

УДК 523.9

Обнаружение киломазера водяного пара в Галактике

¹ Вольвач Л. Н., ¹ Вольвач А. Е., ² Ларионов М. Г.

¹ Отдел радиоастрономии и геодинамики,
Крымская астрофизическая обсерватория
Ялта, 298688, Российская Федерация

² Астрокосмический центр Физического института им. П. Н. Лебедева РАН
Москва, 117810, Российская Федерация
volvach@bk.ru

Получено: 14 сентября 2018 г.

Отрецензировано: 23 сентября 2018 г.

Принято к публикации: 25 сентября 2018 г.

Аннотация: Представлены результаты длительного мониторинга галактического мазерного источника IRAS 18316-0602 (G25.65+1.05) в линии водяного пара (переход $6^{16}-5^{23}$, частота линии $f=22.235$ ГГц), выполненные на радиотелескопах RT-22 (Симеиз). Более точное расстояние, полученное для IRAS 18316-0602 (12.5 кпк), и значение плотности потока излучения в максимуме вспышки ($\approx 1.3 \cdot 10^5$ Ян) делают этот источник самым мощным галактическим киломазером.

Ключевые слова: радиотелескоп, радиоизлучение, вспышка, мазер.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Вольвач Л. Н., Вольвач А. Е., Ларионов М. Г. Обнаружение киломазера водяного пара в Галактике // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2018. Т. 1, № 4. С. 341—349.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Вольвач, Л. Н. Обнаружение киломазера водяного пара в Галактике / Л. Н. Вольвач, А. Е. Вольвач, М. Г. Ларионов // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2018. Т. 1, № 4. — С. 341—349.

Detection of the kilomaser of water vapor in the Galaxy

L. N. Volvach¹, A. E. Volvach¹, and M. G. Larionov²

¹ *Radio Astronomy and Geodynamics Department, Crimean Astrophysical Observatory
Yalta, 298688, Russian Federation*

² *Astro Space Center, P. N. Lebedev Physical Institute, RAS
Moscow, 117810, Russian Federation
volvach@bk.ru*

Received: September 14, 2018

Peer-reviewed: September 23, 2018

Accepted: September 25, 2018

Abstract: *The results of long-term monitoring of the Galactic maser source IRAS 18316-0602 (G25.65+1.05) in the water-vapor line at frequency $f = 22.235$ GHz (616–523 transition) carried out on the 22-m Simeiz radio telescopes are reported. The accurate distance estimate for IRAS 18316-0602 (12.5 kpc) and the flux density at the flare maximum ($\approx 1.3 \times 10^3$ Jy) makes this the most powerful Galactic kilomaser known.*

Keywords: *radio telescope, radio emission, flash, maser.*

For citation (IEEE): L. N. Volvach et al. “Detection of the kilomaser of water vapor in the Galaxy,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 1, no. 4, pp. 341–349, 2018. (In Russ.). doi: 10.15826/icrt.2018.01.4.26

1. Введение

Источник IRAS 18316-0602 связан с сверхкомпактной H_{II} областью G25.65+1.05 [1]. С целью нахождения спектрального распределения энергии излучения (SED) IRAS 18316-0602 исследовался в радиодиапазоне в непрерывном спектре на частотах 5 и 8 ГГц [2, 3]. Наблюдения объекта в субмиллиметровом диапазоне длин волн (450—1100 μm) проводились в 1995 г. [4, 5]. Линия CO была обнаружена в источнике на длине волны 2.6 мм в 1991 г. Мак Катчеоном [3]. С положительным результатом были также проведены наблюдения линий CS и NH_3 [6].

Как мазер H_2O и метанольный мазер, IRAS 18316-0602 протектирован в 1994—1996 гг. [7—9]. Исследователями отмечалось, что, несмотря на ничтожную долю мощности мазера по отношению к болометрической светимости газово-пылевого облака — 10^{-9} , замечена корреляция между величиной мазера H_2O и светимостью материнского облака в далеком инфракрасном диапазоне (60 μm).

Во время открытия *IRAS 18316-0602* его интегральный поток в линии H_2O был $F_{\nu} \approx 1000$ Ян. По данным наших наблюдений временами поток падал до уровня около 10 Ян.

