

УДК [530.12+530.145](082)

© Грунская Л. В., Исакевич В. В., Исакевич Д. В., 2024

РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ В ДИАПАЗОНЕ ГРАВИТАЦИОННО-ВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗДНЫХ СИСТЕМ

Грунская Л. В.^{a,1}, Исакевич В. В.^{b,2}, Исакевич Д. В.^{b,3}^a Владимирский государственный университет, г. Владимир, 600000, Россия.^b ООО Собственный вектор, Владимир, 600005, Россия.

Проанализирован процесс развития теоретических и экспериментальных исследований взаимосвязи земного электромагнетизма с гравитационно-волновыми астрофизическими процессами. Показано, что разработанный и запатентованный метод «Айгеноскопии» позволяет представлять временной ряд в виде некоррелированных компонент – собственных векторов ковариационной матрицы, построенный по результатам баз данных многолетнего мониторинга электромагнитного поля Земли. С использованием «Айгеноскопии» выявлены некогерентные составляющие, спектрально локализованные на частоте аксион-фотонного взаимодействия. Выделены признаки гравитационно-волнового характера обнаруженных компонент на частотах ГВ излучения РДЗС по базам данных электрического поля Земли станций наблюдения ВлГУ, Душети, Воейково, Верхнее Дуброво. Подтверждено предсказание Зельдовича Я.Б. и Новикова И.Д., что для РДЗС с высоким эксцентриситетом должно наблюдаться ГВ - излучение на высоких гармониках, в отличие от РДЗС с низким эксцентриситетом, у которых излучение ГВ наблюдается на второй гармонике.

Ключевые слова: Гравитационно-волновые астрофизические процессы, электромагнитное поле Земли, аксион-фотонные взаимодействия, айгеноскопия.

DEVELOPMENT OF STUDIES OF THE EARTH'S ELECTROMAGNETIC FIELD IN THE RANGE OF GRAVITATIONAL WAVE RADIATION BINARY STAR SYSTEMS

Grunskaya L. V.^{a,1}, Isakevich V. V.^{b,2}, Isakevich D. V.^{b,3}^a Vladimir State University, Vladimir, 600000, Russia.^b Eigenvector LLC, Vladimir, 600005, Россия.

The process of development of theoretical and experimental studies of the relationship between terrestrial electromagnetism and gravitational-wave astrophysical processes is analyzed. It is shown that the developed and patented “Eigenoscopy” method allows one to represent a time series in the form of uncorrelated components - eigenvectors of the covariance matrix, built based on the results of databases of long-term monitoring of the Earth's electromagnetic field. Using Eigenoscopy, incoherent components were identified, spectrally localized at the frequency of the axion-photon interaction. Signs of the gravitational wave nature of the detected components at the frequencies of GW radiation from the RDS are identified using the databases of the Earth's electric field at the observation stations VIGU, Dusheti, Voeikovo, and Verkhnee Dubrovo. The prediction by Zeldovich Ya.B. was confirmed, and Novikova I.D., that for an EDS with a high eccentricity, GW radiation should be observed at high harmonics, in contrast to EDS with a low eccentricity, in which GW radiation is observed at the second harmonic.

Keywords: Gravitational-wave astrophysical processes, electromagnetic field of the Earth, axion-photon interactions, eigenoscopy.

PACS: 02.90.+p, 04.80.Cc

DOI: 10.17238/issn2226-8812.2024.1.33-39

¹E-mail: grunsk@vlsu.ru²E-mail: eigenoscope@yandex.ru³E-mail: daniil.isakevitch@yandex.ru

Введение

В 1969 году в МГУ после посещений гравитационных семинаров Д.Д. Иваненко и в ходе обсуждений с Д.Д. Иваненко и В.Б. Брагинским была поставлена задача поиска в электромагнетизме отклика гравитационно-волновых процессов в природе. Решению такой задачи поспособствовало наличие у Владимирского государственного университета физического экспериментального полигона, на котором осуществляется мониторинг атмосферного электрического поля в инфранизкочастотном диапазоне с целью изучения атмосферных, сейсмических и астрофизических процессов.

