

УДК 523.31-1/-8

Геомагнитное поле Крыма: изменения отдельных компонентов за период 1900—2014 гг.

Курбасова Г. С., Вольвач А. Е.
*Отдел радиоастрономии и геодинамики,
Крымская астрофизическая обсерватория,
Ялта, 298688, Российская Федерация
volvach@bk.ru*

Получено: 10 сентября 2018 г.
Отрецензировано: 21 сентября 2018 г.
Принято к публикации: 25 сентября 2018 г.

Аннотация: *В статье обсуждаются результаты анализа среднегодовых характеристик геомагнитного поля в Крыму. Данные для анализа вычислены за период с 1900 по 2014 год с помощью калькулятора Международной геомагнитной модели IGRF-12. Сделан вывод о возрастании общей напряженности геомагнитного поля в Крыму со временем в северо-восточном направлении.*

Ключевые слова: *магнитное поле, когерентность, международная модель, Крым, Кара-Даг.*

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Курбасова Г. С., Вольвач А. Е. Геомагнитное поле Крыма : изменения отдельных компонентов за период 1900—2014 гг. // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2018. Т. 1, № 4. С. 331—340.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Курбасова, Г. С. Геомагнитное поле Крыма : изменения отдельных компонентов за период 1900—2014 гг. / Г. С. Курбасова, А. Е. Вольвач // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2018. — Т. 1, № 4. С. 331—340.

Crimea geomagnetic field: changes in particular components over the period 1900–2014

G. S. Kurbasova and A. E. Volvach

*Radio Astronomy and Geodynamics Department, Crimean Astrophysical Observatory
Yalta, 298688, Russian Federation
volvach@bk.ru*

Received: September 10, 2018

Peer-reviewed: September 21, 2018

Accepted: September 25, 2018

Abstract: *The paper discusses the results of the analysis of average characteristics of the geomagnetic field in the Crimea. Data for the analysis were calculated for the period from 1900 to 2014 through the International geomagnetic model IGRF-12. It is concluded that an increase in the total intensity of the geomagnetic field in Crimea with time in a northeasterly direction.*

Keywords: *magnetic field, coherence, international model, Crimea, Kara-Dag.*

For citation (IEEE): G. S. Kurbasova and A. E. Volvach, “Crimea geomagnetic field: changes in particular components over the period 1900–2014,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 1, no. 4, pp. 331–340, 2018. (In Russ.).
doi: 10.15826/icrt.2018.01.4.25

1. Введение

Возросший за последнее время интерес к изучению магнитного поля Земли объясняется рядом факторов, из которых следует отметить такие как: ускоренное движение магнитных полюсов, убыль напряженности магнитного поля и вытекающая из этого угроза для жизни на Земле, возможность изучения процессов в ядре Земли с помощью измерений характеристик магнитного поля, многогранную роль магнитного поля в обменных процессах происходящих в солнечно-земных взаимосвязях.

Математическим описанием изменений параметров геомагнитного поля является созданная в настоящее время Международная модель — результат совместных усилий отдельных исследователей и научных организаций по изучению магнитного поля, участвующих в сборе и распространении данных о магнитном поле со спутников и наземных обсерваторий по всему миру.

Для анализа структуры и пространственно-временных изменений геомагнитного поля в 4 крайних точках Крыма и п. Кара-Даг за период 1900—2014 гг. авторы использовали калькулятор для расчетов магнитного поля в заданном пункте по Международной геомагнитной модели (The International Geomagnetic Reference Field, IGRF-12) [8].

Кроме определения долговременных пространственно-временных изменений характеристик геомагнитного поля в Крыму исследовалась возможность существования связи изменений характеристик геомагнитного поля с глобальными геодинамическими, гелиофизическими и атмосферными аномалиями. Наряду с анализом изменений характеристик геомагнитного поля в крайних пунктах полуострова (на севере — п. Перекоп, на юге — п. Кара Мрун, на востоке — п. Фонарь, на западе — п. Сарыч), в анализе использовались характеристики геомагнитного поля п. Кара-Даг [2, 5].