2. Оборудование и наблюдения

Для приема и регистрации сигналов от источников в линии водяного пара на РТ-22 КрАО использовался модернизированный спектрально-поляриметрический радиометр с фурье-спектральным анализатором параллельного типа, который имел 512 и/или 2048 каналов и разрешение 8 и 2 кГц (105 и 26 м/с по лучевой скорости в линии H_2O соответственно) [10]. Обработка данных проводилась с учетом поглощения в атмосфере Земли и величины эффективной площади радиотелескопа от угла места.

Полоса приема информации составляла 4 МГц при использовании системы регистрации Марк-5В+. Программное обеспечение создано в отделе радиоастрономии КрАО. Шумовая температура системы $T_{ш}$ и поглощение в атмосфере определялись по калибровочной ступеньке, «разрезам атмосферы» и фиксированным температурным перепадам на апертуре радиотелескопа. Шумовая температура $T_{ш}$ варьировалась в пределах (150—200) К в зависимости от погодных условий. Калибровка по потоку осуществлялась с использованием источников *DR 21*, *Vir-A*, *Cyg-A*. Ширина диаграммы направленности радиотелескопа на 22 ГГц составляла 150 угл. сек. Чувствительность радиотелескопа была 13 Ян/К.

Приемная система, работающая на длине волны 1.35 см, устанавливалась во вторичном фокусе РТ-22. Перестраиваемые гетеродины, синхронизируемые высокостабильной частотой 5 МГц от водородного стандарта частоты *VCH-1005*, обеспечивали преобразование входных частот приема в промежуточную частоту с полосой 4 МГц [11]. Цикл наблюдений мазерных линий состоял в накоплении сигнала в течение (5—10) минут при наведении на источник (*on*) и при отведении с источника на градус в сторону от источника (*off*). Циклы могли повторяться для достижения необходимого отношения сигнал/шум.

3. Наблюдения

Наблюдения за этим источником были начаты на РТ-22 КрАО в 2000 г., но проводились эпизодически. В объекте не было зафиксировано серьезных подъемов плотности потока излучения. На рис.1 показан график зависимости плотности потока в линии водяного пара в зависимости от эпохи наблюдений. Основная масса данных, показанных на графике,

опубликована в работах [12, 13, 14] (крестиками), данные наших наблюдений помечены кружками.

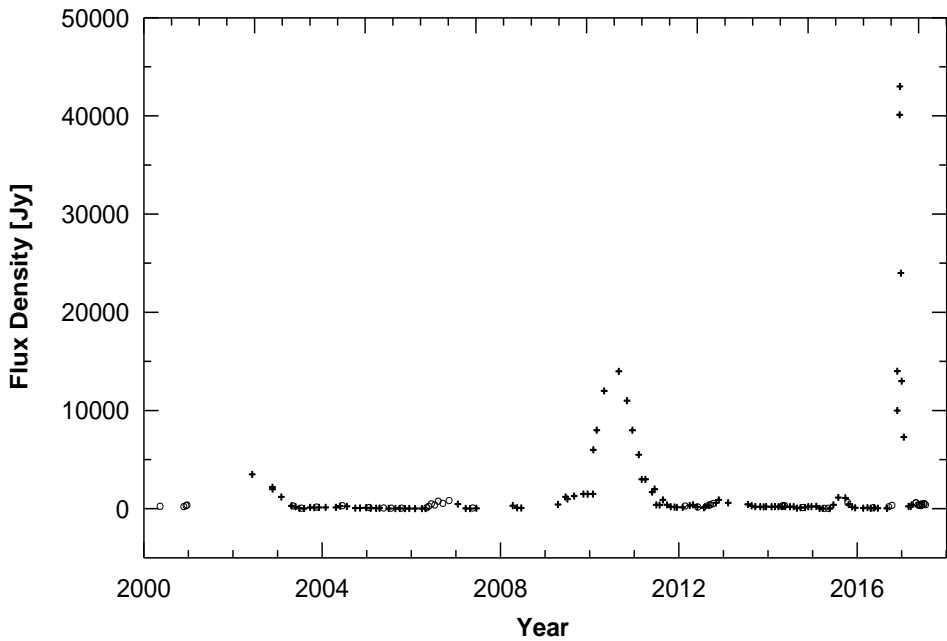


Рис. 1. Долговременный мониторинг *IRAS 18316-0602* в линии водяного пара [14, 15].