Важнейшим событием в данных исследованиях оказалось обсуждение каталога двойных релятивистских звездных систем в 1993 году на 8-ой Гравитационной конференции в Пушкино с А.Б. Балакиным. Ключевым моментом этой дискуссии оказался тот факт, что частотный диапазон, в котором излучают ГВ-маяки оказался в диапазоне наших исследований на физическом полигоне. Балакиным А.Б. были получены точные решения уравнений аксионной электродинамики, которые продемонстрировали возможность аномального усиления электрического сигнала за счет аксион-фотонного взаимодействия во внешнем гравитационно-волновом поле. Согласно модели аксионно-фотонного взаимодействия, разработанной Балакиным А.Б., была получена оценка величины амплитуды геомагнитного поля на частоте ГВ излучения РДЗС [1–4].

Использование классического спектроанализатора (корреляционно-квадратурного приемника) с целью выявления сигналов на частотах шести ГВ источников с инфранизкочастотным ГВ излучением не дало ожидаемых результатов даже при длительности временных рядов в несколько десятков лет. Следующий этап в данных исследованиях связан с созданием совместно с Исакевичем В.В. и Исакевичем Д.В. метода обнаружения периодических энергонедоминирующих составляющих в экспериментальных временных рядах, названный нами «Айгеноскопия» (собственный вектор). Разработанный и запатентованный метод «Айгеноскопии» позволяет представлять временной ряд в виде некоррелированных компонент – собственных векторов ковариационной матрицы, построенный по результатам баз данных многолетнего мониторинга электромагнитного поля Земли [5, 7, 8].

1. Обнаружение признаков гравитационно-волнового характера компонент, обнаруженных в электрическом поле Земли

Все собственные векторы, полученные для исследуемого временного ряда, спектрально локализованы — каждый на своей частоте. В качестве меры спектральной локализации этих компонент использован индекс когерентности собственного вектора, представляющий собой отношение максимума амплитудного спектра этого вектора к среднему значению амплитудного спектра. Высокая чувствительность и избирательность этого метода основана на том, что спектральному анализу подвергается не сам временной ряд, а его отдельные некоррелированные компоненты.

На сегодня во временных рядах электрического и геомагнитного полей достоверно обнаружены сигналы на частотах гравитационно-волнового излучения более сорока релятивистских двойных звездных систем с исчезающе малой вероятностью ложной тревоги, не превышающей уровень 10-17. Список РДЗС с малым эксцентриситетом взят из списка пульсаров и двойных звездных систем с малым эксцентриситетом, составленного В.Дж. Джонстоном [6].

На всех станциях наблюдения (Душети, Воейково, Верхнее Дуброво, ВлГУ) выявлены спектрально локализованные на удвоенных частотах обращения РДЗС с малым эксцентриситетом компоненты в вертикальной составляющей напряженности электрического поля Земли, которые имеют действующее значение амплитуд, превышающее медианное значение [7]. На рис.1 представлено обнаружение сигнала в вертикальной составляющей электрического поля Земли (станция Воейково) на частоте гравитационно-волнового излучения двойной звездной системы РДЗС [J0613–0200] с малым эксцентриситетом. Обнаруженные компоненты, спектрально локализованные на удвоенных частотах обращения РДЗС с малым эксцентриситетом, имеют индекс когерентности и ам-

плитуду, которые статистически значимо отличаются от индекса когерентности и амплитуды компонент, спектрально локализованных на частотах не совпадающих с частотами гравитационного излучения РДЗС.

