

УДК: 577.3 043

Григорьев П. Е.<sup>1,2</sup>, Побаченко С. В.<sup>3</sup>, Соколов М. В.<sup>3</sup>, Силкин М. Ю.<sup>4</sup>

## ДИНАМИКА АМПЛИТУДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЭГ МОЗГА ЧЕЛОВЕКА В ЕСТЕСТВЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕННО НЕОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

<sup>1</sup> Кафедра медицинской физики и информатики, Физико-технический институт (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», 295051, бульвар Ленина, 5/7, Симферополь, Россия

<sup>2</sup> Кафедра общей и социальной психологии, Институт психологии и педагогики ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», 625007, проезд 9 Мая, 5, Тюмень, Россия

<sup>3</sup> Кафедра космической физики и экологии, Радиофизический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634028, проспект Ленина, 36, Томск, Россия

<sup>4</sup> ФГБУН «Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН», 298188, ул. Науки, 24, п. Курортное, Феодосия, Россия

**Для корреспонденции:** Григорьев Павел Евгеньевич, доктор биологических наук, заведующий кафедрой медицинской физики и информатики, Физико-технический институт (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», e-mail: grigorievpe@cfuv.ru

**For correspondence:** Pavel E. Grigoriev, Dr. Sci. Biol., head of the department of medical physics and informatics, Physical and Technical Institute, Vernadsky CFU, e-mail: grigorievpe@cfuv.ru

### Information about authors:

**Grigoriev P. E.**, <http://orcid.org/0000-0001-7390-9109>

**Pobachenko S. V.**, <http://orcid.org/0000-0003-4563-0316>

**Sokolov M. V.**, <http://orcid.org/0000-0002-1974-1496>

**Silkin M. U.**, <http://orcid.org/0000-0003-1862-0446>

### РЕЗЮМЕ

В работе представлены результаты экспериментальных исследований динамики показателей функционального состояния человека, находящегося в пределах зоны, характеризующейся аномальными параметрами пространственного распределения значений вектора магнитного поля. Исследования включали в себя геофизическую и биофизическую части и проводились в естественных условиях на территории Карадагского природного заповедника полуострова Крым. Геофизическая часть заключалась в проведении магниторазведочных работ, в результате чего была выявлена зона с градиентным магнитным полем естественного происхождения. Биофизическая часть заключалась в проведении измерений параметров функционального состояния волонтеров методом ЭЭГ. Исследования проходили в естественных условиях вдали от различных факторов техногенного происхождения, которые могли бы повлиять на результаты, кроме того, в дни проведения измерений гелиогеофизическая обстановка была относительно спокойной и не зафиксировано значимых изменений метеорологических показателей. В результате установлены статистически значимые модификации в параметрах электрической активности мозга волонтеров, характеризующиеся увеличением амплитудных характеристик ЭЭГ (в 1,5-3,5 раза относительно фонового уровня) для основных функциональных частотных диапазонов. На предыдущем этапе подобные измерения были проведены на территории республики Горный Алтай в поселке Белтир, при этом были получены аналогичные результаты.

Анализ проведенных исследований показал, что геофизические модификации, характеризующиеся пространственной неоднородностью магнитного поля, оказывают выраженное влияние на флуктуацию показателей электрической активности мозга человека.

**Ключевые слова:** пространственные неоднородности магнитного поля, ЭЭГ мозга человека.

### DYNAMICS OF AMPLITUDE CHARACTERISTICS OF THE HUMAN BRAIN EEG IN A NATURALLY SPATIALLY INHOMOGENEOUS MAGNETIC FIELD

**P. E. Grigoriev<sup>1,2</sup>, S. V. Pobachenko<sup>3</sup>, M. V. Sokolov<sup>3</sup>, M. U. Silkin<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

<sup>2</sup> Tyumen State University, Tyumen, Russia

<sup>3</sup> National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

<sup>4</sup> Karadag Nature Reserve, Kurortnoye, Crimea, Russia

### SUMMARY

The results of experimental research of the dynamics of the functional state of the human who is within the zone of active geological fault, which is characterized by abnormal indices of spatial distribution of the values of the magnetic field vector are presented. The studies included geophysical and biophysical parts and were conducted in natural conditions on the territory of the Karadag Nature Reserve of the Crimean peninsula. The geophysical part consisted in magneto-exploration works; as a result of which a zone with a gradient magnetic field of natural origin was detected.