Fig. 1. Long-term monitoring of *IRAS 18316-0602* in the water vapor line [14, 15]

На рис.1 видно, что в течение промежутка времени с 2000 г. по август 2017 г. произошли 3 изолированные большие вспышки с нарастающей по времени амплитудой. И хотя максимум вспышки 2002 г. не удалось прописать полностью, видно, что она была меньше следующего максимума в 2010—2011 гг. Вспышки конца 2016 г. по амплитуде больше двух предыдущих [13].

Наряду с увеличением амплитуды вспышек со временем отмечается обратная тенденция изменения длительности вспышки. Длительность вспышки 2002 г. составляла около 2 лет. Продолжительность процесса 2010—2011 гг. уменьшилась вдвое — до одного года. Всплеск потока в конце 2016 г. сократился до одного месяца. Нельзя исключить возможность, что мы имеем дело с разными объектами, вспыхивающими в 2002, 2010—2011 и 2016 гг.

По данным работы [15] *IRAS 18316-0602* находится на расстоянии около 3.3 кпк от Солнца. В таком случае он должен иметь болометриче-

скую светимость $L_{\text{бол}} \approx 2.5 \cdot 10^4 L_{\odot}$. Основная доля светимости, обеспеченная газом-пылевым облаком, сосредоточена в инфракрасном и субмиллиметровом диапазонах волн. Это значение на два порядка ниже светимости ярчайших объектов каталога *IRAS*. Столь невысокая светимость приводит к классу возбуждающей звезды *B0* ($T_{\text{эфф}} \approx 3 \cdot 10^4 \text{ K}$) и сравнительно невысокой плотности газа $n_{\text{H}} \approx 2 \cdot 10^4$ [16].

Ситуация изменилась существенным образом после появления данных измерения динамических расстояний большого количества галактических мазерных объектов [17]. Новые данные о расстоянии до источника получены в 2011 г. с использованием методики анализа спектров нейтрального водорода H_I в направлениях локализации мазеров метанола (6.7 ГГц). Из общей выборки метанольных мазеров были отобраны 442 источника, среди которых был и *IRAS 18316-0602*. Кинематические расстояния до источников определялись в рамках модели кривой галактического вращения при круговом движении объектов вокруг центра Галактики. При этом использовались уточненные данные скорости движения Солнца вокруг центра Галактики — 246 км/с. Согласно проведенным исследованиям, кинематическое расстояние до объекта *G025.650+1.050* (*IRAS 18316-0602*) составляет 12.5 кпк. Важно, что это значение было определено для диапазона лучевых скоростей в этом мазерном источнике — 40.6—41.9 км/с. Ближе к данному диапазону находятся линии водяного пара, которые вспыхивали в *IRAS 18316-0602* в конце 2016 г. и сентябре 2017 г. — феврале 2018 г. По этим данным *IRAS 18316-0602* находится за центром Галактики и является одним из самых далеких мазеров внутри нашей Галактики.

В соответствии с полученным расстоянием до мазера болометрическая светимость ИК источника $L_{\text{бол}} \approx 5 \cdot 10^5 L_{\odot}$. На основе этих данных *IRAS 18316-0602* находится в одном ряду с наиболее яркими представителями галактических ИК источников: *IRAS 18507+0110* ($L_{\text{бол}} \approx 7.5 \cdot 10^5 L_{\odot}$), *IRAS 18314-0720* ($L_{\text{бол}} \approx 1.0 \cdot 10^6 L_{\odot}$), *IRAS 18449-0158* ($L_{\text{бол}} \approx 1.8 \cdot 10^6 L_{\odot}$). При этом класс возбуждающей звезды следует классифицировать как *O4* с эффективной температурой поверхности $5.8 \cdot 10^4 \text{ K}$. То есть мы можем иметь дело с массивным горячим гигантом в десятки солнечных масс, способным ионизовать плотную среду вокруг себя на расстоянии 10^{17} — 10^{18} см [14, 15].

