

УДК 550.385.2, 550.380.25

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ СЕЗОННЫХ ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ

© 2019 г. М.В. Оганян<sup>1</sup>, А.О. Симонян<sup>1</sup>, Дж.К. Карапетян<sup>1,2</sup>, А.А. Соловьев<sup>2,3</sup>,  
А.Д. Гвишиани<sup>2,3</sup>, Р.В. Сидоров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова  
Национальной академии наук Республики Армения, г. Гюмри, Республика Армения*

<sup>2</sup> *Геофизический центр РАН, г. Москва, Россия*

<sup>3</sup> *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия*

Исследование посвящено изучению сезонных вариаций земного магнитного поля по изменениям интенсивности его суточных вариаций. Исходные данные были зарегистрированы в пунктах наблюдений модуля полного вектора напряженности геомагнитного поля “Гюлагарак” и “Бавра” (Республика Армения). Выполнено сравнение вариаций, выявленных по данным наблюдений в этих пунктах, с вариациями, проявляющимися в данных близкой по широте магнитной обсерватории Шамбон-ла-Форе (Франция). Также произведено их сравнение с геомагнитными вариациями, проявляющимися в индексах глобальной геомагнитной активности. Результаты сравнения показывают, что по данным геомагнитных наблюдений выделяются годовые вариации, вызванные ионосферной токовой системой и выраженные максимальными значениями интенсивности суточных вариаций в летние месяцы и минимальными в зимние. По индексам геомагнитной активности выделяются полугодовые вариации магнитосферных источников с характерными максимумами в периоды весеннего и осеннего равноденствий. Сравнение солнечно-суточных вариаций по данным станций “Гюлагарак” и “Бавра” показало схожесть их амплитуд в летнее время. Однако продолжительность периода максимальной интенсивности солнечно-суточных вариаций на данных станции “Гюлагарак” на один месяц больше, чем у периода максимальной интенсивности солнечно-суточных вариаций на соответствующих данных станции “Бавра”. Выявленные временные характеристики сезонных вариаций геомагнитного поля согласуются с существующими представлениями о геомагнитных вариациях, обусловленных влиянием внешних источников. Сравнение годовых вариаций, выявленных по данным наблюдений на территории Армении, с годовыми вариациями по данным обсерватории Шамбон-ла-Форе показало сходство основных характеристик исследуемых вариаций. Отмеченные обстоятельства можно рассматривать как научное обоснование целесообразности создания магнитной обсерватории в Гюлагараке.

**Ключевые слова:** геомагнитное поле, сезонные вариации, индексы геомагнитной активности, магнитосфера.

### Введение

Известно, что источниками геомагнитных вариаций являются процессы, протекающие как в недрах нашей планеты, так и в её ионо- и магнитосфере. Во втором случае вариации связаны с воздействием солнечного ветра на магнитное поле Земли; при этом интенсивность вариаций под влиянием внешних источников меняется в зависимости от локального времени, сезона года, а также от активности процессов, протекающих на Солнце.

В сезонной геомагнитной активности прослеживаются годовые и полугодовые вариации. Первые из них (годовые) хорошо отображаются в интенсивности вариаций суточных, максимальные амплитуды которых отмечаются в летние месяцы, минималь-

ные – в зимние. Механизм такой закономерности связан с зависимостью интенсивности вариаций от длительности периода солнечного освещения, зависящей, в свою очередь, от сезона года [Yacob, Rao, 1966; Takeda, 2002; Santarelli et al., 2007]. Исследования, представленные в [Vestine, 1954], показали, что годовые изменения вариаций  $Sq(H)$ <sup>1</sup> следует отнести к процессам, протекающим в ионосфере. Однако в более поздних работах (см., например, [Olsen, 1996]) показано, что на суточные и годовые вариации  $Sq(H)$  оказывают влияние и электрические токи, протекающие в магнитосфере.

При исследованиях геомагнитной возмущенности, представленных в [McIntosh, 1959], в значениях и  $K$ -индекса, и глобальных  $K_p$ - и  $a_p$ -индексов была обнаружена как годовая составляющая сезонных вариаций с выраженными летним максимумом и зимним минимумом, так и полугодовая составляющая, отвечающая за характерные максимумы в периоды равноденствий. Исследование физических причин этих вариаций приводит автора названной работы к выводу, что причиной годовых изменений являются динамо-процессы, протекающие в атмосферном слое.

Для объяснения полугодовых вариаций, выделяемых в основном по сериям индексов геомагнитной активности, могут быть предложены три гипотезы, основанные на двух факторах – самих свойствах солнечного ветра, обтекающего нашу планету, и на его взаимодействии с магнитосферой Земли.

Первая из описывающих механизм возникновения полугодовых вариаций гипотез носит название осевой. Согласно ей в периоды равноденствий, когда Земля находится в высоких гелиографических широтах, ее магнитное поле оказывается под наибольшим воздействием солнечных возмущений [Cliver, Svalgaard, Ling, 2004; Cortie, 1912]. Возможный механизм усиленного воздействия Солнца на магнитное поле Земли в этом случае обусловлен высокой вероятностью захвата большего количества ионов солнечного ветра магнитным полем нашей планеты, когда ее магнитосфера симметрична по отношению к линии Солнце–Земля [Malin, Winch, Işıkara, 1999]. Усиленное влияние солнечных источников на магнитосферу Земли в периоды равноденствий отражается во временных сериях вариаций индексов глобальной геомагнитной активности  $D_{st}$  появлением весеннего и осеннего пиков.

Согласно второй гипотезе, называемой равноденственной, полугодовая геомагнитная активность связана с изменением силы взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли в зависимости от изменения угла между осью геомагнитного диполя и линией Солнце–Земля [McIntosh, 1959].

