонные спектры геомагнитного поля на пяти обсерваториях Intermagnet по данным 2009—2011 г. Сезон 1: декабрь—февраль (зима в Северном полушарии, лето в Южном полушарии), сезон 2: март—май, сезон 3:

подвесе, получил "странную" закономерность: эффект легче всего возникает в осенне-зимние месяцы с максимумом в декабре и совсем не возникает в весенне-летнее полугодие [Козырев, 1991, с. 310]. Отмеченный нами эффект расширения спектральных линий на суточном периоде имеет такой же сезонный ход. Для уточнения направления на действующий фактор необходимо повысить разрешающую способ-

ность определения спектров, т. е. перейти от среднесезонных определений к среднемесячным и, возможно, к еще более коротким интервалам обработки.

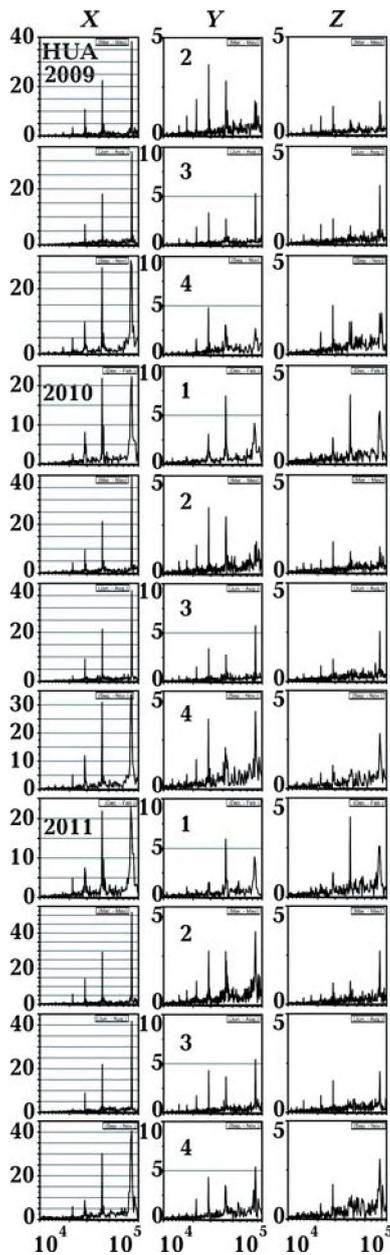
Зависимость от сезона. Амплитуды всех гармоник зависят от сезона. Для амплитуды первой гармоники эта зависимость представлена на рис. 3. На обсерваториях Северного полушария RES и KIV сезонная зависимость очень четкая на горизонталь-

СПЕКТРЫ СУТОЧНЫХ ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ



июнь—август, сезон 4: сентябрь—ноябрь. Буква W обозначает локальную зиму (Winter), S — локальное лето (Summer). Обозначения X, Y, Z и параметры осей такие же, как на рис. 1. В таблице даны координаты обсерваторий.

Code	Station	Geom. lat.	Geom. long.	Geogr. lat.	Geogr. long.	Processed
RES	Resolute Bay	82,61	- 51,49	74,69	265,1	1992—2014
KIV	Kiev	47,43	113,47	50,72	30,3	2009—2014
HUA	Huancayo	- 2,31	- 2,59	- 12,038	284,68	2002—2016
AIA	Argentine Islands (Akademik Vernadsky base)	- 55,24	5,82	- 65,3	295,7	2001—2014
SBA	Scott Base	- 78,91	- 71,34	- 77,8	166,8	1996—2014



Окончание рис. 2.

ных компонентах: максимум амплитуды летом, глубокий минимум зимой и промежуточные значения в периоды равноденствий — такую сезонную зависимость будем называть нормальной. Подобным образом, но менее четко ведет себя вертикальная компонента на этих обсерваториях. В Южном полушарии на обсерватории АИА компоненты Y и Z имеют нормальную сезонную зависимость, на X -компоненте отмечаются отклонения от регу-

лярного поведения. На обсерватории SBA сезонные экстремумы горизонтальных компонент сдвинуты на сезоны равноденствия, на Z -компоненте зимние минимумы тоже сдвинуты в сторону весны, но максимумы наблюдаются в нормальное время — местным летом. Причиной такого сложного поведения является зависимость от геомагнитной активности (см. ниже), а также неоднородности распределения электропроводности Земли, асимметрия магнитного поля Земли, космические воздействия. Сезонные вариации более высоких гармоник в среднем такие же, как и у первой гармоники, но с большими нерегулярностями в средних и высоких широтах.