2. Локальные геомагнитные поля

Включение в анализ характеристик геомагнитного поля п. Кара-Даг вызвано обнаруженными ранее авторами настоящей работы аномалиями локальной инсоляции. Так, скорость роста инсоляции п. Кара-Даг по данным 22-летнего тренда за период 1983—2005 гг., составила $2.69 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ за столетие, что более чем в 2 раза превышает темпы роста инсоляции в других районах Крыма. Кроме того, обнаружены противоположные тенденции изменения температуры воздуха на высоте 10 м и температуры земли, что свидетельствуют об аномалиях в локальных геофизических и атмосферных процессах п. Кара-Даг.

Анализ графиков составляющих векторов магнитного поля в 5 точках Крыма определяет общие тенденции изменений для каждой составляющей: горизонтальные и северные компоненты магнитного поля убывают со временем, а восточные, вертикальные компоненты и общее магнитное поле — возрастают. Для анализа использовались данные о многолетних изменениях горизонтальной составляющей и общего магнитного поля в виду отсутствия каких-либо особенностей в изменениях остальных характеристик. На рисунке 1 приведены графики общего геомагнитного поля и горизонтальной составляющей в 5 пунктах Крыма.

Графики на рисунке 1, выделенные сплошной линией, относятся к геомагнитному полю в п. Перекоп (крайний северный) и п. Сарыч (крайний южный), расположенным на одной и той же долготе. В этих пунктах наблюдается минимальная (по сравнению с остальными пунктами) горизонтальная составляющая. В то же время, горизонтальная составляющая в п. Кара-Даг превосходит все остальные (см. рис.1, б), что, по всей вероятности, связано с особыми локальными геофизическими условиями.

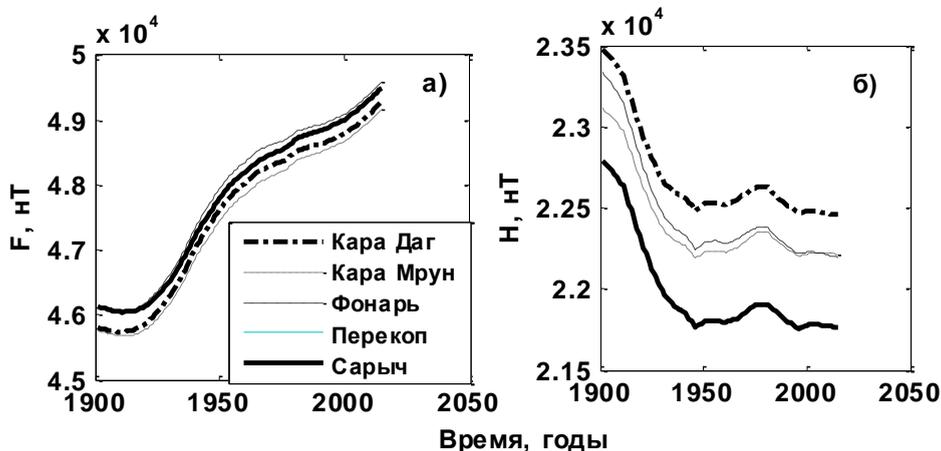


Рис. 1. Графики характеристик геомагнитного поля в 5 пунктах Крыма: а) — напряженность общего геомагнитного поля F , б) — горизонтальная составляющая геомагнитного поля H .

Fig. 1. Graphs of the characteristics of the geomagnetic field in 5 points of the Crimea:
а) — the intensity of the general geomagnetic field F ,
б) — the horizontal component of the geomagnetic field H

Изучение геологии Кара-Дага продолжается уже более века. В конце XIX в. начинают появляться первые сведения по геологии вулканической группы Кара-Дага. Предположение о том, что она является крупным размытым слоистым вулканом, высказал А. А. Прозоровский-Голицын.

Исследователями структуры Кара-Дага сделан вывод относительно его сложного строения.

2. Установление когерентных связей

В анализе спектрального состава исходных данных использовался метод спектральных оценок, обладающий высокой разрешающей способностью для ограниченных последовательностей данных [3]. В постановку задачи входило установление когерентности локальных изменений характеристик геомагнитного поля и таких глобальных процессов, как вращение Земли, солнечная активность, глобальная температура.

