

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 6, Number 408 (2014), 35 – 40

ON VARIATIONS OF THE GEOMAGNETIC FIELD**A. Sharapatov**

Kazakh National Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: sharapatovich@mail.ru

Key words: geomagnetic field variations, daily, annual and secular variations, the causes of variations.**Abstract.** The variations of elements (X, T) of the geomagnetic field, according to the INTERMAGNET international network of stations and geomagnetic observatory "Alma-Ata", are quantitatively processed and analyzed. Common patterns of variations with different periods, especially daily, annual and secular variations of the geomagnetic field, as well as their causes, including alleged, are identified.

УДК 550.38

О ВАРИАЦИЯХ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ**А. Шарапатов**

Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: вариации геомагнитного поля, суточные, годовые и вековые вариации, причины возникновения вариации.**Аннотация.** Проанализированы вариации компонент геомагнитного поля по данным международной сети станций INTERMAGNET и геомагнитной обсерватории «Алма-Ата». Выделены закономерности вариаций с разными периодами, особенности суточной, годовой и вековой вариаций геомагнитного поля, обсуждаются причины их возникновения.**Введение.** В геонауках, в частности в геофизике, важная роль отводится наблюдениям за физическими полями (поле ядерных излучений, тепловое, магнитное) Земли. Полученные наземные, дистанционные данные применяются в климатологии, экологии, геологии и других науках о Земле. В настоящее время наземный мониторинг магнитного поля Земли (МПЗ) проводит мировая сеть геомагнитных обсерваторий (INTERMAGNET) в которую входит и обсерватория «Алма-Ата». В задачах общей геофизики (геомагнетизма) количественный анализ магнитных данных позволяет оценить влияние на геомагнитное поле Солнца и Луны, изучать связь с ионосферными процессами [1], а также с литосферными процессами [2]. В разведочной геофизике (магниторазведке) существуют необходимость учета градиента, вариаций магнитного поля и определения уровня нормальных значений МПЗ для геопрогнозных территорий.**Регулярные суточные и нерегулярные вариации геомагнитного поля.** Данные на рисунке 1 показывают регулярные (спокойные) суточные вариации, которые периодически нарушаются нерегулярными вариациями (геомагнитными возмущениями) разной интенсивности. В 2013 году, геомагнитные возмущения наиболее часто нарушали спокойные суточные вариации X-компоненты в феврале, марте и августе, и менее часто – в сентябре, когда спокойные суточные вариации были видны наиболее четко. В настоящее время хорошо известно, что спокойные магнитные вариации наблюдаются при отсутствии геоэффективных возмущений на Солнце, строго периодичны во времени и обусловлены суточным вращением Земли, ее движением по орбите, расположением Луны по отношению к горизонту (лунными приливами) [1, 3].