Таким образом, источник *IRAS 18316-0602* из разряда заурядных объектов переходит в категорию самого мощного галактического киломазера, превышающего мощность *W49N* и *Orion KL*. Мы учли, что пиковое

значение плотности потока в линии водяного мазера в полосе 50 кГц в рассматриваемом источнике в последней двойной вспышке в сентябре 2017 г. — феврале 2018 г. приблизилось к отметке $1.3 \cdot 10^5$ Ян (рис. 2) [14, 15].

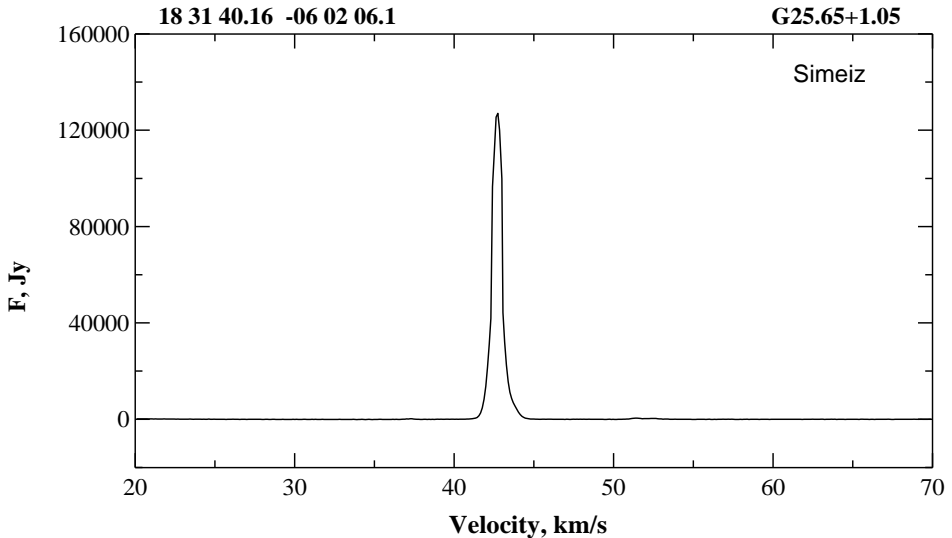


Рис. 2. Образец записи линии водяного пара в $G25.65+1.05$ ($IRAS\ 18316-0602$) в максимуме второй вспышки (2017—2018) гг. [14, 15].

Fig. 2. A sample of recording the water vapor line in $G25.65+1.05$ ($IRAS\ 18316-0602$) at the maximum of the second flash (2017–2018) [14, 15]

4. Заключение

1. Выполнен длительный мониторинг галактического киломазера $IRAS\ 18316-0602$ ($G25.65+1.05$) в линии водяного пара (переход $6_{16} - 5_{23}$, частота линии $f=22,235$ ГГц) с использованием радиотелескопа РТ-22 КрАО.

2. Более точное расстояние, полученное для $IRAS\ 18316-0602$ (12.5 кпк), и значение плотности потока излучения в максимуме вспышки ($\approx 1.3 \cdot 10^5$ Ян) делают этот источник самым мощным галактическим киломазером. Проведенный мониторинг объекта дал возможность получить детальную форму кривой плотности потока излучения во время уникальной двойной вспышки, продолжавшейся с сентября 2017 г. по февраль 2018 г.

Список литературы

1. Kurtz S., Churchwell E., Wood D. O. S. Ultracompact H II regions. 2 : New high-resolution radio images // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1994. Т. 91. С. 659—712.