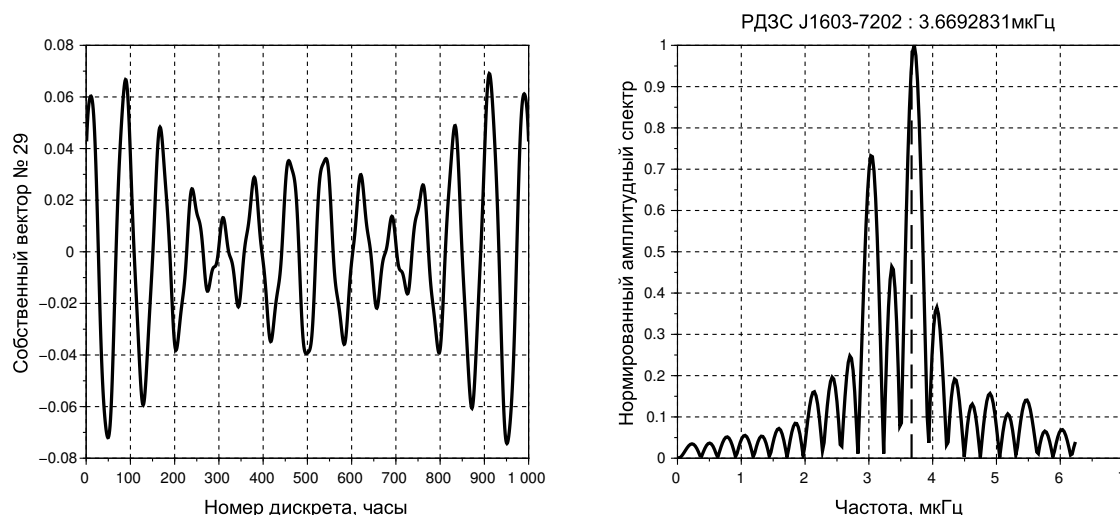


Рис. 1. Слева — собственный вектор № 134 временного ряда станции Воейково на интервале анализа 1000 часов с действующим значением 0.72 В/м. Справа — нормированный к своему максимальному значению амплитудный спектр собственного вектора № 134.

С помощью анализатора собственных векторов и компонент сигнала (айгеноскоп) решена задача выявления воздействия гравитационных волн релятивистских двойных звездных систем (РДЗС) с высоким эксцентриситетом на вертикальную составляющую напряженности электрического поля (E_z) в приземном слое атмосферы Земли на высоких гармониках частот обращения РДЗС. Результаты получены с использованием данных мониторинга на четырех пространственно разнесенных станциях наблюдений E_z [8].

На рис. 2 представлено обнаружение сигнала в вертикальной составляющей электрического поля Земли (станция Воейково) на частоте гравитационно-волнового излучения двойной звездной системы РДЗС [J1811 – 1736] с высоким эксцентриситетом.

Так как обнаруженный эффект соответствует известным представлениям о зависимости энергии гравитационного излучения РДЗС от эксцентриситета и номера гармоники частоты обращения, то это создает предпосылки для подтверждения гравитационно-волнового воздействия исследованных РДЗС на электрическое поле Земли.

Таким образом, подтверждено предсказание Зельдовича Я.Б. и Новикова И.Д. [9], что для РДЗС с высоким эксцентриситетом должно наблюдаться ГВ - излучение на высоких гармониках, в отличие от РДЗС с низким эксцентриситетом, у которых излучение ГВ наблюдается на второй гармонике.

В ходе проведенных экспериментальных исследований были получены оценки амплитуды компонент на частотах гравитационно-волнового излучения по магнитному полю: 0,04 нТл-0,16 нТл и по электрическому полю Земли: 0,05 В/м-0,5 В/м. Полученные оценки величины амплитуды на частотах ГВ РДЗС в электрическом и геомагнитном поле не противоречат выводам разработанных моделей [3, 10].