Третья гипотеза, основанная на эффекте Расселла–Макферрона ( $RMP$ )<sup>2</sup>, объясняет возникновение полугодовых вариаций свойствами солнечного ветра. Согласно этой гипотезе, полугодовые и суточные вариации геомагнитной активности обусловлены направлением эффективной южной компоненты межпланетного магнитного поля (ММП): когда южная компонента направлена внутрь спирали Паркера, наблюдается весенний максимум магнитной возмущенности, когда в противоположную сторону (наружу) – осенний максимум [Russell, McPherron, 1973].

Оценивая вклад всех явлений в наблюдаемые значения геомагнитной активности, авторы работы [Cliver, Kamide, Ling, 2000] относят полугодовые вариации геомагнитной активности в основном к  $RMP$ -эффекту. Поскольку этот эффект зависит как от наклона оси вращения Солнца, так и от наклона земного диполя относительно плоскости эклиптики, его можно рассматривать как объединяющий осевой и равноденственный

<sup>1</sup> Принятое обозначение  $Sq(H)$  происходит от англоязычного *Solar quiet Horizontal component of the geomagnetic field*.

<sup>2</sup> Аббревиатура  $RMP$  образована от имен ученых, обнаруживших этот эффект [Russell, McPherron, 1973].

эффекты. При этом в названной работе отмечается, что большая часть полугодовых вариаций – результат равноденственного эффекта, связанного с изменением угла между направлением потока солнечного ветра и осью земного диполя. Во время солнцестояний эффективность сцепления в системе Солнце–Земля уменьшается.

При проведении исследований, целью которых было выявление и изучение локальных аномалий векового хода на территории Армении [Симомян, Оганян, Хачатрян, 2011, 2012], по среднесуточным значениям модуля геомагнитного поля  $T$ , полученным при режимных наблюдениях, как один из вторичных эффектов были выявлены сезонные вариации геомагнитного поля. При этом максимальные значения интенсивности этих вариаций оказались четко приуроченными к летним месяцам, тогда как зимние месяцы отличались минимальными значениями их интенсивности. Для объяснения механизма выявленных особенностей годовых вариаций в рамках существующих представлений требовался более детальный анализ полученных результатов – ему и посвящена настоящая работа.

### Использованные данные и их анализ

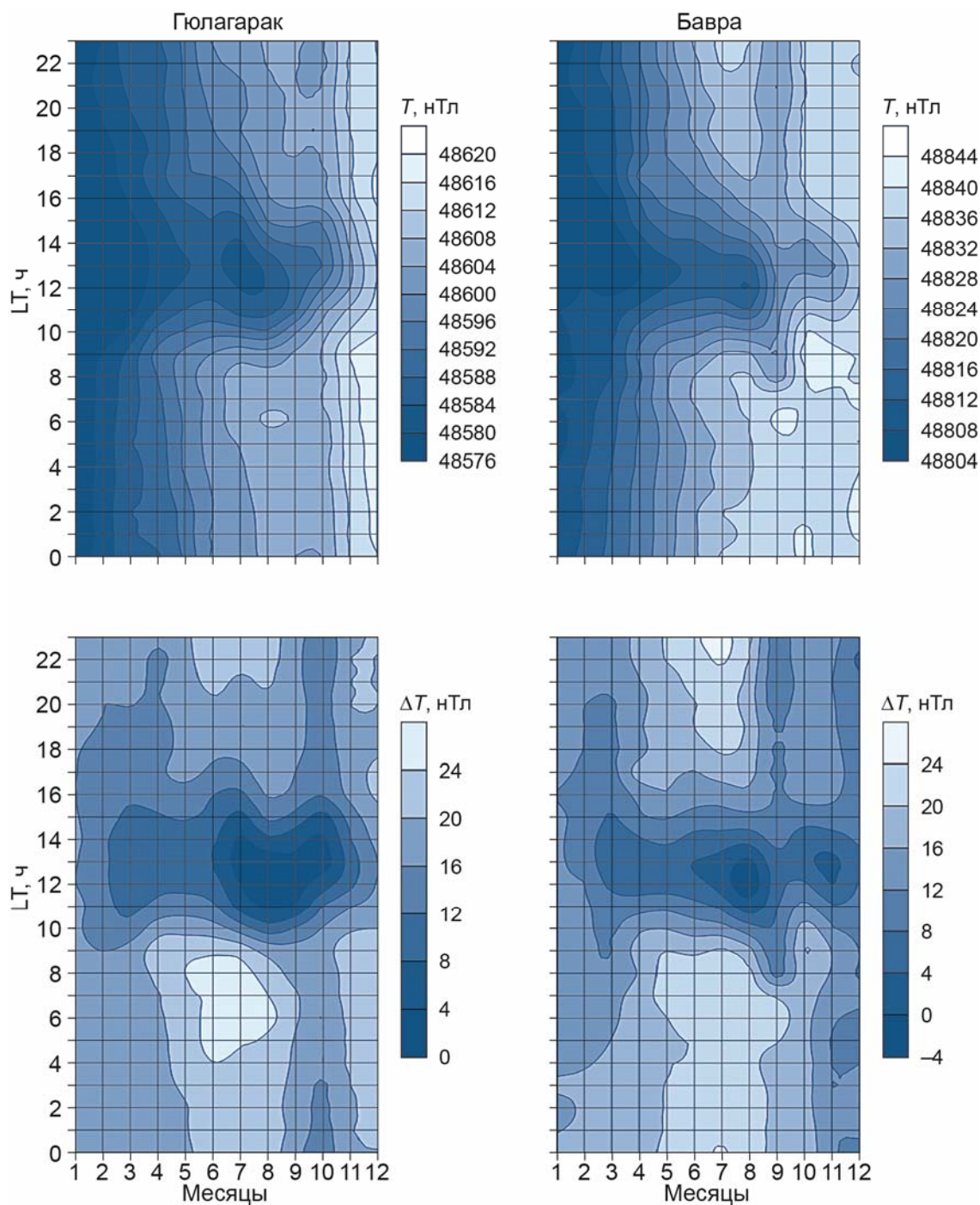
Сезонные и суточные вариации изучались авторами по данным наблюдений модуля полного вектора напряженности геомагнитного поля  $T$ , проводимым на двух расположенных в северной части территории Армении станциях режимных геомагнитных наблюдений – “Гюлагарак” (40.96° с.ш., 44.47° в.д.) и “Бавра” (41.12° с.ш., 43.81° в.д.). Особенности тектонической структуры района исследований и физические свойства горных пород, которые могут оказывать влияние на формирование сезонных вариаций, ранее были детально изучены в [Габриелян, Саркисян, Симомян, 1981]. С 90-х годов прошлого столетия на станциях “Гюлагарак” и “Бавра” функционируют протонные  $T$ -магнитометры ММП-203, чувствительность которых составляет 0.01 нТл, а абсолютная точность –  $\pm 1$  нТл; значения  $T$  регистрируются раз в 5 мин.