Экваториальная обсерватория HUA. На магнитном экваторе проводимость ионосферы в широтном направлении в полуденное время увеличивается в 10—20 раз по сравнению с прилегающими широтами от 2 до 15° [Рокитянский, 1981; Яременко, 1992]. В итоге суточная вариация X -компоненты увеличивается в 3—4 раза по сравнению с прилегающими среднеширотными обсерваториями, поведение X -компоненты отличается стабильностью и ее вторая гармоника имеет относительно большую величину. Суточные вариации Y - и Z -компонент остаются малыми и весьма нестабильно изменяются от сезона к сезону. В HUA весьма четко прослеживаются все 7 гармоник, что особенно хорошо видно на среднегодовых спектрах, представленных на рис. 1 внизу справа для 2010 и 2011 г. На X -компоненте последние гармоники еле видны из-за сжатой шкалы, но хорошо видны на двух других компонентах с растянутой вертикальной шкалой. Следует отметить, что обсерватория HUA расположена между двумя очень крупными проводниками — глубоководным Перуанским желобом и верхнемантийной Андской аномалией электропроводности [Рокитянский, 1975], которые имеют достаточно высокую интегральную проводимость, чтобы создавать аномальные поля на суточном периоде и тем более на его гармониках. Этот факт создает определенные особенности в поведении суточных гармо-

ник, в частности асимметрию их сезонных изменений [Рокитянский, 1981]. В последней работе на с. 151 изображены токовые вихри в ионосфере, ответственные за суточные вариации, а на с. 136–149 — карты коэффициентов поля S_q за лето и зиму 1958 г.

Зависимость от геомагнитной активности. На рис. 3 приведены K_p -индексы и числа Вольфа W . Следует отметить, что 2009 г. характеризуется исключительно низкой солнечной активностью, в последующие годы происходило увеличение солнечной активности (вхождение в 24-й цикл солнечной активности) и геомагнитной активности. На всех обсерваториях наблюдается увеличение амплитуды суточных гармоник. Рассмотрим характер изменения K_p . В эти два года в декабре наблюдался весьма глубокий минимум K_p , что должно понижать и суточные гармоники. И они понижались: в RES и KIV это привело к углублению зимнего минимума; в HUA — близ экватора, где сезонных изменений не должно было быть, зимой образовались минимумы; в SBA и AIA на нескольких компонентах летний максимум понижен, а зимний минимум повышен, что, вероятно, и привело к смещению экстремумов вправо в сезоны равноденствия.

Заключение. На самых высокоширотных обсерваториях преобладает первая гармоника, гармоника второго порядка значительно меньше по амплитуде и часто не наблюдается вообще (точнее, не выходит за пределы фона, образованного континуум-спектром и помехами).

При приближении к зоне полярных сияний суточная вариация обусловлена двумя противоположно направленными ионосферными токовыми вихрями с электроджетами, направленными навстречу друг другу. При возникновении полярных возмущений возникает третий электроджет. В итоге здесь наблюдается узкая зональность и нестабильность суточной вариации.