The biophysical part consisted in carrying out measurements of the parameters of the functional state of volunteers by the EEG method. Studies were conducted in natural conditions far from various factors of anthropogenic origin that could affect the results, in addition, on the days of the measurements, the heliogeophysical situation was relatively calm and no significant changes in meteorological indicators were observed. As a result, statistically significant modifications were revealed in the parameters of electrical activity of the brain of volunteers, characterized by an increase in the amplitude characteristics of the EEG (1.5-3.5 times from the basic level) for the main functional frequency bands. At the previous research, similar measurements were carried out on the territory of the Republic of Mountain Altai in Beltir village, similar results were obtained.

The analysis of the conducted researches has shown that the geophysical modifications, characterized by the spatial inhomogeneity of the magnetic field, have a pronounced effect on the fluctuation of the indicators of the electrical activity of the human brain.

**Key words:** spatial inhomogeneity of the magnetic field, the EEG of the human brain.

С развитием науки и техники напряженность электромагнитных полей возросла в несколько раз по отношению к естественному уровню. Изменения коснулись и напряженности постоянного магнитного поля, в первую очередь на урбанизированной территории. В городах и городских агломерациях находится большое количество базовых станций сотовых операторов, линий электропередач, трамвайных и троллейбусных линий, что способствует увеличению напряженности постоянного магнитного поля на отдельных участках. И наоборот, в зданиях, построенных с использованием железобетонных и металлических конструкций, происходит искажение и снижение напряженности магнитного поля. Таким образом, распределение магнитного поля на урбанизированной территории имеет пространственно неоднородный характер, а, как известно, флуктуации фоновых магнитных полей могут являться причиной выраженных изменений функционирования основных регуляторных систем организма человека [1, 4], что, в свою очередь, может приводить к снижению резистентности организма к различным заболеваниям. Имеются убедительные эпидемиологические данные по повышению числа госпитализаций в дни с подобными геомагнитными условиями [5, 6]. Однако в городских условиях наряду с изменениями геомагнитного поля на здоровье населения действуют и другие факторы (загрязнение почв, воды, воздуха, уровень жизни, и т.п.), для исследования эффекта от изолированного действия пространственно неоднородного магнитного поля необходимо так организовать исследование, чтобы изучаемая зона занимала достаточно ограниченный участок на местности (в пределах нескольких десятков квадратных метров) и при этом находилась бы вдали от других факторов антропогенного характера, которые, в свою очередь, могли бы повлиять на результаты исследований. Тогда можно говорить, во-первых, о чистоте эксперимента и, во-вторых, проверить, как на модифицированное магнитное поле реагируют быстротекущие процессы, характеризующие функциональное

состояние организма человека, прежде всего, его нервной системы и головного мозга. При таких условиях мониторинга регистрируются изменения, происходящие в организме человека при вхождении, в процессе нахождения, а также при покидании зоны с градиентным магнитным полем. Таким образом, как ни парадоксально, целесообразно проведение исследований влияния подобных флуктуаций магнитного поля на нервную систему в схожих условиях естественного происхождения вдали от урбанизированных территорий. Так, в ходе исследований эпицентра землетрясения 2003 года в 14 км от поселка Бельтир была обнаружена зона с пространственно неоднородным магнитным полем естественного происхождения. В связи с этим в 2013 и 2014 году нами была проведена серия исследований функционального состояния мозга человека в данной зоне. При этом установлено, что при воздействии модифицированного магнитного поля происходят значимое увеличение амплитудных характеристик ЭЭГ и изменения в синхронизации мозговой активности отдельных областей внутри и межполушарных связей [7-10]. На данном этапе исследований с целью верифицировать полученные ранее результаты были проведены дополнительные исследования в зоне с пространственно неоднородным магнитным полем, находящейся на территории Карадагского природного заповедника полуострова Крым. Заповедник занимает территорию горно-вулканического массива Кара-Даг, расположенного в 36 км на юго-запад от Феодосии, между Отузской и Коктебельской долинами.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В ходе исследования проводились измерения магнитного поля с помощью магнитометра ТМИ (трехкоординатные измерения переменных составляющих и полного вектора магнитного поля  $T$ ) с одновременным измерением координат точки измерения (GPS-приемник Etrex). Маршрутные съемки были реализованы по туристической тропе вдоль побережья (рис. 1а). В результате магниторазведочных работ была

выявлена зона с пространственно неоднородным магнитным полем в северо-западной части мыса «Магнитный» (44°56'08.8" с.ш., 35°14'33.6"

в.д.). Увеличенное изображение зоны с фиксированными значениями полного вектора магнитной индукции представлено на рис. 16.