Для анализа использовались данные наблюдений 2008 г., который в текущем 24-м цикле солнечной активности является годом минимума, в связи с чем представляет высокий интерес для изучения. Ранее авторами было проведено исследование динамики  $Sq$ -вариации и эквивалентного ионосферного тока за период, соответствующий этому году [Soloviev et al., 2019]. В выбранный временной интервал были зарегистрированы наиболее качественные и непрерывные серии наблюдений [Симомян и др., 2011, 2012]. Среднечасовые значения геомагнитного поля вычислялись простым усреднением исходных 5-минутных наблюдений, среднемесячные – аналогичным образом из среднечасовых значений.

Результаты обработки исходных данных станций “Гюлагарак” и “Бавра” отображены на временных картах, приводимых в верхнем ряду на рис. 1. При их анализе прослеживается четкое нарастание значений поля от начала рассматриваемого года к его концу. Это, вероятно, объясняется ростом вклада от векового хода, наблюдаемого на территории исследований в течение года. Сезонные вариации интенсивности среднечасовых значений наблюдаемого магнитного поля Земли на этом рисунке выделяются слабо на фоне преобладающих значений поля вековых вариаций.

Из полученных данных вычитался годовой тренд, обусловленный вековым ходом, и характерное для региона фоновое значение геомагнитного поля, определенное на основе глобальной модели *IGRF1* за каждый месяц в пунктах, соответствующих координатам станций наблюдений (см. рис. 1, нижний ряд).

<sup>1</sup> <https://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html>



**Рис. 1.** Наблюдения 2008 г. на станциях “Гюлагарак” (слева) и “Бавра” (справа). Сезонные и суточные вариации по данным режимных наблюдений геомагнитного поля до (верхний ряд) и после (нижний ряд) вычета регионального поля и тренда за вековой ход из среднемесячных значений поля. По горизонтальной оси – месяцы года; по вертикальной – время внутри суток (LT, ч); шаг наблюдений по времени  $\Delta t=1$  ч

**Fig. 1.** Data of 2008 on Gyulagarak (left) and Bavra (right) stations. Seasonal and diurnal variations according to the data from the regular geomagnetic field observations before (top plots) and after (bottom plots) the elimination of the regional field and the secular variation trend calculated from the monthly averaged field values. The horizontal axis is the months of the year; the vertical axis is the time within the day; time step is  $\Delta t=1$  hour

Сравнение карт, приведенных в верхнем и нижнем рядах на рис. 1, показывает, что сезонные и суточные вариации выделяются более четко после вычета из среднемесячных значений регионального поля и тренда за вековой ход. В обоих случаях в центральной (по времени) части карт отчетливо выделяются полуденные минимумы. По месяцам, отображаемым на горизонтальной шкале, легко прослеживается зависимость интенсивности суточных вариаций от сезона года. Наиболее глубокий пик суточных вариаций (с закономерным минимумом в интервале 11:00–13:30 LT) отмечен для августа (см. рис. 1, *нижний ряд*). При рассмотрении карт за август по вертикали можно видеть, что в течение этого месяца суточные вариации представляют весь диапазон изменений – от минимума до максимума.

По данным обеих станций выделяется четкий минимум интенсивности суточных вариаций, приходящийся на декабрь–январь. Учитывая, что при исследовании зависимости суточных вариаций от сезона года отбор данных по степени геомагнитной возмущенности не проводился, разумно предположить, что выявленные годовые изменения интенсивности суточных вариаций могут быть связаны не только с ионосферной токовой системой. Исключение влияния на ионосферу возмущений, вызванных источниками магнитосферного происхождения, в данном случае затруднено. Кроме того, между сезонными вариациями, выделенными в двух пунктах, есть некоторые различия, причиной которых могут быть структурные особенности верхних слоев земной коры исследуемой территории. Так, если максимальные значения интенсивности суточных вариаций по данным станции “Бавра” приходятся на июль – сентябрь, то по данным станции “Гюлагарак” этот максимум несколько растянут и охватывает период июль–октябрь. В связи с тем, что на станции “Гюлагарак” период максимальной интенсивности суточных вариаций более длителен, чем на станции “Бавра”, можно предположить, что сезонные вариации на станции “Гюлагарак” содержат индукционную (связанную с электрической индукцией) составляющую.