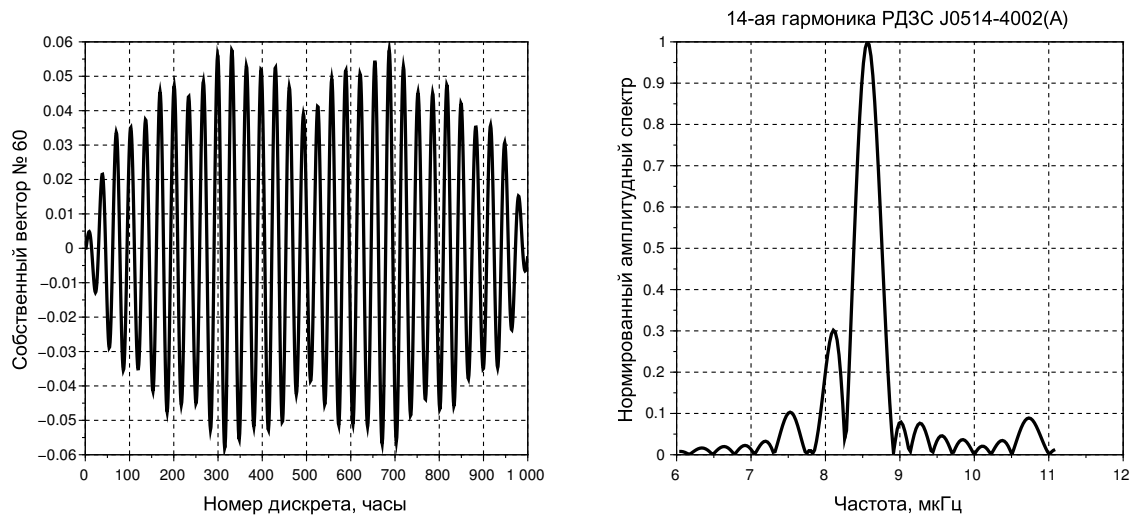


Рис. 2. Представлено обнаружение сигнала в вертикальной составляющей электрического поля Земли (станция Воейково) на частоте гравитационно-волнового излучения двойной звездной системы РДЗС [J1811 – 1736] с высоким эксцентриситетом.

2. Обнаружение компонент электрического поля Земли на частоте аксион-фотонного взаимодействия

С использованием айгеноскопии выявлены некогерентные составляющие, спектрально локализованные на частоте аксион-фотонного взаимодействия $5 \cdot 10^{-6}$ Гц [3]. Вероятность ложного выявления по всем про-анализированным временным рядам E_z не превышает 0.06. Обнаружен факт амплитудных модуляций некогерентных составляющих, спектрально локализованных на частотах гравитационно-волнового излучения двойных звёздных систем, с модулирующей частотой, совпадающей с частотой аксион-фотонного взаимодействия. Вероятность ложного обнаружения факта таких модуляций по всем проанализированным временным рядам E_z ничтожно мала и не превышает $1.5 \cdot 10^{-15}$. Обнаружение таких модуляций с высокой достоверностью подтверждает факт аксион-фотонного взаимодействия. Выдвинута и предварительно подтверждена гипотеза о широком распространении среди квазипериодических компонент вертикальной составляющей электрического поля пограничного слоя атмосферы Земли компонент, модулированных частотой аксион-фотонного взаимодействия, равной $5 \cdot 10^{-6}$ Гц. Выделение годичной модуляции в амплитудных спектрах собственных векторов на частоте $5e-6$ Гц по станциям наблюдения: Душети, Воейково, Верхняя Дуброва, ВлГУ. На рис.3 представлено обнаружение сигнала в вертикальной составляющей электрического поля Земли (станция Владимирского государственного университета) на частоте аксион-фотонного взаимодействия.

Таким образом, подтверждены выводы полученные Балакиным А.Б. на основе неминимальной аксионной электродинамики, которые продемонстрировали возможность аномального усиления электрического сигнала за счет аксион-фотонного взаимодействия во внешнем гравитационно-волновом поле.

Заключение

Выделены признаки гравитационно-волнового характера обнаруженных источников ГВ излучения: выявлена суточная и годичная модуляция ГВ сигналов от РДЗС, свидетельствующая о внеземном происхождении источников; на всех станциях наблюдения (Душети, Воейково, Верхнее Дуброво, ВлГУ) выявлены спектрально локализованные на удвоенных частотах обращения РДЗС