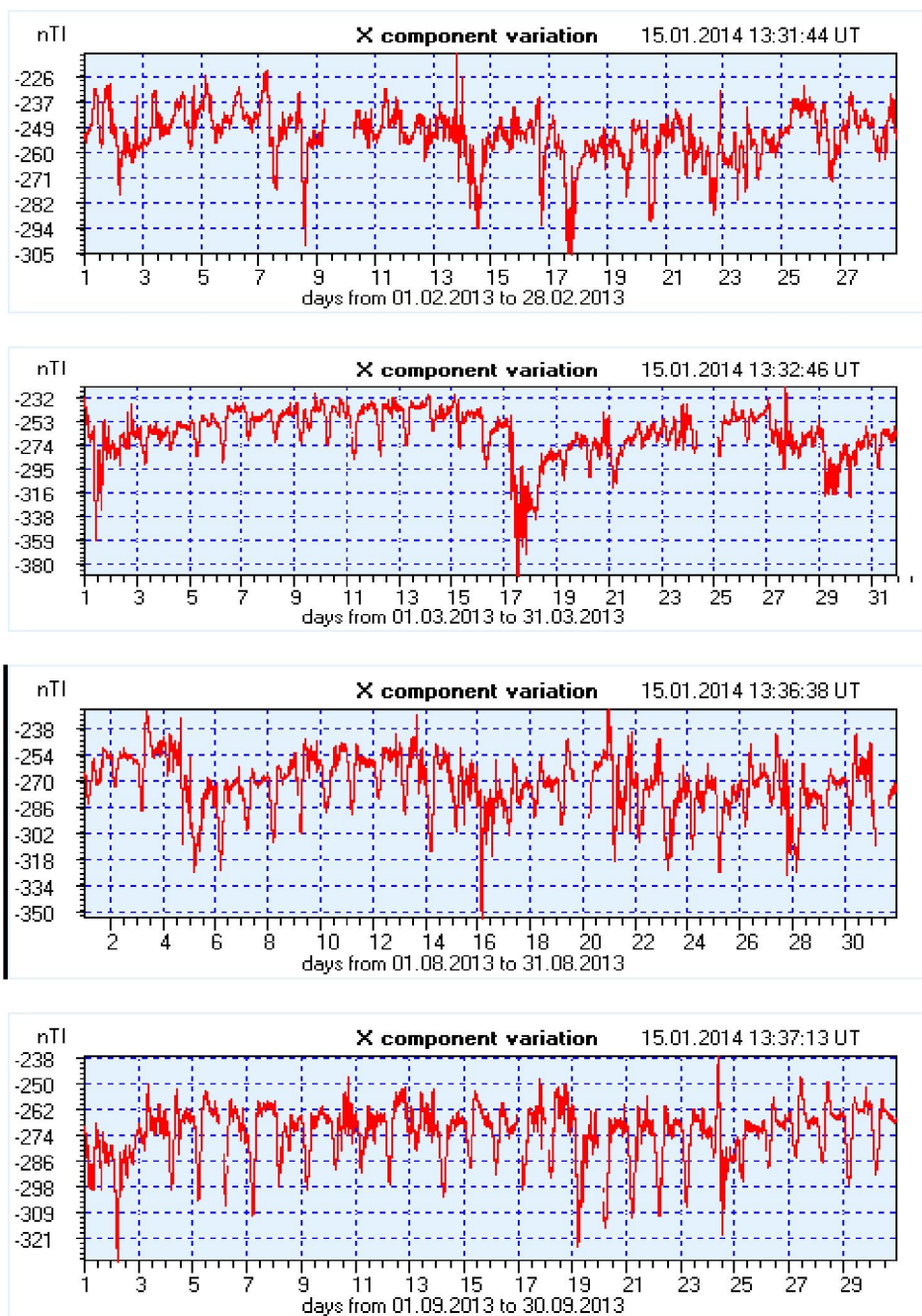


Рисунок 1 – Вариации северной (X) – компоненты геомагнитного поля (после удаления базового значения 24000 нТл) для четырех месяцев 2013 г. – февраль, март, август и сентябрь по данным обсерватории «Алма-Ата»

Процесс ионизации воздуха в верхней атмосфере (термосфере) под воздействием волнового излучения Солнца создает заряженный слой атмосферы (ионосферу) и одновременно разогревает термосферу, что приводит к возникновению на высотах ионосферы регулярных, в пределах солнечных суток, крупномасштабных систем ветров. Эти ветры заставляют электропроводящую среду (ионосферу) двигаться в магнитном поле Земли, что приводит к генерации на высотах 90–150 км электрических токов. Эти токи и создают спокойные солнечно-суточные (Sq) вариации [1, 3]. На средних широтах амплитуда этих вариаций достигает ~ 50 нТл, что видно и по данным на рисунке 1, а на магнитном экваторе в дневные часы амплитуда Sq-вариаций может увеличиваться до 200 нТл (экваториальная электроструя).

Нерегулярные вариации геомагнитного поля (возмущенные вариации) связаны с нерегулярными процессами на Солнце [1]. В период активных процессов на Солнце, сопровождаемых солнечными вспышками, происходит выделение 10^{26} – 10^{27} Дж энергии за сравнительно короткое время порядка 2000 секунд. Выделение энергии сопровождается увеличением интенсивности ионизирующего излучения в рентгеновском и ультрафиолетовом диапазонах длин волн, генерацией ударных волн и выбросом в межпланетную среду облаков плазмы (солнечных магнитных облаков), которые могут распространяться даже за пределы земной орбиты. Внезапное усиление ионизирующего излучения производит избыточную ионизацию в ионосфере на высотах 90–150 км, усиливая токи Sq-вариаций на освещенной полусфере Земли. Вариометрами это регистрируется как импульсное изменение магнитного поля на ~ 10 нТл и длительностью ~ 30 мин. Подход межпланетной ударной волны, за фронтом которой повышены значения плотности и скорости солнечного ветра, приводит к сжатию магнитосферы и усилению электрических токов на магнитопаузе. Такие импульсные положительные увеличения поля охватывают весь земной шар, достигают на экваторе нескольких десятков нТл. На рисунке 1 также видны случаи импульсных увеличений X-компоненты поля. Наиболее яркими являются события 14 февраля, 17 марта, 3 и 21 августа, 24 сентября 2013 года.