#### Сопоставление с данными ближайшей обсерватории и данными индексов магнитной активности

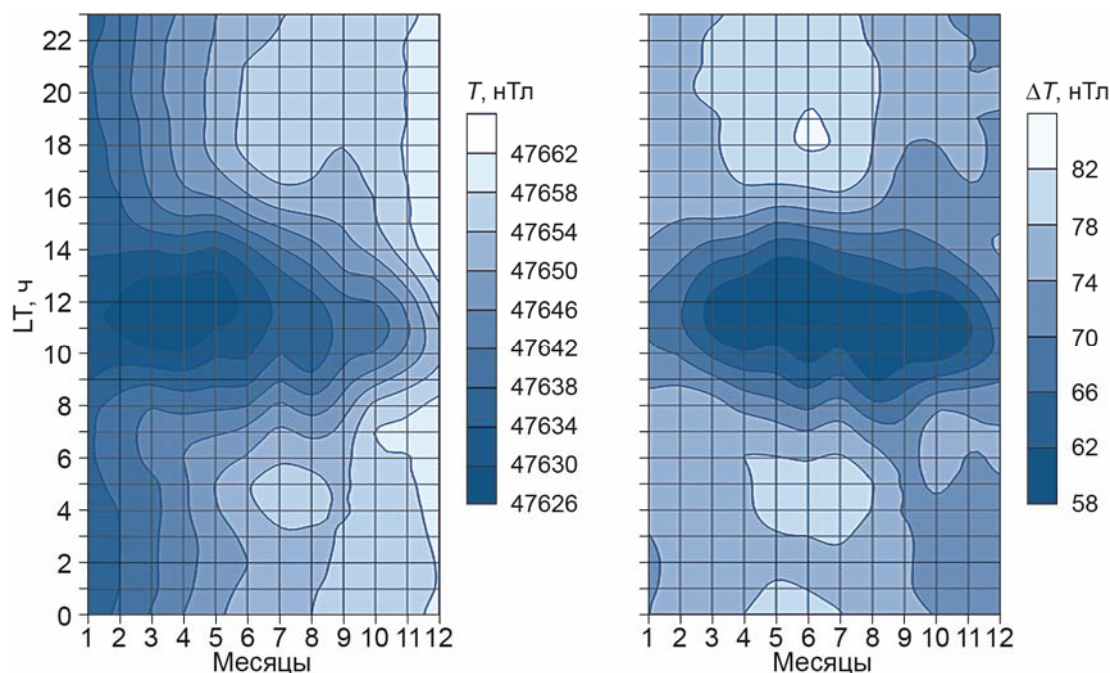
Для сопоставительного анализа выявленных вариаций на рис. 2 аналогичным образом представлены данные близширотной обсерватории Шамбон-ла-Форе (Франция) за исследуемый 2008 г.<sup>1</sup>

Сравнивая рис. 1, 2, легко убедиться, что существенной разницы между годовыми вариациями, выявленными в трех разных пунктах – на станциях “Гюлагарак”, “Бавра” и на обсерватории Шамбон-ла-Форе, – не наблюдается. Стоит отметить, что максимальные значения интенсивности суточных вариаций по данным обсерватории Шамбон-ла-Форе охватывают период май–август, т.е. точно соответствуют сезону  $J$  по календарю Ллойда. Минимальные значения интенсивности солнечно-суточных вариаций для всех трех станций приходятся на сезон  $D$  по календарю Ллойда (ноябрь–февраль). При этом легко обнаружить (см. рис. 2, *справа*), что структура пятен, характеризующих экстремальные значения суточных вариаций в пункте Шамбон-ла-Форе, куда более гладкая, что связано, очевидно, с высокой точностью данных обсерваторских наблюдений.

Для оценки возможного влияния магнитосферной возмущенности на сезонные вариации, выявленные по данным прямых наблюдений, были рассмотрены серии значений индексов  $a_p$  и  $D_{st}$ , первый из которых представляет собой линеаризованную версию квазилогарифмических  $K_p$ -индексов, второй определяет возмущения кольцевого тока<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> *Magnetic databank*. doi:10.18715/BCMT.MAG.DEF. Last access 20.08.2019.