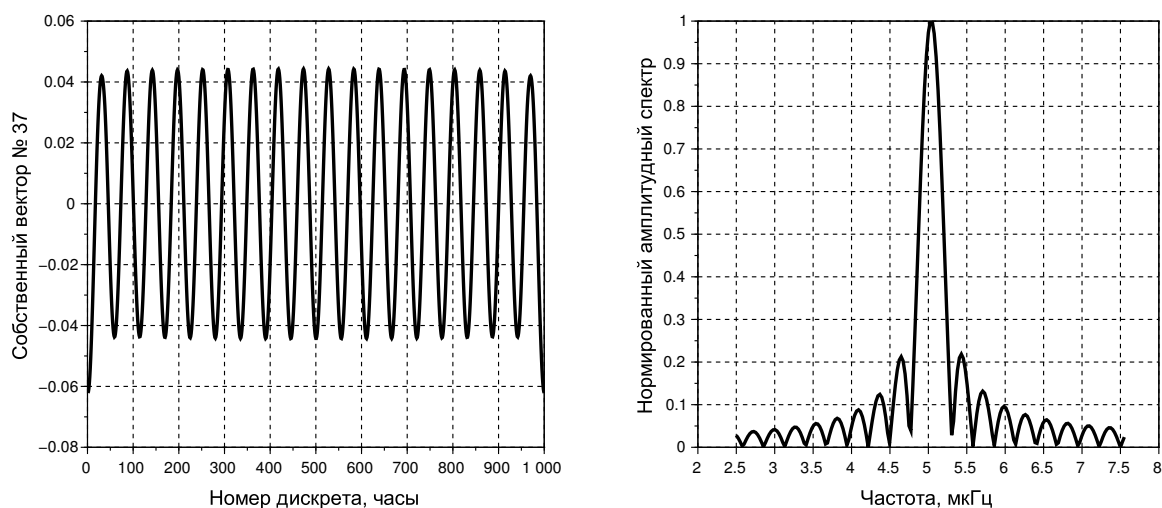


Рис. 3. Слева — собственный вектор № 37 временного ряда станции ВЛГУ. Справа — нормированный к своему максимальному значению амплитудный спектр собственного вектора №37.

с малым эксцентриситетом компоненты в вертикальной составляющей напряженности электрического поля Земли, которые имеют действующее значение амплитуд, превышающее медианное значение; обнаруженные компоненты, спектрально локализованные на удвоенных частотах обращения РДЗС с малым эксцентриситетом, имеют индекс когерентности и амплитуду, которые статистически значимо отличаются от индекса когерентности и амплитуды компонент, спектрально локализованных на частотах не совпадающих с частотами гравитационного излучения РДЗС; доказано наличие пространственных корреляций некоррелированных компонент, спектрально локализованных вблизи гравитационно-волновых частот РДЗС на пространственно разнесенных станциях наблюдения; подтверждено предсказание Зельдовичем и Новиковым наличие гравитационно-волнового излучения РДЗС с высоким эксцентриситетом на высоких гармониках, в отличие от РДЗС с низким эксцентриситетом, у которых максимальная энергия излучение ГВ наблюдается на второй гармонике. С использованием айгеноскопии выявлены некогерентные составляющие, спектрально локализованные на частоте аксион-фотонного взаимодействия 5-10-6 Гц.

Поиск адекватных механизмов обнаруженной взаимосвязи – задача теоретическая, а сам факт взаимосвязи компонент напряженности электрического поля в приземном слое атмосферы с периодами обращения РДЗС мы считаем экспериментально доказанным.

Список литературы

1. Balakin A.B., Vakhrushev D.V. Critical character of gravitational wave modulation of electric and magnetic fields in isotopic media. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Fizika*, 1993, no. 9, pp. 28–33.
2. Balakin A.B., Lemos J.P.S. Singular behaviour of electric and magnetic fields in dielectric media in a non linear gravitational wave background. *Classical and Quantum Gravity*, vol. 18, no. 5, pp. 941–953.
3. Balakin A.B., Grunskaya L.V. Axion electrodynamics and dark matter fingerprints in the terrestrial magnetic and electric fields. *Reports on Mathematical Physics*, 2013, vol. 71, no. 1, pp. 45–67.
4. Balakin A.B., Ni W.-T. Anomalous character of the axion-photon coupling in a magnetic field distorted by a pp-wave gravitational background. *Classical and Quantum Gravity*, 2014, vol. 31, Id.
5. Грунская Л.В., Исакевич В.В., Исакевич Д.В. Анализатор собственных векторов и компонент сигнала. Патент на полезную модель РФ 116242, дата приоритета 30.09.2011.

6. Johnston Wm.R. List of pulsars in binary systems, <http://www.johnstonsarchive.net/relativity/binpulstable>
7. Grunskaya L.V., Isakevich V.V., Isakevich D.V., Lukyanov V.E. Gravitational Wave Track in the Electromagnetic Field of the Earth in the Infra-Low Frequency Range. *Russian Physics Journal*, January 2017, vol. 59, issue 9, pp. 1373–1379. <https://doi.org/10.1007/s11182-017-0919-8>.
8. Grunskaya L.V., Isakevich V.V., Isakevich D.V. On the Earth's Electric Field Components Spectrally Localized at the Gravitational Waves of the Relativistic Binary Star Systems. *Gravitation and Cosmology*, 2023, vol. 29, no. 3, pp. 282–292.
9. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. *Теория тяготения и эволюция звезд*. М.: Наука, 1971.
10. Grunskaya L.V., Isakevich V.V., Isakevich D.V. Model of the Influence of Gravity-Wave Radiation from Relativistic Double Star Systems on the Electric Field in the Troposphere. *Russian Physics Journal*, 2021, 64(3), pp. 496–503. <https://doi.org/10.1007/s11182-021-02355>.