Согласно этому методу установление взаимной корреляции между двумя (одноканальными) процессами состоит в вычислении функции взаимной (двухканальной) спектральной плотности мощности (СПМ), которая представляет собой дискретно-временное преобразование Фурье взаимной корреляционной функции Γ_{xy} в виде

$$\mathbf{P}_{xy}(\mathbf{f}) = \mathbf{T} \sum_{\mathbf{k}=-\infty}^{\mathbf{k}=\infty} \mathbf{r}_{xy}[\mathbf{k}] \exp(-j2\pi\mathbf{f}\mathbf{k}\mathbf{T}), \quad (1)$$

где \mathbf{X} и \mathbf{Y} - одноканальные процессы, \mathbf{f} - частота, \mathbf{T} - интервал времени.

Комплексное безразмерное выражение функции когерентности имеет вид

$$\mathbf{F}_{xy}(\mathbf{f}) = \mathbf{P}_{xy}(\mathbf{f}) / \sqrt{\mathbf{P}_{xx}(\mathbf{f})} \sqrt{\mathbf{P}_{yy}(\mathbf{f})}. \quad (2)$$

Для измерения сходства (как функции частоты) двух сигналов вычисляем квадрат модуля когерентности (КМК) в виде

$$\text{КМК}(\mathbf{f}) = |\mathbf{F}_{xy}(\mathbf{f})|^2 \quad (3)$$

и фазовый спектр когерентности

$$\theta(\mathbf{f}) = \text{arctg} \left[\text{Im} \{ \mathbf{F}_{xy}(\mathbf{f}) \} / \text{Re} \{ \mathbf{F}_{xy}(\mathbf{f}) \} \right]. \quad (4)$$

Величина КМК (3) заключена между 0 (для частот, на которых отсутствует когерентность между каналами) и 1 (для частот, на которых каналы полностью когерентны). Фаза когерентности (4) характеризует отставание или опережение по фазе в канале \mathbf{X} по отношению к каналу \mathbf{Y} как функцию частоты.

Проведем анализ результатов применения изложенного выше метода для обнаружения когерентных вариаций характеристик локального геомагнитного поля в Крыму и некоторых параметров глобальных геодинамических, гелиофизических и атмосферных процессов. В качестве исходных данных о локальных характеристиках геомагнитного поля выберем п. Кара-Даг. Как следует из анализа графиков на рисунке 1, а), тенденции изменения геомагнитного поля на остальных четырех пунктах аналогичны.

Одним из главных глобальных геодинамических процессов, влияющих на изменения локальных геофизических и атмосферных характеристик, является вращение Земли вокруг своей оси и ее положение на орбите. Для установления когерентных колебаний использовались данные о геомагнитных характеристиках в п. Кара-Даг и среднегодовые величины отклонений длительностей суток от стандартных (86400 с) LOD (length of day), публикуемые Международной службой вращения Земли (IERS — International Earth Rotation Service) [7].

Анализ графиков на рисунке 2, б) позволяет предположить о существовании статистической связи между вариациями с периодом 25 лет в

данных о горизонтальной составляющей магнитного поля в п. Кара-Даг Н (рис.1, б) и отклонениями длительностей суток от стандартных LOD (рис.2, а). Кроме того, установлена когерентность вариаций с периодом 66.7 год в данных LOD и общего магнитного поля F в п. Кара-Даг.