Иногда за такими внезапными импульсными увеличениями поля следуют большое уменьшение интенсивности поля (главная фаза геомагнитной бури). Главная фаза бури с продолжительностью от 3 до 20 часов начинается тогда, когда плазменное облако от Солнца достигнет магнитосферы. Эта фаза характеризуется последовательностью взрывообразных процессов, которые называются суббури. Они обусловлены вводом в магнитосферу потока энергии и плазмы из межпланетной среды. Из падающего на магнитосферу потока солнечной корпускулярной энергии, которая составляет порядка $\sim 10^{13}$ Вт, внутрь магнитосферы передается 1–5%. Часть энергии приводит к сжатию магнитосферы в подсолнечной точке; часть энергии вместе с веществом (заряженными частицами (протонами, электронами) солнечного ветра) проникает внутрь магнитосферы. По данным на рисунке 1 можно заключить, что наиболее четко главная фаза геомагнитной бури была выражена 17 марта 2013 г. В общем, во время магнитной бури возмущения магнитного поля на поверхности Земли имеют величину менее или порядка 1% от величины общего геомагнитного поля. Частота появления умеренных и сильных бурь на Земле имеет корреляцию с 11-летним циклом солнечной активности: при средней частоте около 30 бурь в год их число может составлять 1–2 бури в год вблизи солнечного минимума и достигать 50 бурь в год вблизи солнечного максимума. Самой мощной геомагнитной бурей за всю историю наблюдений была геомагнитная буря в 1859 году. За период с 1976 по 2000 гг. зарегистрировано 798 магнитных бурь. Сильные магнитные бури в среднем наблюдаются один раз в 25 лет, а экстремально сильные – такие, как буря 1859 года наблюдаются не чаще одного раза в 500 лет.

Помимо отмеченных регулярных возмущений (солнечно-суточных) и нерегулярных (геомагнитных бурь), в вариациях геомагнитного поля присутствуют и более короткопериодные колебания (КПК) – микропульсации с периодами от 0,2 до 500 с и амплитудами от 0,1 до 50 нТл. Они существуют как в спокойные, так и в возмущенные периоды. КПК есть следствие различных типов ультранизкочастотных электромагнитных волн, генерирующихся в магнитосфере, ионосфере или проникающих в магнитосферу из солнечного ветра. Периоды КПК определяются как параметрами межпланетной среды, так и резонансными свойствами магнитосферы, иррегулярные пульсации иногда являются характерным признаком начала магнитной суббури.

Годовая и вековая вариации модуля геомагнитного поля. По ежеминутным данным для 2013 г., представленным на сайте <http://www.ionos.kz/?q=geomag>, были определены среднесуточные значения модуля геомагнитного поля T (здесь и далее применяется T вместо F – обозначения модуля геомагнитного поля по данным обсерватории). В графическом виде они показаны на рисунке 2 (черная кривая). Видно, что значения T монотонно увеличиваются с начала до конца 2013 г. Этот рост поля несомненно связан с вековыми вариациями и красная линия на рисунке 2 представляет годовой линейный тренд с уравнением (при использовании осей x , y) следующего вида: $y = 54904.7 + 0.13386 \cdot x$, с коэффициентом корреляции $R = 0.91$ и среднеквадратическим отклонением $SD = 6.37$.