<sup>2</sup> <http://www.wdcb.ru/stp/data/geomagni.ind/>



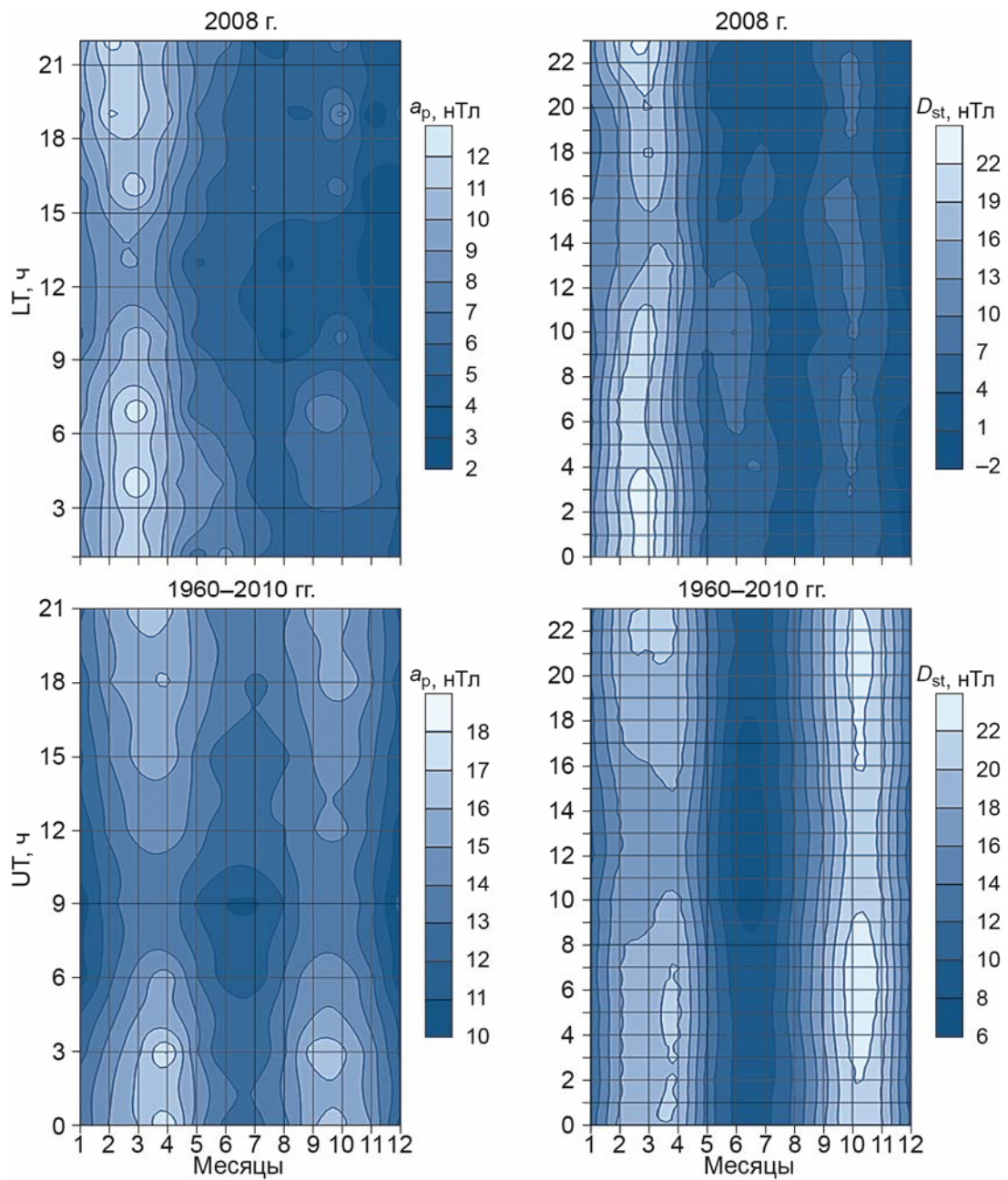
**Рис. 2.** Наблюдения 2008 г. на магнитной обсерватории Шамбон-ла-Форе (Франция). Сезонные и суточные вариации до (слева) и после (справа) вычета регионального поля и тренда за вековой ход. Горизонтальная ось – месяцы года; вертикальная – время внутри суток (LT, ч); шаг наблюдений по времени  $\Delta t=1$  ч

**Fig. 2.** Data of 2008 on Chambron-la-Foret (CLF, France) magnetic observatory. Seasonal and diurnal variations according to the data before (left) and after (right) the elimination of the trend due to the secular variation and background/regional value of the observed field. The horizontal axis is the months of the year; the vertical axis is the time within the day; time step is  $\Delta t=1$  hour

Известно, что временная привязка значений индексов геомагнитной активности выполняется в соответствии с международным временем UT, отличающимся от используемого при описании данных наблюдений местного времени LT на 4 ч –  $LT=UT+4$ . С учетом этого обстоятельства для обеспечения временной сопоставимости серий индексов с сериями данных наблюдений была выполнена коррекция времени представления индексов активности.

Сезонные и суточные вариации, представленные на рис. 3, построены по данным для разных периодов: верхний ряд – для исследуемого в статье 2008 г.; нижний – по осредненным данным за 1960–2010 гг. Графики, построенные по среднемесячным значениям индексов, вычислены для каждого часа внутри суток в случае  $D_{st}$ -индексов (справа в ряду) и для каждого трехчасового интервала в случае  $a_p$ -индексов (слева в ряду).

Незначительные по величине ложные фокусы, наблюдаемые на графиках по  $a_p$ -индексам, например, между 15 и 18 ч LT в пределах сентября–октября (см. рис. 3, слева), не несут физического смысла, поскольку при построении изолиний появились из-за недостаточного временного разрешения исходных данных. Для обеспечения фазовой сопоставимости исследуемых индексов  $D_{st}$ -индексы на рис. 3 представлены со знаком минус. Анализ рис. 3 показывает, что суточные вариации на представленных значениях  $a_p$ -индексов выражены слабо на фоне резкого максимума полугодовых вариаций в период весеннего равноденствия и выделяются небольшим относительным минимумом, наблюдаемым с августа до конца года. На представленных значениях  $D_{st}$ -индексов, как и следовало ожидать, суточные вариации практически отсутствуют.



**Рис. 3.** Графики сезонных и суточных вариаций, построенные по среднемесячным значениям индексов глобальной геомагнитной активности  $a_p$  (слева) и  $D_{st}$  (справа). По значениям  $a_p$  построения выполнены для трехчасовых интервалов, по значениям  $D_{st}$  – для каждого часа суток. Верхний ряд – данные 2008 г.; нижний – осредненные данные за 1960–2010 гг.

**Fig. 3.** Seasonal and diurnal variation plots according to the monthly averaged global geomagnetic activity indices  $a_p$  (left) and  $D_{st}$  (right) for 2008 (top plots) and for the 1960–2010 period (bottom plots). Plots were made using the 3-hour  $a_p$  values and hourly  $D_{st}$  values

Таким образом, для исследуемого 2008 г. по индексу  $a_p$ , помимо глобальных полугодовых вариаций магнитосферного происхождения, прослеживается ионосферная активность, тогда как по  $D_{st}$ -индексу вариации магнитосферного происхождения отражаются в наиболее чистом виде. В целом же, четкий весенний максимум, хорошо

видимый на рис. 3, является основной характерной чертой полугодовой составляющей сезонных вариаций.