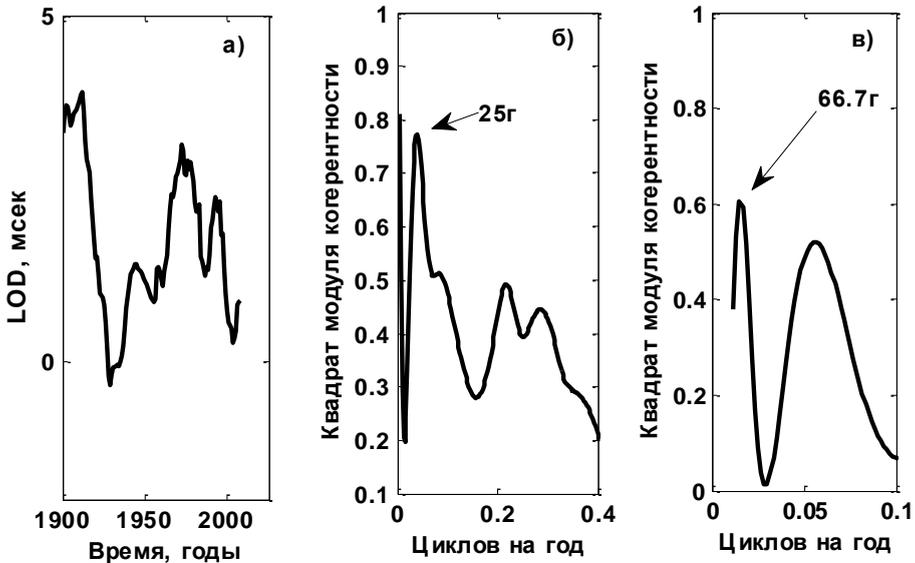


Рис. 2. Графики: а) — отклонения длительности суток от стандартных LOD; б) — квадрат модуля когерентности LOD и H; в) — квадрат модуля когерентности LOD и F.

Fig. 2. Charts: а) — deviations of the duration of the day from the standard LOD; б) — the square of the coherence modulus LOD and H; в) — the square of the coherence modulus LOD and F

Современные научные гипотезы не отрицают факт существования синхронных колебаний в локальных и глобальных процессах [1].

Земля непрерывно получает от Солнца почти неизменный поток энергии, обеспечивающий наблюдаемый уровень освещенности и среднюю температуру ее поверхности. Однако количество солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли, распределяется неравномерно и зависит, прежде всего, от положения Земли на орбите, скорости ее вращения, локальных и региональных условий. Колебания земных условий существенно зависят от солнечной активности.

Под активностью Солнца, прежде всего, понимают рост числа солнечных пятен и сопровождающие его процессы. В цепочке солнечно-земных взаимодействий влияние солнечной активности на внешние и внутриземные процессы проявляется в событиях, период повторения ко-

торых составляет в среднем 11 лет. Региональные и локальные условия влияют на результат воздействия солнечной активности. Проведенный нами анализ обнаружил высокую когерентность изменения из года в год напряженности общего магнитного поля в п. Кара-Даг с изменениями из года в год числа солнечных пятен. На рисунке 3, а) приведен график КМК. Максимальное значение КМК соответствует вариациям с периодом 10.5 лет. Десятилетние вариации обнаружены ранее в экспериментальных данных некоторых геодинамических, геофизических и гелиофизических процессов [6]. Их когерентность с вариациями в данных о локальном геомагнитном поле Крыма обсуждается впервые.

Связь локальных климатических и геофизических характеристик с многолетними изменениями глобальной температуры Земли в настоящее время является предметом дискуссий. Отсутствие знаний о многолетнем механизме этой связи дополняется гипотезами и анализом эмпирических данных.

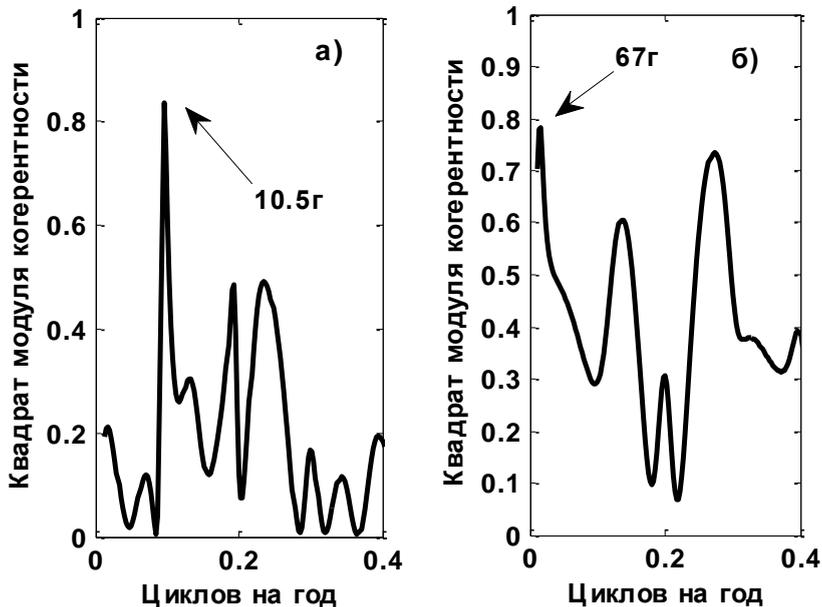


Рис. 3. Квадрат модуля когерентности данных об изменениях из года в год общего магнитного поля в п. Кара- Даг и а) — числа солнечных пятен [9], б) — среднегодовых глобальных аномалий температуры [10].