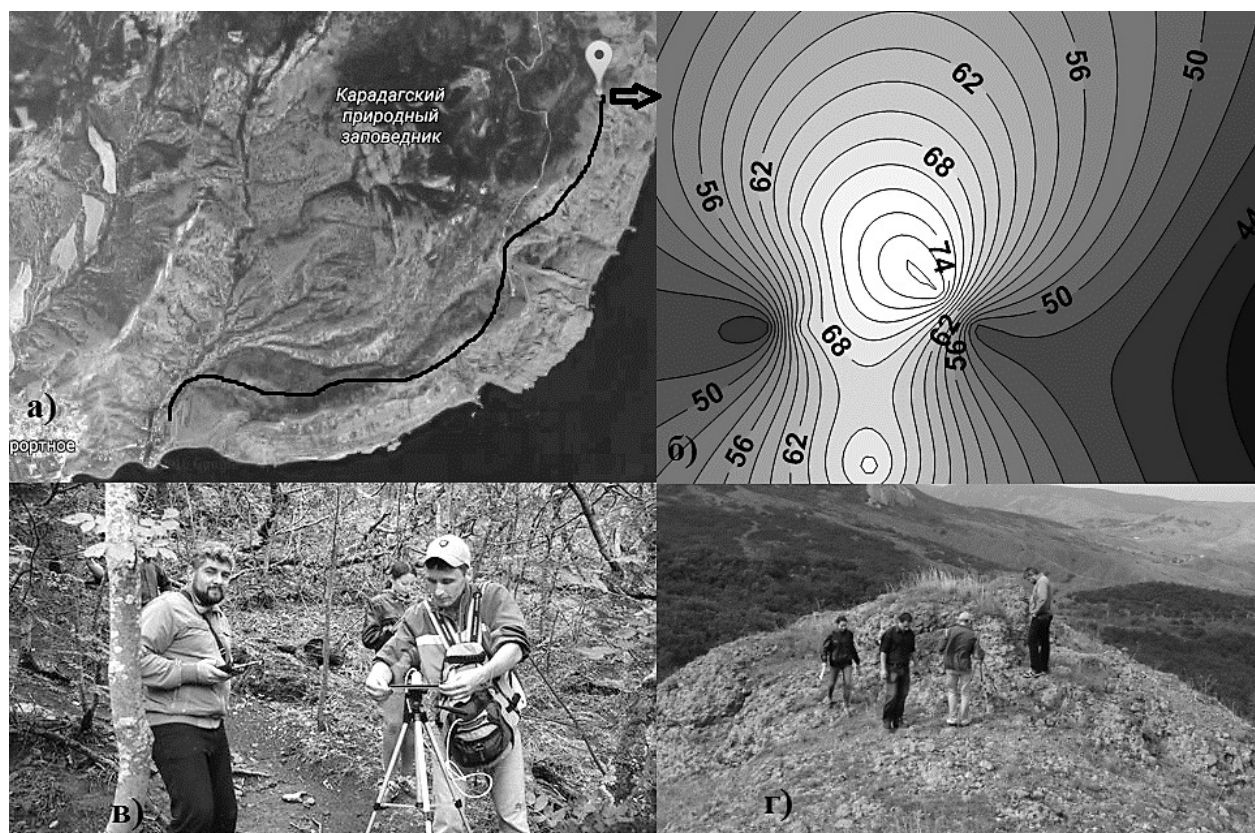


Рис. 1. Измерения магнитного поля на территории Карадагского природного заповедника. а – маршрут движения при экспедиционных измерениях; б – увеличенное изображение зоны с фиксируемыми значениями (изолинии, нТл) пространственно неоднородного магнитного поля; в, г – измерения магнитного поля.

В измерениях функционального состояния, проводимых в режиме выборочного мониторинга, в качестве испытуемых были задействованы два волонтера – мужчина и женщина в возрасте 26 и 27 лет.