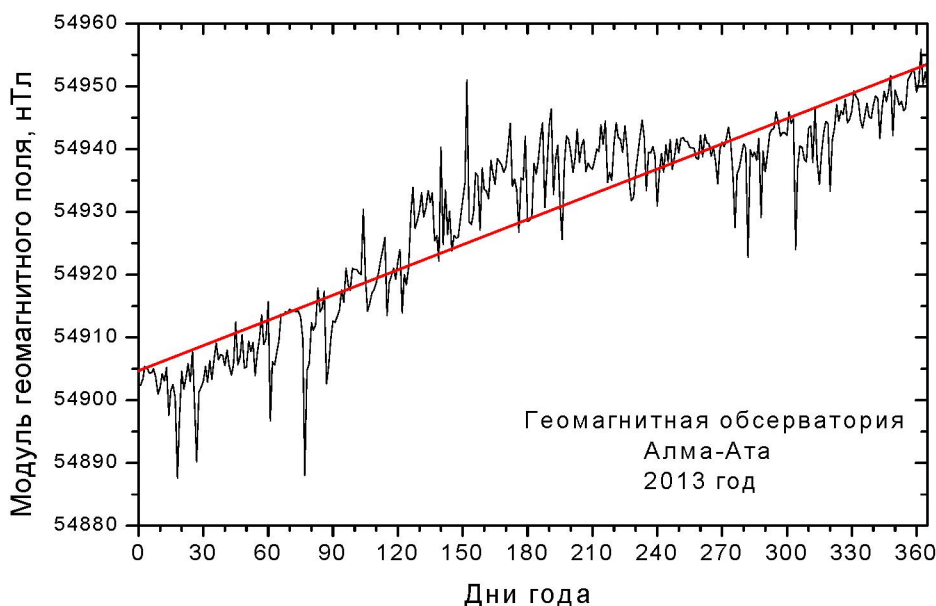


Рисунок 2 – Среднесуточные значения модуля геомагнитного поля в 2013 г., измеренные на геомагнитной обсерватории «Алма-Ата» и линейный тренд

Очевидно, что долговременный тренд характеризует вековую вариацию геомагнитного поля и показывает, что в анализируемый год (2013) вековая вариация геомагнитного поля в Алматы была положительной (поле увеличивалось).

Известно, что величина и знак вековой вариации геомагнитного поля может изменяться и в пространстве, и во времени. Поэтому, чтобы быть уверенным, что линейный тренд (осредняющая линия на рисунке 2) действительно отображает вековую вариацию, приведем на рисунке 3 статистические данные по модулю геомагнитного поля в районе г. Алматы, рассчитанные по эмпирической международной справочной модели геомагнитного поля (International Geomagnetic Reference Field IGRF-11), которая построена по данным многолетних измерений поля на магнитных обсерваториях, самолетах, морских судах и спутниках.

В настоящее время, по IGRF-11 (одиннадцатое поколение модели) можно легко рассчитать параметры геомагнитного поля в любой точке земного шара за период с 1900 г. по настоящее время с использованием он-лайн калькулятора, представленного в сети интернет на сайте <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/>.

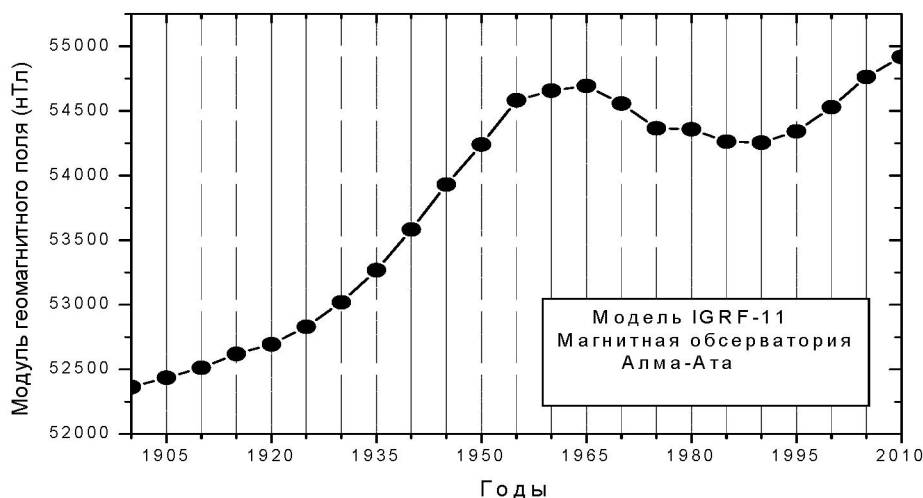


Рисунок 3 – Значения модуля геомагнитного поля на территории города Алматы за период с 1900 по 2010 гг., рассчитанные по эмпирической международной справочной модели геомагнитного поля IGRF-11

Из рисунка 3 видим, что значение модуля геомагнитного поля в регионе Алматы возрастало с 1900 по 1965 гг., затем уменьшалось с 1965 по 1990 гг., а затем вновь стало возрастать. Этот рост продолжается и по настоящий момент, поэтому линейный тренд на рисунке 2, показывающий монотонный рост модуля в 2013 г., характеризует именно вековую вариацию геомагнитного поля в данном регионе. В настоящее время считают, что вековые вариации геомагнитного поля обусловлены процессами в жидком ядре Земли и тесно связаны с механизмом генерации геомагнитного поля электрическим током (движением расплавленного металлического потока) во внешнем жидком ядре Земли.