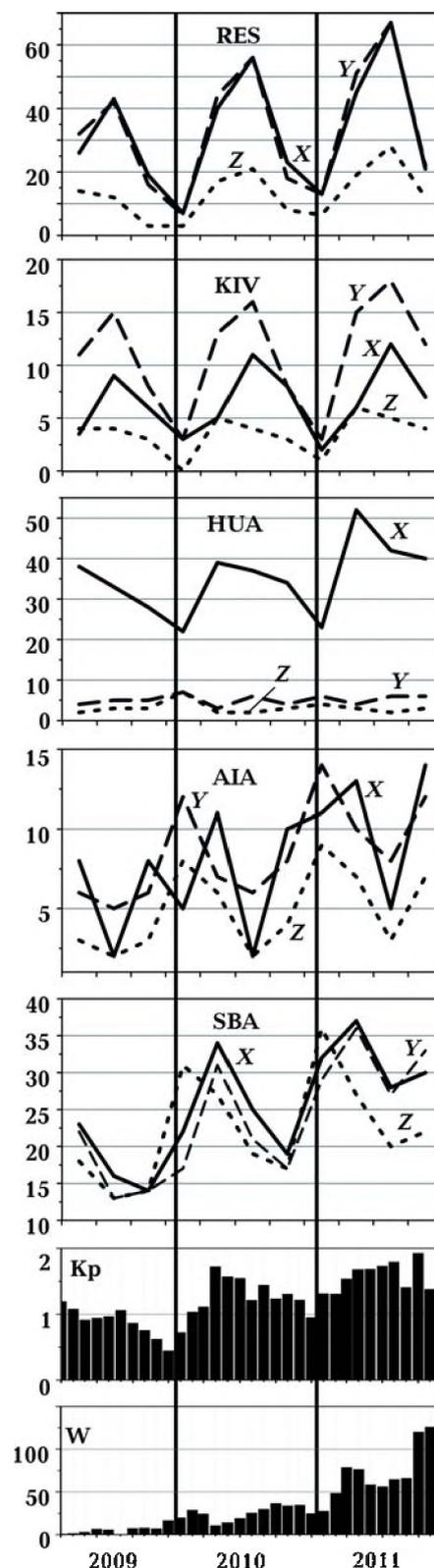


Рис. 3. Изменение среднесезонных амплитуд первой гармоники суточных вариаций с марта 2009 по ноябрь 2011 г. для трех компонент геомагнитного поля: X направлена на север, Y — на восток, Z — вертикально вниз. Внизу приведены среднемесячные индексы геомагнитной активности K_p и индексы солнечной активности W (количество солнечных пятен за месяц).

ции и ее гармоник, их амплитуда достигает 50—80 нТл.

При выходе в средние широты амплитуда суточных гармоник уменьшается до 10—15 нТл, более высокие гармоники присутствуют обычно с убывающей амплитудой, но иногда вторая гармоника имеет большую амплитуду, чем первая.

В районе экваториального электродрожжа амплитуда X -компоненты первой гармоники увеличена примерно до 40 нТл и наблюдаются гармоники до седьмого порядка с монотонно убывающей амплитудой.

Эти результаты хорошо согласуются с

известными данными о суточных вариациях. Использованное представление гармоник суточного периода спектральными линиями позволяет легко и наглядно отслеживать особенности суточных вариаций и их изменения как по данным отдельных обсерваторий, так и по синхронным данным многих обсерваторий. Обнаруженное расширение спектральной суточной гармоники с сентября по февраль свидетельствует о том, что формирование суточных вариаций может быть чувствительно к анизотропии нашего мира, возникающей в результате абсолютного движения Земли.

Список литературы

- Бабак В.И., Рокитянский И.И., Терешин А.В. Вариации вектора индукции в Северной Америке. *Геофиз. журн.* 2014. Т. 36. № 6. С. 183—187. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i6.2014.111064>.
- Витинский Ю.А. Солнечная активность. Москва: Наука, 1983, 192 с.
- Ефимов А.А., Шпитальная А.А. О движении Солнечной системы относительно фона Вселенной. *Проблемы исследования Вселенной.* 1991. № 15. С. 345—349.
- Козырев Н.А. Избранные труды. Ленинград: Изд-во Ленингр. ун-та, 1991. 447 с.
- Маринов С. Оптические измерения абсолютной скорости Земли. *Проблемы исследования Вселенной.* № 15. 1991. С. 357—364.
- Рокитянский И.И. Абсолютное движение как источник возникновения причинных сил. *Доп. НАН України.* 1995. № 10. С. 76—80.
- Рокитянский И.И. Индукционные зондирования Земли. Киев: Наук. думка, 1981. 291 с.
- Рокитянский И.И. Исследование аномалий электропроводности методом магнитовариационного профилирования. Киев: Наук. думка, 1975. 279 с.
- Сумарук Т.П., Сумарук Ю.П. Про джерела S_q -варіацій геомагнітного поля в середніх широтах. *Геофиз. журн.* 2005. Т. 27. № 2. С. 299—303.
- Сумарук Т.П., Сумарук Ю.П. Про рівень відліку поля нерегулярних магнітних варіацій в середніх широтах. *Геофиз. журн.* 2004. Т. 26. № 6. С. 139—146.
- Яновский Б.М. Земной магнетизм. Т. 1. Ленинград: Изд-во Ленингр. ун-та, 1964. 445 с.
- Яременко Л.Н. Суточные геомагнитные вариации. Киев: Наук. думка, 1992. 138 с.
- Monstein, C., & Wesley, J.P. (1996). Solar system velocity from muon flux anisotropy. *Apeiron*, 3(2), 33—37.
- Rokityansky, I.I. (2008). Absolute motion as the basis of Kozyrev's theory of time. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 43(4), 461—469. <https://doi.org/10.1556/AGeod.43.2008.4.7>.
- Torres, S. (1994). Cosmological implications of COBE's results. *Astrophysics and space science*, 214(1/2), 115—126. <https://doi.org/10.1007/BF00982329>.