2. McCutcheon W. H., Dewdney P. E., Purton C. R., Sato T. Protostellar candidates in a sample of bright far-infrared IRAS sources // *Astronomical Journal*. Т. 101. Апрель 1991. С. 1435—1465.
3. Kurtz S., Hofner P. Water masers toward ultracompact H II regions // *The Astronomical Journal*. Август 2005. Т. 130, С. 711—720.
4. Jenness T., Scott P. F., Padman R. Studies of embedded far infrared sources in the vicinity of H₂O masers – I. Observations // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 1995. Т. 276, вып 3. С. 1024—1040.
5. McCutcheon W. H., Sato T., Purton C. R., Matthews H. E., Dewdney P. E. Millimeter and Submillimeter Wavelength Continuum Observations of Massive Young Stellar Objects // *Astronomical Journal*. 1995. Т. 110. С. 1762—1773.
6. Bronfman L., Nyman L.-A., May J. A. CS(2–1) survey of IRAS point sources with color characteristics of ultra-compact H II regions // *Astronomy and Astrophysics Supplement*. Январь 1996. Т. 115. С. 81—95.
7. Brand J., Cesaroni R., Caselli P., Catarzi M., Codella C., Comoretto G. The Arcetri catalogue of H₂O maser sources update // *Astronomy and Astrophysics Suppl*. Март 1994. Т. 103. С. 541—572.
8. Van der Walt D. J., Gaylard M. J., MacLeod G. C. New detections of 5₁–6₀ A⁺-methanol masers towards IRAS sources // *Astronomy and Astrophysics Supplement*. Апрель 1995. Т. 110. С. 81—98.
9. Codella C., Felli M., Natale V. The occurrence of H₂O masers in the early stages of star formation // *Astronomy and Astrophysics*. Июль 1996. Т. 311. С. 971—980.
10. Нестеров Н. С., Вольвач А. Е., Стrepка И. Д., Шульга В. М., Лебедь В. И., Пили пенко А. М. Приемное устройство на частоту 22 ГГц для международной РСДБ станции «Симеиз» // *Радиофизика и радиоастрономия*. 2000. Т. 5, № 3. С. 320—322.
11. Вольвач А. Е., Вольвач Л. Н., Стrepка И. Д., Антюфеев А. В., Мышенко В. В., Зубрин С. Ю., Шульга В. М. Некоторые результаты совместных исследований НИИ «КРАО» и РИ НАНУ областей звездообразования в сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн // *Изв. Крымской Астрофиз. obs*. 2009. Т. 104, № 6. С. 72—79.
12. Толмачев А. М., Лехт Е. Е., Рудницкий Г. М., Пашенко М. И. Сверхвысшишки мазерного излучения НО в направлении протозвездного объекта G25.65+1.05 (IRAS 18316-0602) // *Астрономический журнал*. 2018. Т. 95, № 3. С. 224—236.
13. Volvach L. N., Volvach A. E., Larionov M. G., MacLeod G. C., van den Heever S. P., Wolak P., Olech M. Powerful bursts of water masers towards G25.65+1.05 // *Monthly Not. Roy. Astron. Soc*. 2019. Т. 482, вып 1. С. L90—L92.
14. Вольвач Л. Н., Вольвач А. Е., Ларионов М. Г., МакЛеод Г. К., ван ден Хеever С. П., Волак П., Олеч М., Ипатов А. В., Иванов Д. В., Михайлов А. Г., Мельника А., Мен-тен К., Беллоче А., Вейс А., Мазумдар П., Шуллер Ф. Гигантская вспышка мазера водяного пара в галактическом источнике IRAS 18316-0602 // *Астрономический журнал*. 2019. Т. 96, № 1. С. 51—69.
15. Chan S. J., Henning T., Schreyer K. A catalogue of massive young stellar objects // *Astronomy and Astrophysics Supplement*. Февраль 1996. Т. 115. С. 285—294.
16. Bhaswati M., Ghosh S. K., Understanding the Spectral Energy Distributions of the Galactic Star Forming Regions IRAS 18314–0720, 18355–0532 and 18316–0602 // *Journal of Astrophysics and Astronomy*. Июнь 1999. Т. 20. С. 1—22.
17. Green J. A., McClure-Griffiths N. M. Distances to southern 6.7-GHz methanol masers through H₁ self-absorption // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2011. Т. 417, no 4. С. 2500—2553.