Если из ломаной кривой на рисунке 2 удалить линейный тренд, то получим значения модуля на обсерватории «Алма-Ата» без вековых вариаций (рисунок 4).

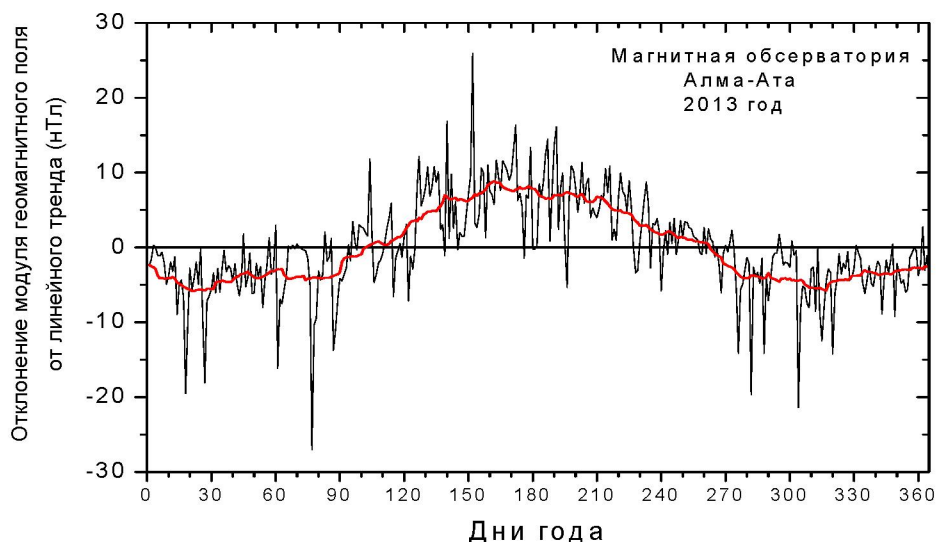


Рисунок 4 – Вариации модуля геомагнитного поля на обсерватории «Алма-Ата» в 2013 году после удаления вековых вариаций. Жирная кривая – вариации, сглаженные методом скользящего среднего по 27 дням

Из рисунка 4 видно, что значения модуля повышены летом по сравнению с зимой – это годовая вариация геомагнитного поля. Для обсерватории «Алма-Ата» амплитуда годовой вариации (разность значений лето-зима) составляет порядка 15 нТл. Известно, что амплитуда годовой вариации геомагнитного поля изменяется с широтой. Разность значений поля лето-зима максимальна в полярных областях, с постепенным уменьшением до нулевых значений по направлению к экватору и идентична как для Северного, так и для Южного полушария. В настоящее время считают, что годовая вариация обусловлена изменением условий освещенности при орбитальном движении Земли. За счет этого изменяются условия ионизации в верхней атмосфере, изменяется скорость ветра на ионосферных высотах в области 90–150 км и в результате амплитуда спокойных солнечно-суточных вариаций изменяется в течение года, что в итоге и проявляется в появлении годовой вариации. Для разных регионов планеты амплитуда годовой вариации бывает разной (от 5 до 30 нТл), а для района г. Алматы в 2013 году составляла величину порядка 15 нТл. Однако, пока что природа годовой вариации понята не полностью [4]. Исследования показывают, что годовая вариация в интенсивности геомагнитного поля наблюдается в различных регионах планеты, но особенно четко она видна в районах вулканической деятельности. Существуют предположения [5-7], что годовая вариация связана с годовыми изменениями температуры земной коры и расположенных в ней намагниченных пород, но эти исследования будут предметом дальнейших работ.