References

1. Balakin A.B., Vakhrushev D.V. Critical character of gravitational wave modulation of electric and magnetic fields in isotopic media. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Fizika*, 1993, no. 9, pp. 28–33.
2. Balakin A.B., Lemos J.P.S. Singular behaviour of electric and magnetic fields in dielectric media in a non-linear gravitational wave background. *Classical and Quantum Gravity*, vol. 18, no. 5, pp. 941–953.
3. Balakin A.B., Grunskaya L.V. Axion electrodynamics and dark matter fingerprints in the terrestrial magnetic and electric fields. *Reports on Mathematical Physics*, 2013, vol. 71, no. 1, pp. 45–67.
4. Balakin A.B., Ni W.-T. Anomalous character of the axion-photon coupling in a magnetic field distorted by a pp-wave gravitational background. *Classical and Quantum Gravity*, 2014, vol. 31, Id.
5. Grunskaya L.V., Isakevich V.V., Isakevich D.V. Analizator sobstvennykh vektorov i komponent signala. RF utility model No.116242, priority date 30.09.2011.
6. Johnston Wm.R. List of pulsars in binary systems, <http://www.johnstonsarchive.net/relativity/binpulstable>
7. Grunskaya L.V., Isakevich V.V., Isakevich D.V., Lukyanov V.E. Gravitational Wave Track in the Electromagnetic Field of the Earth in the Infra-Low Frequency Range. *Russian Physics Journal*, January 2017, vol. 59, issue 9, pp. 1373–1379. <https://doi.org/10.1007/s11182-017-0919-8>.
8. Grunskaya L.V., Isakevich V.V., Isakevich D.V. On the Earth's Electric Field Components Spectrally Localized at the Gravitational Waves of the Relativistic Binary Star Systems. *Gravitation and Cosmology*, 2023, vol. 29, no. 3, pp. 282–292.
9. Zel'dovitch Ya.B., Novikov I.D. *Teoriya tyagoteniya i evolyuciya zvezd*. Moscow: Nauka, 1971.
10. Grunskaya L.V., Isakevich V.V., Isakevich D.V. Model of the Influence of Gravity-Wave Radiation from Relativistic Double Star Systems on the Electric Field in the Troposphere. *Russian Physics Journal*, 2021, 64(3), pp. 496–503. <https://doi.org/10.1007/s11182-021-02355>.

Авторы

Грунская Любовь Валентиновна, д.т.н., профессор, Владимирский государственный университет, ул. Горького, д. 87, г. Владимир, 600000, Россия.

E-mail: grunsk@vlsu.ru

Исакевич Валерий Викторович, к.т.н., директор по развитию, ООО Собственный вектор, ул. Горького, д. 50, г. Владимир, 600005, Россия.

E-mail: eigenoscope@yandex.ru

Исакевич Даниил Валерьевич, технический директор, ООО Собственный вектор, ул. Горького, д. 50, г. Владимир, 600005, Россия.

E-mail: daniil.isakevitch@yandex.ru

Просьба сослаться на эту статью следующим образом:

Грунская Л. В., Исакевич В. В., Исакевич Д. В. Развитие исследований электромагнитного поля Земли в диапазоне гравитационно-волнового излучения двойных звездных систем. *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия*. 2024. № 1. С. 33–39.

Authors

Grunskaya Lyubov Valentinovna, D.Sc., Professor, Vladimir State University, Gorkogo st., 87, Vladimir, 600000, Russia.

E-mail: grunsk@vlsu.ru

Isakevich Valery Victorovich, Ph.D., Chief Development Officer, Eigenvector LLC, Gorkogo st., 50, Vladimir, 600005, Russia.

E-mail: eigenoscope@yandex.ru

Isakevich Daniil Valeryevich, Chief Technical Officer, Eigenvector LLC, Gorkogo st., 50, Vladimir, 600005, Russia.

E-mail: daniil.isakevitch@yandex.ru

Please cite this article in English as:

Grunskaya L. V., Isakevich V. V., Isakevich D. V. Development of studies of the Earth's electromagnetic field in the range of gravitational wave radiation binary star systems. *Space, Time and Fundamental Interactions*, 2024, no. 1, pp. 33–39.