

УДК 53.098, 53.097
DOI 10.17223/19988621/34/6

М.Е. Долгий, С.Г. Катаев

ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Исследования естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) проводятся в разных научно-исследовательских центрах уже более 50 лет. Однако большого продвижения в понимании природы основных составляющих ЕИЭМПЗ не видно, что можно объяснить колоссальной сложностью проблемы. В литосфере и атмосфере протекает множество процессов, ведущих к появлению хаотичных электромагнитных полей, обладающих разной интенсивностью. В результате датчик фиксирует в каждый момент времени случайную суперпозицию этих полей. Объяснение суточного и годового хода временных рядов ЕИЭМПЗ является одной из главных задач, решение которой позволило бы значительно прояснить природу и основные механизмы возникновения ЕИЭМПЗ. Представлены некоторые результаты исследования структуры сигналов ЕИЭМПЗ на основе «энергетических» представлений. Переход от амплитуды и количества импульсов, являющихся основными характеристиками сигнала, к его энергетическому описанию, возможно, позволит выделить отдельные процессы, формирующие результирующее ЕИЭМПЗ. С использованием корреляционного анализа проведены оценки влияния Солнца и Луны как наиболее близких и значимых космических тел. Рассмотрена возможная связь между ЕИЭМПЗ и параметрами, характеризующими процессы, которые протекают в верхних слоях Земли и влияют на содержание влаги.

Ключевые слова: *естественное импульсное электромагнитное поле Земли, электромагнитная эмиссия, геодинамические процессы, атмосферные процессы, корреляционный анализ.*

Электромагнитные помехи импульсного характера были обнаружены летчиками еще во время Второй мировой войны. Они слышали свист в наушниках радиосвязи. Начавшиеся позже исследования данных помех привели ученых к заключению, что они связаны с атмосферными процессами, а именно с грозовыми центрами мира. Данная гипотеза существует достаточно долго и описана в работах [1–3]. Считалось, что в любой точке земной поверхности регистрируется две составляющие электромагнитного поля Земли: шумовая и импульсная. Основой шумовой составляющей являются мелкие грозы и импульсы, многократно обошедшие вокруг Земли. Импульсную компоненту составляют более мощные грозовые разряды.

В семидесятых годах прошлого века профессор А.А. Воробьев вводит понятие «естественное импульсное электромагнитное поле Земли» (ЕИЭМПЗ). Ему также принадлежат идеи о том, что импульсы могут возникать не только в атмосфере, но и в земной коре в результате преобразования тектонической энергии в электрическую [4, 5]. В соответствии с этими идеями ожидалось, что увеличение интенсивности потока импульсов будет наблюдаться в момент землетрясений и близкие к нему моменты времени.

Первое подтверждение того, что импульсы ЕИЭМПЗ возникают в литосфере, было получено группой Малышкова [6]. Обнаружено, что в зависимости от энергии предстоящего землетрясения снижение интенсивности поля продолжалось от нескольких часов до нескольких суток. Основной упор был сделан на анализ шумовой составляющей полей, показано, что информация о глубинных процессах в земной коре скрыта именно в ней. Отстояв литосферное происхождение ЕИЭМПЗ, авторам предстояло объяснить по-новому суточные и годовые вариации поля. Причиной таких вариаций, по мнению авторов, служили периодические процессы, протекающие в земной поверхности, вызванные, например, приливными силами.

В работах Коровякова [7], Сидоренкова [8] обсуждается идея гравитационного смещения ядра Земли относительно геометрического центра планеты. В работе [9, 10] предложена гипотеза об эксцентричном вращении ядра Земли и ее земной коры. В результате эксцентричного суточного вращения оболочки Земли вокруг смещенного твердого ядра возникает давление со стороны ядра и окружающего его расплава на мантию, выдавливающее оболочку изнутри. В земной коре возникает волна механических напряжений, которая после выхода на поверхность будет распространяться в строгом соответствии с вращением Земли и в направлении, обратном направлению суточного вращения.

Очевидно, что в литосфере протекает множество процессов, ведущих к появлению электромагнитных полей, вследствие известных в физике перекрестных явлений между процессами и полями различной природы, причем большинство из них носит случайный характер. Данные процессы протекают одновременно, следовательно, электромагнитные поля, произведенные ими, накладываются друг на друга. Суперпозицию этих полей и измеряет датчик-регистратор.