Для съема характеристик электрической активности головного мозга использовался электроэнцефалографический комплекс «Энцефалан-ЭЭГР-19/26», позволяющий фиксировать параметры по типу холтеровских ЭКГ. Фиксировались данные ЭЭГ по 19 стандартным отведениям (система 10–20). Для корректного выделения шумовых компонент в ЭЭГ снимались значения окулографических и миографических показателей, которые использовались в анализе. Измерения параметров функционального состояния волонтеров проводились в автономном режиме выборочного мониторинга. Запись ЭЭГ проводилась в следующей временной последовательности: фоновая запись ЭЭГ в

течение пяти минут за пределами аномальной зоны, затем волонтер заходил в зону с аномальным градиентом магнитного поля и находился там десять минут, затем покидал её пределы. Каждый волонтер проводил по три серии измерений в исследуемой зоне. Кроме того, фиксировался весь возможный комплекс гелиогеофизических и климатических показателей, причем общая геомагнитная активность за весь период проведения измерений была низкой ( $K_p = 2-3$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 2 представлены распределения значений спектральной мощности на временных интервалах, соответствующих периодам входа волонтеров непосредственно в зону с пространственно неоднородным магнитным полем.

Анализ полученных данных по динамике изменения спектральной мощности для всех рассматриваемых частотных диапазонах ЭЭГ



по всей выборке волонтеров позволяет констатировать наличие ряда закономерностей. На первом этапе распределение амплитудных показателей ЭЭГ характеризуется относительно стабильным уровнем, свойственным человеку, находящемуся в состоянии спокойного бодрствования. В интервал времени, соответствующий вхождению и пребыва-

нию волонтеров в зону модифицированного магнитного поля (6-я минута), происходит значимое увеличение значений амплитудных показателей (рис 2). Также следует отметить, что в дельта- и альфа-диапазоне фиксируется тренд на увеличение амплитудных значений в зависимости от времени пребывания в пределах исследуемой зоны.