Поскольку фаза полугодовых вариаций в зависимости от исследуемого года может перемещаться от весны на осень и наоборот [Mursula, Tanskanen, Love, 2011], прослеженные особенности появления внешних вариаций были исследованы по значениям индексов, осредненных за пятидесятилетний период 1960–2010 гг. На приведенных графиках (см. рис. 3, *нижний ряд*) хорошо видны данные за оба сезона  $E$ . Отметим, что суточные вариации по  $a_p$ -индексам прослеживаются на фоне четко выделяемых сезонных вариаций, тогда как по  $D_{st}$ -индексам вновь превалируют полугодовые вариации магнитосферного происхождения.

### Заключение

Авторами проанализированы данные измерений модуля полного вектора напряженности геомагнитного поля, выполненных на станциях “Гюлагарак” и “Бавра” (Республика Армения) с целью выявления и изучения особенностей сезонных вариаций, проявляющихся в изменениях интенсивности суточных вариаций.

Проведен сопоставительный анализ прослеженных на территории Армении годовых вариаций с вариациями, зафиксированными по данным обсерватории Шамбон-ла-Форе (Франция) и по индексам глобальной геомагнитной активности  $a_p$  и  $D_{st}$ .

Оказалось, что по данным геомагнитных наблюдений в сезонных вариациях превалирует годовая составляющая с характерным максимумом в летний период года и с минимумом интенсивности суточных вариаций в зимний. В индексах геомагнитной активности, наоборот, превалируют полугодовые вариации с максимальными значениями геомагнитной активности в течение сезона  $E$  по календарю Ллойда. При этом по  $a_p$ -индексам выделяются также суточные вариации ионосферного происхождения, тогда как в  $D_{st}$ -индексах отражаются магнитосферные процессы, вызванные изменением параметров солнечного ветра и условиями его взаимодействия с магнитосферой Земли, которые зависят от изменения положения нашей планеты относительно Солнца в течение года. При этом геомагнитная активность, проявленная в годовых вариациях интенсивности суточного хода, обусловлена процессами, протекающими в ионосфере. Очевидно, что ионосферная активность, отражающаяся в вариациях наблюдаемого на поверхности Земли геомагнитного поля, является артефактом вариаций общей геомагнитной активности, проявляющихся в индексах глобальной геомагнитной активности в виде полугодовых вариаций.

Сравнение суточных вариаций по данным станций “Гюлагарак” и “Бавра” показало, что их амплитуды почти одинаковы в летние месяцы, но период максимальной интенсивности солнечно-суточных вариаций на станции “Гюлагарак” продлен в сторону осенних месяцев.

Сравнение годовых вариаций, выявленных по данным наблюдений на территории Армении, с годовыми вариациями по данным обсерватории Шамбон-ла-Форе (Франция) продемонстрировало схожесть основных характеристик исследуемых вариаций. При этом высокое качество обсерваторских данных проявилось в гладком характере выявленных структур вариаций.

Физически осмысленные значения и динамику геомагнитных вариаций, выявленных по данным станции “Гюлагарак”, непротиворечивость обнаруженных временных характеристик существующим представлениям о геомагнитных вариациях внешних источников, а также вариациям, обнаруженным по данным высокоточной магнитной



обсерватории Шамбон-ла-Форе, могут рассматриваться как научное обоснование целесообразности создания магнитной обсерватории в пос. Гюлагарак.

Необходимо отметить, что в 2019 г. на станции “Гюлагарак” было завершено строительство двух немагнитных павильонов для регистрации вариаций и абсолютных значений магнитного поля. Совместными усилиями Института геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова Национальной академии наук Республики Армения и Геофизического центра РАН обсерватория оснащается комплектом магнитометрической аппаратуры стандарта ИНТЕРМАГНЕТ<sup>1</sup>. Данные непрерывных субминутных наблюдений модуля вектора магнитного поля уже поступают в Аналитический центр геомагнитных данных на базе ГЦ РАН и проходят обработку средствами АПК МАГНУС [Gvishiani et al., 2016; Гвишиани и др., 2018, 2019].

### Благодарности

В работе использованы данные, любезно предоставленные Региональным центром сейсмической защиты Государственной некоммерческой организации Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Армения, а также средства, предоставленные ЦКП “Аналитический центр геомагнитных данных” Геофизического центра РАН (<http://ckp.gcras.ru/>).

Исследования выполнены при финансовой поддержке Государственного комитета по науке Министерства образования и науки Республики Армения и Российского фонда фундаментальных исследований в рамках совместных научных программ 18RF-096, 18-55-05006 (Оганян М.В., Симомян А.О., Соловьев А.А., Карапетян Дж.К.) и в рамках задания Геофизического центра РАН, утвержденного Министерством науки и высшего образования РФ (Гвишиани А.Д., Сидоров Р.В.).