Главная проблема при интерпретации ЕИЭМПЗ состоит в отсутствии представления о вкладе того или иного механизма в суммарный сигнал. Решение этой проблемы возможно только на пути использования комплексного подхода, включающего в себя не только анализ экспериментальных данных, теоретическое моделирование, но и целенаправленные экспериментальные исследования. Одной из главных задач, решение которой позволило бы значительно продвинуться в понимании природы основных составляющих ЕИЭМПЗ, является объяснение суточного и годового хода временных рядов ЕИЭМПЗ.

В данной статье представлены результаты исследования структуры сигналов ЕИЭМПЗ на основе «энергетических» представлений. С использованием корреляционного анализа проведены оценки гравитационного влияния астрономических тел (Солнца и Луны), наиболее близких и значимых из близлежащих, на изменение структуры ЕИЭМПЗ. Рассмотрена возможная связь между ЕИЭМПЗ с параметрами, характеризующими процессы, которые протекают в приземном слое атмосферы.

Структура временных рядов ЕИЭМПЗ

Применяемые для исследования процессов в земной коре и нижней мантии радиоволновые методы основаны на явлении электромагнитной эмиссии – способности диэлектрических материалов излучать электромагнитные сигналы при воздействии на них. В горных породах источниками естественных импульсных элек-

ромагнитных полей являются неоднородности структуры грунтов. В результате механоэлектрических явлений под действием деформационных волн из нижней мантии, приливных сил, микросейсмических колебаний, ветровой и техногенной нагрузки на этих источниках возникают электромагнитные импульсы, которые и создают естественный электромагнитный фон литосферного происхождения. Многолетние измерения в различных регионах показали, что ЕИЭМПЗ литосферного происхождения имеет ярко выраженный устойчивый суточный и сезонный ход [10].

Результаты по измерению электромагнитных шумов Земли получаются с использованием многоканальных геофизических регистраторов различных модификаций. Выходящие данные представляют собой ряд, содержащий дату и время (t) снятия показаний, значение амплитуды электрического поля (E), амплитуды магнитного поля и плотности импульсов в направлениях Север – Юг B_{NS}, N_{NS} , Восток – Запад B_{WE}, N_{WE} .

Исследуемые в настоящей работе часовые данные получены с 12 датчиков, расположенных в районе Урала, в период с 1.06.2010 по 1.11.2014. На рис. 1 приведены временные ряды амплитуд A_{NS} и A_{WE} , усредненных по всем датчикам, для пары B_{NS} и B_{WE} . Поведение во времени этих величин достаточно хорошо скоррелировано. Так, коэффициенты корреляции между парами B_{NS} и B_{WE} и N_{NS} и N_{WE} для среднесуточных равны 0,748 и 0,958 соответственно. Кроме этого, средние значения этих величин за изучаемый период близки друг другу ($\bar{B}_{NS} = 161,1$, $\bar{B}_{WE} = 186,7$, $\bar{N}_{NS} = 271,0$, $\bar{N}_{WE} = 276,2$). Это позволяет осуществить преобразование исходных данных таким образом, чтобы получить величину, имеющую физический смысл энергии.

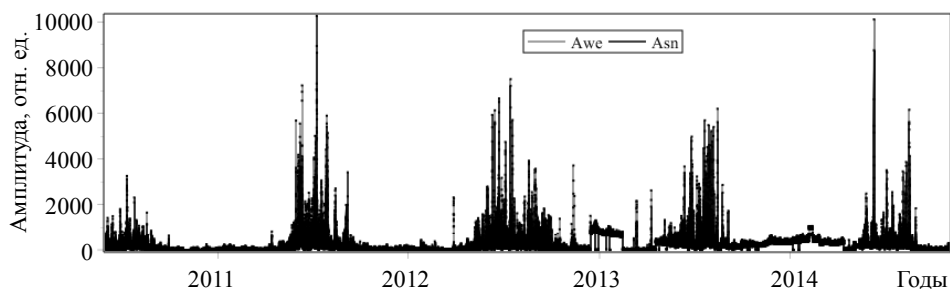


Рис. 1. Временные ряды амплитуды B_{NS} и B_{WE} за исследуемый период

«Энергетическое» представление

Величина, измеряемая датчиком и названная авторами амплитудой, характеризует величину магнитного поля, поэтому логично назвать мерой интегральной (полной) энергии произведение квадрата амплитуды импульса на их число:

$$\varepsilon = B^2 \cdot n.$$

Размерность величины ε – относительные единицы энергии.