References

- [1] S. Kurtz et al. "Ultracompact H II regions. 2: New high-resolution radio images," *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, vol. 91, pp. 659–712, 1994.
- [2] W. H. McCutcheon et al. "Protostellar candidates in a sample of bright far-infrared IRAS sources," *Astr. J.*, vol. 101, pp. 1435–1465, 1991.
- [3] S. Kurtz and P. Hofner, "Water masers toward ultracompact H II regions," *Astron. J.*, vol. 130, pp. 711–720, 2005.
- [4] T. Jenness et al. "Studies of embedded far infrared sources in the vicinity of H₂O masers – I. Observations," *Mon. Not. R. Astr. Soc.*, vol. 276, pp. 1024–1040, 1995.
- [5] W. H. McCutcheon et al. "Millimeter and Submillimeter Wavelength Continuum Observations of Massive Young Stellar Objects," *Astr. J.*, vol. 110, pp. 1762–1773, 1995.
- [6] L. Bronfman et al. "CS(2–1) survey of IRAS point sources with color characteristics of ultra-compact H II regions," *Astr. Astrophys. (Suppl.)*, vol. 115, pp. 81–95, 1996.
- [7] J. Brand et al. "The Arcetri catalogue of H₂O maser sources update," *Astr. Astrophys. (Suppl.)*, vol. 103, pp. 541–572, 1994.
- [8] D. J. van der Walt et al. "New detections of 5₁–6₀ A⁺-methanol masers towards IRAS sources," *Astr. Astrophys. (Suppl.)*, vol. 110, pp. 81–98, 1995.
- [9] C. Codella et al. "The occurrence of H₂O masers in the early stages of star formation," *Astr. Astrophys.*, vol. 311, pp. 971–980, 1996.
- [10] N. S. Nesterov et al. "22 GHz Radiometer for International VLBI Station "Symeiz" Radiophysics and Radioastronomy," *Radio Physics and Radio Astronomy*, vol. 5, no. 3, pp. 320–322, 2000.
- [11] A. E. Volvach et al. "Nekotoryye rezul'taty sovmestnykh issledovaniy NII «KrAO» i RI NANU oblastey zvezdoobrazovaniya v santimetrovom i millimetrovom diapazonakh dlin voln [Some results of joint research of the scientific research institute CrAO and RI NASU of star-forming regions in the centimeter and millimeter wavelength ranges]," *Bull. of the Crimean Astrophys. Obs.*, vol. 104, no. 6, pp. 72–79, 2009.
- [12] A. M. Tolmachev et al. "Sverkhvspyshki mazernogo izlucheniya HO v napravlenii protozvezdnogo obyektu G25.65+1.05 (IRAS 18316-0602) [Super-flares of HO maser radiation in the direction of the protostellar object G25.65+1.05 (IRAS 18316-0602)]," *Astronomical Journal*, vol. 95, no. 3, pp. 224–236, 2018.
- [13] L. N. Volvach et al. "Powerful bursts of water masers towards G25.65+1.05," *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.*, vol. 482, iss 1, L90–L92, 2019.
- [14] L. N. Volvach et al. "Gigantskaya vspyshka mazera vodyanogo para v galakticheskom istochnike IRAS 18316-0602 [Giant flash of a maser of water vapor in the galactic source IRAS 18316-0602]," *Astronomical Journal*, vol. 96, no. 1, pp. 51–69, 2019.
- [15] S. J. Chan et al. "A catalogue of massive young stellar objects," *Astronomy and Astrophysics Supplement*, vol. 115, pp. 285–294, 1996.
- [16] M. Bhaswati and S. K. Ghosh, "Understanding the Spectral Energy Distributions of the Galactic Star Forming Regions IRAS 18314–0720, 18355–0532 and 18316–0602," *Astrophys. Astr.*, vol. 20, pp. 1–22, 1999.
- [17] J. A. Green and N. M. McClure-Griffiths "Distances to southern 6.7-GHz methanol masers through H_I self-absorption," *MNRAS*, vol. 417, pp. 2500–2553, 2011.

Информация об авторах

Вольвач Лариса Николаевна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым, Российская Федерация.

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

Ларионов Михаил Григорьевич, доктор физико-математических наук, заместитель руководителя Астрокосмического центра Физического института им. П. Н. Лебедева РАН г. Москва, 117810, Российская Федерация.

Information about the authors

Larisa N. Volvach, PhD. Sci., FSBSI “Crimean Astrophysical Observatory of RAS”, Nauchni, Crimea, Russian Federation.

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

Michail G. Larionov, Dr. Sci., Astro Space Center, P. N. Lebedev Physical Institute, RAS, Moscow, Russian Federation.