Spectra of the geomagnetic field diurnal variations

I. I. Rokityansky, A. V. Tereshyn, 2019

Spectral analysis of the geomagnetic field time series with the discreteness of 60 s (Intermagnet data) and a duration of, for example, 1 year ($31 \cdot 10^6$ s) yields an average-annual amplitude spectrum over periods from approximately 500 s to $5 \cdot 10^6$ s. The spectrum consists of the continuous part (continuum spectrum) and narrow lines at the diurnal period $T_0 = 86\,400$ s and its harmonics with periods $T = E_0/n$, where $n = 2 \div 7$. The subject of this work is the diurnal line of the spectrum and its harmonics. The average-annual spectra of the geomagnetic field diurnal variations of 32 Intermagnet observatories in North America were calculated. Also the average-seasonal spectra of five observatories, which represent high, medium and low geomagnetic latitudes of both northern and southern hemispheres were obtained. At the near-pole high geomagnetic latitudes, only the daily harmonic T_0 is observed, at the geomagnetic equator 7 harmonics are observed, in the aurora zone and middle latitudes — an intermediate number of harmonics: from two to seven. The amplitude is maximal at high latitudes (50—80 nT), less at the geomagnetic equator (≈ 40 nT), and quite minor at middle latitudes (10—15 nT). These results are in good agreement with the known data on diurnal variations. The used representation of the harmonics of diurnal period by spectral lines makes it easy and clearly to track the features of diurnal variations and their changes both according to the data of individual observatories and synchronous data of many observatories. An interesting new scientific result is the detected widening of the diurnal harmonic spectral line from September to February and the absence of the widening from March to August for all three considered years 2009—2011 at all five observatories. This is not a seasonal variation, since it is equally observed at observatories in both the northern and southern hemispheres, in which the seasons are in antiphase. We can assume that this phenomenon is associated with a certain orientation of the Earth in outer space relative to some factor that changes the daily spectral line to a wider one. The absolute motion of the Earth, formed by a hierarchy of cosmological rotations, is supposed as such a factor. A brief review of the literature on the determination of the parameters of absolute motion is given.

Key words: diurnal geomagnetic variations, harmonics of diurnal variations, absolute motion.

References

- Babak, V. I., Rokityansky, I. I., & Tereshin, A. V. (2014). Variations of induction vector in North America. *Geofizicheskiy zhurnal*, 36 (6), 183—187. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i6.2014.111064> (in Russian).
- Vitinsky, Yu. A. (1983). *Solar activity*. Moscow: Nauka, 192 p. (in Russian).
- Efimov, A. A., & Shpitalnaya, A. A. (1991). On the motion of the solar system relative to the background of the universe. *Problemy issledovaniya Vselennoy*, (15), 345—349 (in Russian).
- Kozyrev, N. A. (1991). *Selected Works*. Leningrad: Publ. House Leningrad University, 444 p. (in Russian).
- Marinov, S. (1991). Optical measurements of the absolute velocity of the Earth. *Problemy issledovaniya Vselennoy*, (15), 357—364.
- Rokityansky, I. I. (1995). Absolute movement as a source of causal forces. *Dopovidi NAN Ukrainy*, (10), 76—80 (in Russian).
- Rokityansky, I. I. (1981). *Earth Induction Sensing*. Kiev: Naukova Dumka, 291 p. (in Russian).
- Rokityansky, I. I. (1975). *The study of conductivity anomalies by magnetovariational profiling*. Kiev: Naukova Dumka, 279 p. (in Russian).

- Sumaruk, T. P., & Sumaruk, Yu. P. (2005). On the sources of S_q -variations of the geomagnetic field at mid latitudes. *Geofizicheskiy zhurnal*, 27(2), 299—303 (in Ukrainian).
- Sumaruk, T. P., & Sumaruk, Yu. P. (2004). On the reference level of the field of irregular magnetic variations in mid-latitudes. *Geofizicheskiy zhurnal*, 26(6), 139—146 (in Ukrainian).
- Yanovsky, B. M. (1964). *Terrestrial magnetism*. Vol. 1. Leningrad: Publ. House Leningrad University, 445 p. (in Russian).
- Yaremenko, L. N. (1992). *Daily geomagnetic variations*. Kiev: Naukova Dumka, 138 p. (in Russian).
- Monstein, C., & Wesley, J. P. (1996). Solar system velocity from muon flux anisotropy. *Apeiron*, 3(2), 33—37.
- Rokityansky, I. I. (2008). Absolute motion as the basis of Kozyrev's theory of time. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 43(4), 461—469. <https://doi.org/10.1556/AGeod.43.2008.4.7>.
- Torres, S. (1994). Cosmological implications of COBE's results. *Astrophysics and space science*, 214(1/2), 115—126. <https://doi.org/10.1007/BF00982329>.