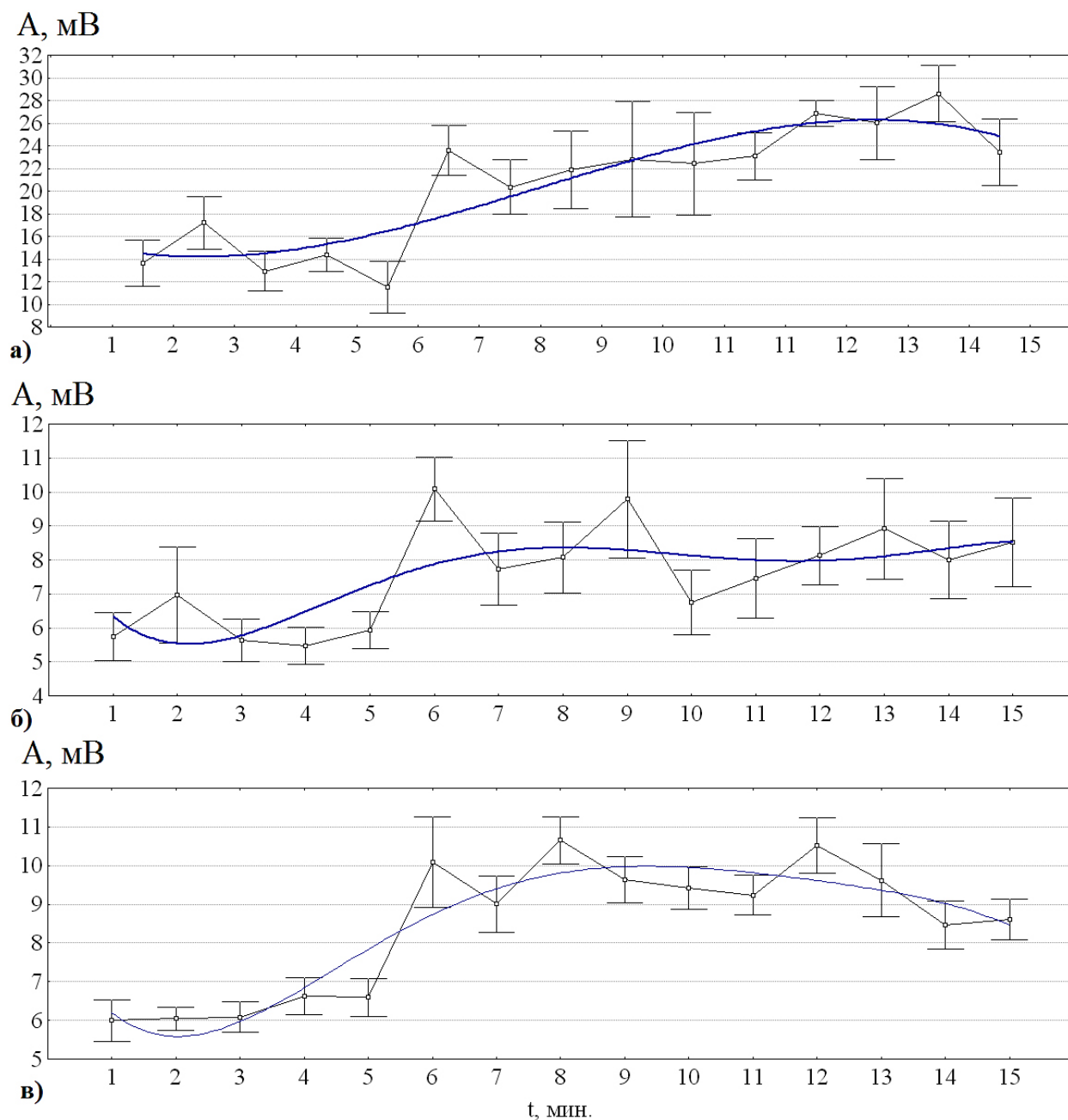


Рис. 2. Распределение амплитудных показателей ЭЭГ головного мозга, усреднённое по 19 отведениям для всей выборки волонтеров в диапазонах частот: а) 0,3–4,0 Гц; б) 4,0 – 8,0 Гц.; в) 8,0 – 13,0 Гц.

Аналогичный результат был получен ранее в ходе экспедиционных исследований в республике Горный Алтай: выявлена реакция в динамике параметров электрической активности мозга человека при непосредственном влиянии градиентного магнитного поля, которая проявляется в увеличении амплитудных характеристик ЭЭГ (в 1,5-3,5 раза относительно фонового уровня) для основных функциональных частотных диапазонов [10].

### ОБСУЖДЕНИЕ

Модификации напряженности магнитного поля невозможно идентифицировать системами сенсорной индикации, но, по всей видимости, подобные характеристики геофизической обстановки находят отклик в процессах нейрорегуляторной активности организма человека. Выявленная в ходе экспедиционных исследований неспецифическая реакция активации, возникающая при влиянии магнитного поля с пространственной неоднородностью распределения напряженности, может быть идентифицирована как адаптивная реакция центральной нервной системы на внешний стимул.

В целом, полученные результаты позволяют констатировать, что при попадании человека в зону с модифицированным магнитным полем, у него наблюдается значимое повышение амплитудных значений ЭЭГ. При этом волонтер не испытывает никаких субъективных ощущений. При выходе из зоны через некоторое время показатели возвращаются на исходный уровень.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе данных исследований на территории Карадагского заповедника (Крым) была выявлена зона с пространственно неоднородным магнитным полем, аналогичная зоне, находящейся на территории Горного Алтая. Проведены экспериментальные измерения показателей функционального состояния мозга человека, в результате чего установлены особенности адаптивных реакций центральной нервной системы. Так, при нахождении в градиентном магнитном поле установлена неспецифическая реакция активации, характеризующаяся увеличением амплитудных характеристик ЭЭГ. При этом апостериорное сравнение полученных результатов исследования с данными предыдущего этапа измерений на территории Горного Алтая полностью подтверждают наличие выявленных ранее компонент адаптивных реакций нейрорегуляторной активности организма человека.