Автор выражает признательность доктору физико-математических наук Г. Я. Хачикян за обсуждение работы, ценные рекомендации, а также руководителю сектора геомагнитных измерений ДТОО «Института ионосферы» О. Н. Соколовой за представление в сети интернет данных наблюдений геомагнитного поля.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Акасофу С.И., Чепмен С. Солнечно-земная физика. – М.: Мир, 1975. – 512 с.
- [2] Хачикян Г.Я., Аширов Б.М., Жакупов Н.С., Алмаханова С.Б., Кадырханова Н.Ж. Границы тектонических плит и геометрия главного магнитного поля Земли // Сборник докладов 7-го Казахстанско-Китайского международного симпозиума «Прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмического риска центральной Азии». – Алматы, 2010. – С. 263-267.
- [3] Яновский Б. М., Учеб. пособие. – Изд. 4-е, перераб. и доп. / Под ред. В. В. Металловой. – Л.: Ленингр. ун-т, 1978. – 592 с.
- [4] Ozima M., Owada T., Toya K. An investigation on seasonal changes in the site difference of the geomagnetic total intensity in volcanic areas // *Kak. Mag. Obs. Tec. Rep.*, 29, 64-76, 1996 (in Japanese).
- [5] Hamano Y., Utada H., Shimomura T., Tanaka Y., Sasai Y., Nakagawa I., Yokoyama Y., Ohno M., Yoshino T., Koyama S., Yukutake T., Watanabe H. Geomagnetic variations observed after the 1986 eruption of Izu-Oshima Volcano // *J. Geomag. Geoelectr.* – 42, 319-336, 1990.
- [6] Utada H., Neki M., Kagiya T. A study of annual variations in the geomagnetic total intensity with special attention to detecting volcanomagnetic signals // *Earth Planets Space*, 52, 91-103, 2000.
- [7] Fukushima H., Uwai T., Kuwashima M. Magnetic observation in Asovolcano // *Kak. Mag. Obs. Tec. Rep.*, 29, 127-134, 1990 (in Japanese).

REFERENCES

- [1] Akasofu S.I., Chapman S. Solnechno-zemnaja fizika. M.: Mir, 1975. 512 s.
- [2] Hachikjan G.Ja., Ashirov B.M., Zhakupov N.S., Almahanova S.B., Kadyrhanova N.Zh. Granicy tektonicheskikh plit i geometrija glavnogo magnitnogo polja Zemli. Sbornik dokladov 7-go Kazahstansko-Kitajskogo mezhdunarodnogo simpoziuma «Prognoz zemletrjasenij, ocenka sejsmicheskoi opasnosti i sejsmicheskogo riska central'noj Azii». Almaty, 2010. S. 263-267.
- [3] Janovskij B. M., Ucheb. posobie. Izd. 4-e, pererab. i dop. Pod red. V. V. Metallovoj. – L.: Leningr. un-t, 1978. 592 s.
- [4] Ozima M., Owada T., Toya K. An investigation on seasonal changes in the site difference of the geomagnetic total intensity in volcanic areas. *Kak. Mag. Obs. Tec. Rep.*, 29, 64-76, 1996 (in Japanese).
- [5] Hamano Y., Utada H., Shimomura T., Tanaka Y., Sasai Y., Nakagawa I., Yokoyama Y., Ohno M., Yoshino T., Koyama S., Yukutake T., Watanabe H. Geomagnetic variations observed after the 1986 eruption of Izu-Oshima Volcano. *J. Geomag. Geoelectr.* 42, 319-336, 1990.
- [6] Utada H., Neki M., Kagiya T. A study of annual variations in the geomagnetic total intensity with special attention to detecting volcanomagnetic signals. *Earth Planets Space*, 52, 91-103, 2000.
- [7] Fukushima H., Uwai T., Kuwashima M. Magnetic observation in Asovolcano. *Kak. Mag. Obs. Tec. Rep.*, 29, 127-134, 1990 (in Japanese).

ГЕОМАГНИТТІК ӨРІСТІҢ ВАРИАЦИЯЛАРЫ ТУРАЛЫ

Ә. Шарапатов

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: геомагниттік өрістің вариациялары, тәуліктік, жылдық және ғасырлық вариациялар, вариациялардың пайда болу себептері.

Аннотация. Халықаралық INTERMAGNET станциялар торы мен оның құрамындағы «Алматы» обсерваториясының мәліметтері бойынша геомагнит өрісі элементтерінің (X, T) вариациялары сандық өңделген, сарапталған. Тәуліктік, жылдық және ғасырлық вариациялардың ортақ заңдылықтары, ерекшеліктері және пайда болуының дәлелденген және болжам себептері келтірілген.

Поступила 27.11.2014 г.