Fig. 3. The square of the coherence modulus of data on changes from year to year of the total magnetic field in KaraDag and а) — is the number of sunspots [9], б) the average annual global temperature anomalies [10]

Анализ данных за период 1900—2014 гг. обнаружил высокую когерентность изменения из года в год напряженности общего магнитного поля п. Кара-Даг с изменениями из года в год среднегодовых величин глобальных аномалий температуры (см. рис.3,б) для вариаций с периодом 67 лет. Этот результат согласуется с выводами, опубликованными в работе [4], о едином механизме генерации многолетних вариаций с периодами в диапазоне 65—70 лет в глобальной температуре, изменениях углового момента ядра Земли, скорости вращения Земли. При этом предполагается, что геомагнитное поле может поддерживать этот процесс.

Многолетние локальные изменения общего геомагнитного поля в Крыму (см. рис. 4) определяют общую тенденцию его эволюции: рост со временем в северо-восточном направлении.

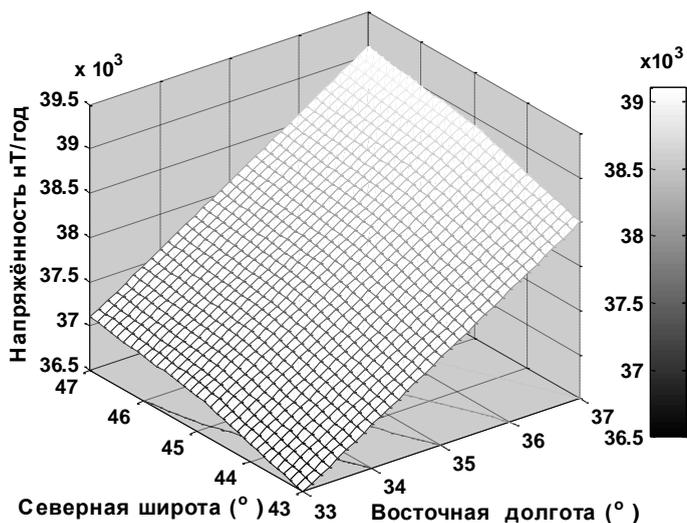


Рис. 4. Общая напряжённость геомагнитного поля в Крыму за период 1900—2014 гг.

Fig. 4. The total intensity of the geomagnetic field in the Crimea for the period 1900–2014

Исходные данные для графика вычислены на сетке $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ с последующей интерполяцией.

3. Заключение

1. Связь локальных климатических и геофизических характеристик с вращением Земли не подлежит сомнению. Однако ее детали для каждого экономически важного пункта Крыма, в силу разнообразия ландшафта,

техногенных условий и проч., должны находиться под контролем регулярных наземных и космических наблюдений.

2. Анализ многолетних изменений геомагнитного поля в п. Кара-Даг не прояснил причину аномального роста инсоляции и температуры земли в этом пункте. В то же время, горизонтальная составляющая п. Кара-Даг превосходит все остальные (см. рис.1, б)), что, по всей вероятности, связано с особыми локальными геофизическими условиями.

3. Обнаруженные долгопериодические когерентные колебания характеристик локального геомагнитного поля и глобальных изменений длительности суток, солнечной активности, аномалий глобальной температуры подтверждают гипотезу о существовании общего механизма локальных и глобальных колебаний. Изучение многолетних связей локальных и глобальных природных процессов необходимо для построения более точных экологических и климатических прогнозов.

4. Общая напряженность геомагнитного поля в Крыму за период 1900—2014 гг. возрастает в северо-восточном направлении.