Благодарность. Работа выполнена в рамках программы повышения конкурентоспособ-

ности НИ ТГУ. Авторы выражают искреннюю благодарность и признательность сотрудникам кафедры космической физики и экологии Томского государственного университета и кафедры медицинской физики и информатики Физико-технического института КФУ им. Вернадского за плодотворное и конструктивное обсуждение представляемого материала, а также Соколовой Е.И. и Пономареву А.В. за помощь и сопровождение экспедиционных измерений.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Bistolfi F. Extremely low-frequency pulsed magnetic field and multiple sclerosis: effects on neuro transmission one oral soon immunomodulation? Building a working hypothesis. *Neuroradiol.* 2007; 20(6): 676–693
2. Liboff A.R. Why are living things sensitive to weak magnetic fields? *Electromagn.Biol.Med.* 2013; doi:10.3109/15368378.2013.809579.
3. Chernykh A.M., El'kin A.I., Pozdeev V.N. Ecological threat for human health during the electrical and anomalous geomagnetic fields' influence (review of the literature). *Voen. Med.Zh.* 2005; 326(6): 46–50.
4. Zabroda N.N., Artemenko M.V. Hygienic characteristics of the Kursk magnetic anomaly area and morbidity in the aboriginal population. *Gig. Sanit.* 2008; 5: 35–38.
5. Dennis T.E., Rayner M.J., Walker M.M. Evidence that pigeons orient to geomagnetic intensity during homing. *Proc. Biol. Sci.* 2007; 274(1614): 1153–1158.
6. Wiltshchko R., Schiffner I., Wiltshchko W. A strong magnetic anomaly affects pigeon navigation. *Journal of Experimental Biology.* 2009; 212: 2983–2990.
7. Pobachenko S.V., Grigoriev P.E., Sokolov M.V., Shitov A.V. The influence of natural magnetic field inhomogeneity areas of active geological faults on the dynamics of functional state of human brain. 21st International Symposium Atmospheric and Oceanic Physics. 2015; doi:10.1117/12.2205284.
8. Побаченко, С.В., Шитов А.В., Григорьев П.Е., Соколов М.В. ЭЭГ - реакции мозга человека в градиентном магнитном поле зоны активного геологического разлома (пилотное исследование). *Геофизические процессы и биосфера.* 2015; 14(4): 37-48.
9. Pobachenko S.V., Grigoriev P.E., Sokolov M.V., et al. EEG Reactions of the Human Brain in the Gradient Magnetic Field Zone of the Active Geological Fault (Pilot Study). *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics.* 2016; 52(7): 745–752.
10. Побаченко, С.В., Шитов А.В., Григорьев П.Е., Соколов М.В. Особенности влияния пространственно неоднородных магнитных полей естественного происхождения на характеристики электрической активности мозга человека. *Известия высших учебных заведений. Физика.* 2015; 58(8/3): 279-282.

## REFERENCES

1. Bistolfi F. Extremely low-frequency pulsed magnetic field sand multiplesclerosis: effects on neuro transmissional one oral soon immunomodulation? Building a working hypothesis. *Neuroradiol.* 2007; 20(6): 676–693
2. Liboff A.R. Why are living things sensitive to weak magnetic -fields? *Electromagn.Biol.Med.* 2013; doi:10.3109/15368378.2013.809579.
3. Chernykh A.M., El'kin A.I., Pozdeev V.N. Ecological threat for human health during the electrical and anomalous geomagnetic fields' influence (review of the literature). *Voen. Med.Zh.* 2005; 326(6): 46–50.
4. Zabroda N.N., Artemenko M.V. Hygienic characteristics of the Kursk magnetic anomaly area and morbidity in the aboriginal population. *Gig. Sanit.* 2008; 5: 35–38.
5. Dennis T.E., Rayner M.J., Walker M.M. Evidence that pigeons orient to geomagnetic intensity during homing. *Proc. Biol. Sci.* 2007; 274(1614): 1153–1158.
6. Wiltschko R., Schiffner I., Wiltschko W. A strong magnetic anomaly affects pigeon navigation. *Journal of Experimental Biology.* 2009; 212: 2983–2990.
7. Pobachenko S.V., Grigoriev P.E., Sokolov M.V., Shitov A.V. The influence of natural magnetic field inhomogeneity areas of active geological faults on the dynamics of functional state of human brain. 21st International Symposium Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 2015; doi:10.1117/12.2205284.
8. Pobachenko S.V., Grigoriev P.E., Sokolov M.V., et al. EEG - reactions of the human brain in the gradient magnetic field zone of the active geological fault (Pilot Study). *Geophysical processes and the Biosphere.* 2015; 14(4): 37-48.
9. Pobachenko S.V., Grigoriev P.E., Sokolov M.V., et al. EEG Reactions of the Human Brain in the Gradient Magnetic Field Zone of the Active Geological Fault (Pilot Study). *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics.* 2016; 52(7): 745–752.
10. Pobachenko S.V., Grigoriev P.E., Sokolov M.V., et al. Features of influence of spatially inhomogeneous magnetic field on the characteristics of naturally occurring electrical activity of the human brain. *Proceedings of the higher educational institutions. Physics.* 2015; 58(8/3): 279-282.