### Литература

- Габриелян А.А., Саркисян О.А., Симомян Г.П. Сейсмотектоника Армянской ССР. Ереван: Изд-во ЕГУ, 1981. 284 с.
- Гвишиани А.Д., Кафтан В.И., Красноперов Р.И., Татаринцев В.Н., Вавилин Е.В. Геоинформатика и системный анализ в геофизике и геодинамике // Физика Земли. 2019. № 1. С.42–60.
- Гвишиани А.Д., Соловьев А.А., Сидоров Р.В., Красноперов Р.И., Груднев А.А., Кудин Д.В., Карапетян Дж.К., Симомян А.О. Успехи организации геомагнитного мониторинга в России и ближнем зарубежье // Вестник ОНЗ РАН. 2018. Т. 10. NZ4001.
- Симомян А.О., Оганян М.В., Хачатрян А.С. Анализ вариаций внешних источников в сопоставлении с данными магнитных наблюдений по территории Армении // Изв. НАН РА: Науки о Земле. 2011. № 3. С.50–60.
- Симомян А.О., Оганян М.В., Хачатрян А.С. Особенности геомагнитных вариаций в северной части территории Армении // Изв. НАН РА: Науки о Земле. 2012. Т. 65, № 1–2. С.43–54.
- Cliver E.W., Kamide Y., Ling A.G. Mountains versus valleys: Semiannual variation of geomagnetic activity // J. Geophys. Res. 2000. V. 105, N A2. P.2413–2424.
- Cliver E.W., Svalgaard L., Ling A.G. Origins of the semiannual variation of geomagnetic activity in 1954 and 1996 // Ann. Geophysicae. 2004. V. 22, N 1. P.93–100.
- Cortie A.L. Sun-spots and Terrestrial Magnetic Phenomena, 1898–1911: the Cause of the Annual Variation in Magnetic Disturbances // Mon. Not. R. Astron. Soc. 1912. V. 73. P.52–60.
- Gvishiani A.D., Soloviev A.A., Krasnoperov R.I., Lukianova R.Yu. Automated hardware and software system for monitoring the Earth’s magnetic environment // Data Science Journal. 2016. V. 15. P.18.
- Malin S.R.C., Winch D.E., Işıkara A.M. Semi-annual variation of the geomagnetic field // Earth Planets Space. 1999. V. 51. P.321–328.

<sup>1</sup> См. <http://intermagnet.org>

- McIntosh D.H.* On the annual variation of magnetic disturbance // *Phil. Trans. Roy. Soc. London. Ser. A.* 1959. V. 251, N 1001. P. 525.
- Mursula K., Tanskanen E., Love J.J.* Spring-fall asymmetry of substorm strength, geomagnetic activity and solar wind: Implications for semiannual variation and solar hemispheric asymmetry // *Geophys. Res. Lett.* 2011. V. 38, N 6. L06104.
- Olsen N.* Magnetospheric contributions to geomagnetic daily variations // *Ann. Geophysicae.* 1996. V. 14. P.538–544.
- Russell C.T., McPherron R.L.* Semiannual Variation of Geomagnetic Activity // *J. Geophys. Res.* 1973. V. 78, N 1. P.92–108.
- Santarelli L., Cafarella L., Lepidi S., Di Mauro D., Meloni A. and Palangio P.* Fourteen years of geomagnetic daily variation at Mario Zucchelli Station (Antartica) // *Ann. Geophysicae.* 2007. V. 50, N 2. P.225–232.
- Soloviev A.A., Smirnov A.G., Gvishiani A.D., Karapetyan J.K., Simonyan A.O.* Quantification of Sq parameters in 2008 based on geomagnetic observatory data // *Adv. Space Res.* 2019. DOI: 10.1016/j.asr.2019.08.038.
- Takeda M.* Features of global geomagnetic Sq field from 1980 to 1990 // *J. Geophys. Res.* 2002. DOI:10.1029/2001JA009210
- Vestine E.H.* Winds in the upper atmosphere deduced from the dynamo theory of geomagnetic disturbance // *J. Geophys. Res.* 1954. V. 59. P.93–128.
- Yacob A.R., Rao D.R.* Solar cycle and annual variations of Sq(H) at Alibag // *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics.* 1966. V. 28. P.351–388.

#### *Сведения об авторах*

**ОГАНЯН Марине Ваниковна** – младший научный сотрудник, Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова Национальной академии наук Республики Армения. 3115, Республика Армения, г. Гюмри, ул. В. Саргсяна, д. 5. Тел.: +374 312 312. E-mail: marine-0882@mail.ru

**СИМОНЯН Анаит Оганесовна** – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией, Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова Национальной академии наук Республики Армения. 3115, Республика Армения, г. Гюмри, ул. В. Саргсяна, д. 5. Тел.: +374 312 312. E-mail: as\_iges@freenet.am

**КАРАПЕТЯН Джон Костикович** – кандидат геологических наук, директор, Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова Национальной академии наук Республики Армения. 3115 Республика Армения, г. Гюмри, ул. В. Саргсяна, д. 5; научный сотрудник, Геофизический центр РАН. 119296, Москва, ул. Молодежная, д. 3. Тел.: +374 312 312. E-mail: jon\_iges@mail.ru

**СОЛОВЬЕВ Анатолий Александрович** – член-корреспондент РАН, директор, Геофизический центр РАН. 119296, Москва, ул. Молодежная, д. 3; ведущий научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7(495) 930-05-46. E-mail: a.soloviev@gcras.ru

**ГВИШИАНИ Алексей Джерменович** – академик РАН, научный руководитель, Геофизический центр РАН. 119296, Москва, ул. Молодежная, д. 3; главный научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7(495) 930-05-46. E-mail: a.gvishiani@gcras.ru

**СИДОРОВ Роман Викторович** – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Геофизический центр РАН. 119296, Москва, ул. Молодежная, д. 3. Тел.: +7(495) 930-05-46. E-mail: r.sidorov@gcras.ru

## FEATURES OF OCCURRENCE OF THE GEOMAGNETIC FIELD SEASONAL VARIATIONS IN THE NORTHERN PART OF ARMENIA

M.V. Ohanyan<sup>1</sup>, A.O. Simonyan<sup>1</sup>, J.K. Karapetyan<sup>1,2</sup>, A.A. Soloviev<sup>2,3</sup>,  
A.D. Gvishiani<sup>2,3</sup>, R.V. Sidorov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Nazarov Institute of Geophysics and Engineering Seismology of the National Academy of Sciences  
of the Republic of Armenia, Gyumri, Armenia*

<sup>2</sup> *Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>3</sup> *Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