Список литературы

1. Берри Б. Л. Синхронные процессы в оболочках Земли и их космические причины // Вестник МГУ. 1991. Сер. 5, №1. С. 20—27.
2. Курбасова Г. С., Вольвач А. Е. Вейвлет-анализ наземных и космических измерений локальной инсоляции // Космическая наука и технология. 2014. Т. 20, № 4. С. 42—49.
3. Марпл С. Л. мл. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1990. 584 с.
4. Dickey J. O., Marcus S. L., de Viron O. Air Temperature and Anthropogenic Forcing: Insights from the Solid Earth // J. Climate. 2011. № 24. С. 569—574.
5. Курбасова Г. С., Вольвач А. Е. Аномалии инсоляции полуострова Крым по наблюдениям из космоса. В кн. : 24-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2014 (Севастополь, 7—13 сент. 2014 г.). 2014. С. 1085—1086.
6. Kurbasova G. S., Korsun A. A., Rykhlova L. V., Rybalova M. N., Shlikar G. N. Statistical Correlations between 10-year Variations of Annual Mean Geodynamical, Geophysical, and Heliophysical Data // Astronomy Reports. 1997. Т. 41, №. 1. С. 128—134.
7. IERS Web site map, Data Products. 2014. [электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://hpiers.obspm.fr/>
8. NGDC Geomagnetic Calculators. 2014. [электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://www.ngdc.noaa.gov>
9. Table Data: SIDC – Solar Influences Data Center. 2014. [электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://www.sidc.be/silso/datafiles>
10. Table Data: Global and Hemispheric Monthly Means and Zonal Annual Means. 2014. [электронный ресурс]. Режим доступа.: URL: <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata>

References

- [1] B. L. Berry, “Sinkhronnyye protsessy v obolochkakh Zemli i ikh kosmicheskiye prichiny [Synchronous processes in the Earth’s shells and their cosmic causes],” *Vestnik MGU*, Ser. 5, no 1, pp. 20–27, 1991. (in Russ.).

- [2] G. S. Kurbasova and A. E. Vol'vach, "Veyvlet-analiz nazemnykh i kosmicheskikh izmeneniy lokal'noy insolyatsii [Wavelet analysis of ground and space measurements of local insolation]," *Kosmicheskaya nauka i tekhnologiya*, vol. 20, no. 4, pp. 42–49, 2014. (in Russ.).
- [3] S. L. Marpl jr. *Digital Spectral Analysis and its Applications*, Moscow, Mir, 1990. (in Russ.).
- [4] Jean O. Dickey et al. "Air Temperature and Anthropogenic Forcing: Insights from the Solid Earth," *J. Climate*, no. 24, pp. 569–574, 2011.
- [5] G. S. Kurbasova and A. E. Volvach, "The insolation anomalies on the Crimean peninsula with observations from space," in *Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo), 2014 24th International Crimean Conference*, 2014, pp. 1085–1086. (in Russ.).
- [6] G. S. Kurbasova et al. "Statistical Correlations between 10-year Variations of Annual Mean Geodynamical, Geophysical, and Heliophysical Data," *Astronomy Reports*, vol. 41, no. 1, pp.128–134, 1997.
- [7] IERS Web site map, Data Products. 2014. URL: <http://hpiers.obspm.fr/>
- [8] NGDC Geomagnetic Calculators. 2014. URL: <http://www.ngdc.noaa.gov>
- [9] Table Data: SIDC – Solar Influences Data Center. 2014. URL: <http://www.sidc.be/silso/datafiles>
- [10] Table Data: Global and Hemispheric Monthly Means and Zonal Annual Means. 2014. URL: <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata>

Информация об авторах

Вольвач Александр Евгеньевич, доктор физико-математических наук, заместитель директора по научной работе ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым, Российская Федерация.

Курбасова Галина Сергеевна, кандидат физико-математических наук, заведующая лабораторией геодинамики ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым, Российская Федерация.

Information about the authors

Alexandr E. Volvach, Dr. Sci., FSBSI "Crimean Astrophysical Observatory of RAS", Nauchni, Crimea, Russian Federation.

Galina S. Kurbasova, Cand. Sci. (Eng.), head of laboratory of FSBSI "Crimean Astrophysical Observatory of RAS", Nauchni, Crimea, Russian Federation.