**Abstract.** This research deals with the study of seasonal variations of the Earth's magnetic field using the changes in the intensity of its diurnal variations. The initial data were recorded at the Bavra and Gyulagarak observation points of the of the full module of the geomagnetic field vector (Republic of Armenia). A comparison is made between the variations identified from the data registered at these points and the variations that appear in the data from the magnetic observatory Chambon-la-Foret (France), which is close in latitude. They are also compared with geomagnetic variations identified using the global geomagnetic activity indices. The comparison results show that, according to geomagnetic observations, annual variations are distinguished, caused by the ionospheric current system and expressed by the maximum intensities of diurnal variations in the summer months and minimums in the winter season. According to the geomagnetic activity indices, semi-annual variations of magnetospheric sources with characteristic maxima during the spring and autumn equinoxes are distinguished. Comparison of solar-diurnal variations between the Bavra and Gyulagarak station data showed the similarity of their amplitudes in the summer. However, the duration of the maximum intensity period of diurnal variations at Gyulagarak station data is one month longer than that of the maximum intensity period of diurnal variations at the corresponding data from Bavra station. The revealed temporal characteristics of seasonal variations in the geomagnetic field are consistent with existing ideas about geomagnetic variations due to the influence of external sources. Comparison between the annual variations revealed by observations on the territory of Armenia and the ones according to the data registered at the Chambon-la-Foret observatory showed a similarity of the main characteristics of the studied variations. The noted circumstances can be considered as a scientific justification for the feasibility of creating a magnetic observatory in Gyulagarak.

**Keywords:** geomagnetic field, seasonal variations, geomagnetic activity indices, magnetosphere.

### References

- Cliver E.W., Kamide Y. and Ling A.G., Mountains versus valleys: Semiannual variation of geomagnetic activity, *J. Geophys. Res.*, 2000, vol. 105, no A2, pp. 2413-2424.
- Cliver E.W., Svalgaard L. and Ling A.G., Origins of the semiannual variation of geomagnetic activity in 1954 and 1996, *Ann. Geophysicae*, 2004, vol. 22, no. 1, pp. 93-100.
- Cortie A.L. Sun-spots and Terrestrial Magnetic Phenomena, 1898–1911: the Cause of the Annual Variation in Magnetic Disturbances, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 1912, vol. 73, pp. 52-60.
- Gabrielyan A.A., Sargsyan O.A., Simonyan G.P., *Seismotectonics of the Armenian SSR*. Yerevan: YSU Publishing, 1981. 284 p.
- Gvishiani A.D., Soloviev A.A., Sidorov R.V., Krasnoperov R.I., Grudnev A.A., Kudin D.V., Karapetyan J.K., Simonyan A.O., Successes of the organization of geomagnetic monitoring in Russia and the near abroad, *Vestn. Otd. nauk o Zemle*, 2018, vol. 10, NZ4001.
- Gvishiani A.D., Kaftan V.I., Krasnoperov R.I., Tatarinov V.N., Vavilin E.V., Geoinformatics and systems analysis in geophysics and geodynamics, *Izv. Phys. Solid Earth*, 2019, vol. 55, no. 1, pp. 33-49.
- Gvishiani A.D., Soloviev A.A., Krasnoperov R.I. and Lukianova R.Yu., Automated hardware and software system for monitoring the Earth's magnetic environment, *Data Science Journal*, 2016, vol. 15, pp. 18.
- Malin S.R.C., Winch D.E. and Işıkara A.M., Semi-annual variation of the geomagnetic field, *Earth Planets Space*, 1999, vol. 51, pp. 321-328.
- McIntosh D.H., On the annual variation of magnetic disturbance, *Phil. Trans. Roy. Soc. London. Ser. A*, 1959, vol. 251, no. 1001, pp. 525.

- Mursula K., Tanskanen E. and Love J.J., Spring-fall asymmetry of substorm strength, geomagnetic activity and solar wind: Implications for semiannual variation and solar hemispheric asymmetry, *Geophys. Res. Lett.*, 2011, vol. 38, no. 6, L06104.
- Olsen N., Magnetospheric contributions to geomagnetic daily variations, *Ann. Geophysicae*, 1996, vol. 14, pp. 538-544.
- Russell C.T. and McPherron R.L., Semiannual Variation of Geomagnetic Activity, *J. Geophys. Res.*, 1973, vol. 78, no. 1, pp. 92-108.
- Santarelli L., Cafarella L., Lepidi S., Di Mauro D., Meloni A. and Palangio P., Fourteen years of geomagnetic daily variation at Mario Zucchelli Station (Antartica), *Ann. Geophysics*, 2007, vol. 50, no. 2, pp. 225-232.
- Simonyan A.O., Ohanyan M.V., Khachatryan A.S., Analysis of variations of external sources in comparison with magnetic observations over the territory of Armenia, *Izv. NAS RA: Earth Sciences*, 2011, no. 3, pp. 50-60.
- Simonyan A.O., Ohanyan M.V., Khachatryan A.S., Features of geomagnetic variations in the northern part of the territory of Armenia, *Izv. NAS RA: Earth Sciences*, 2012, vol. 65, no. 1–2, pp. 43-54.
- Soloviev A.A., Smirnov A.G., Gvishiani A.D., Karapetyan J.K., Simonyan A.O. Quantification of Sq parameters in 2008 based on geomagnetic observatory data, *Adv. Space Res.*, 2019, DOI: 10.1016/j.asr.2019.08.038
- Takeda M., Features of global geomagnetic Sq field from 1980 to 1990, *J. Geophys. Res.*, 2002, vol. 107, no. A9, p. 1252.
- Vestine E.H., Winds in the upper atmosphere deduced from the dynamo theory of geomagnetic disturbance, *J. Geophys. Res.*, 1954, vol. 59, pp. 93-128.
- Yacob A.R. and Rao D.R., Solar cycle and annual variations of Sq(H) at Alibag, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 1966, vol. 28, pp. 351-388.