В качестве обобщенной меры энергии по всем станциям будет выступать величина

$$\varepsilon = \frac{1}{\tilde{k}} \sum_i \tilde{\varepsilon}_i = \frac{1}{\tilde{k}} \sum_i \sqrt{\varepsilon_{NSi}^2 + \varepsilon_{WEi}^2},$$

где \tilde{k} – число станций, работающих в данный момент времени, а $\tilde{\varepsilon}_i$ – энергия поля, измеренная на i -й станции, поскольку в данных каждой станции имеются провалы, связанные с техническими неполадками. Поведение обобщенной меры энергии в направлении Север – Юг и Запад – Восток приведено на рис. 2 и 3 соответственно.

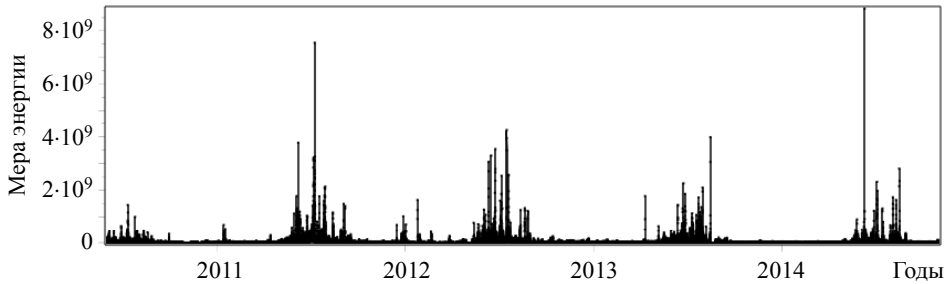


Рис. 2. Мера энергии ЕИЭМПЗ с одной станции в направлении Север – Юг

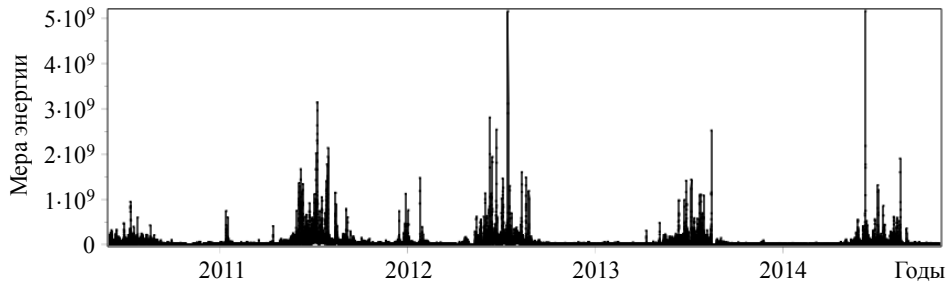


Рис. 3. Мера энергии ЕИЭМПЗ с одной станции в направлении Восток – Запад

Оценим влияние гравитационных (приливных) сил на данную местность. Основными величинами, необходимыми для определения меры энергии взаимодействия ε_g , будут являться: расстояние r от данной точки на поверхности Земли до Луны – для определения суточного цикла, до Солнца – для годового, а также угол φ , под которым «видны» Солнце и Луна в каждый из соответствующих моментов времени. Энергия гравитационного взаимодействия определяется как

$$E_g = G \frac{Mm}{r} \cos \varphi.$$

Изменение меры взаимодействия Солнца и Луны со временем описывается формулой

$$\varepsilon_g(t) = \frac{1}{r(t)} \cos \varphi(t),$$

где временные ряды данных искомым величин $\varphi(t)$ и $r(t)$ были получены с сайта Horizon [13]. Величина $\varepsilon_g(t)$ представляет собой меру потенциальной энергии взаимодействия. Угол φ не достигает значений $\pm\pi/2$, что позволяет корректировать значения энергии гравитационного взаимодействия между небесными телами. Временной ряд величин $\varepsilon_g(t)$ для исследуемого периода представлен на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что в летний период времени наблюдается своеобразная концентрация (сгущение) линий мер энергии. И в летний же период резко возрастает мера обобщенной энергии (рис. 5). Данный факт позволяет предположить наличие связи между данными процессами. Однако проведенный корреляционный анализ ряда меры обобщенной энергии ЕИЭМПЗ $\varepsilon(t)$ и меры энергии гравитационного взаимодействия Луны $\varepsilon_M(t)$ и Солнца $\varepsilon_S(t)$ свидетельствует об отсутствии или наличии крайне малого влияния приливных сил на поведение ЕИЭМПЗ. Коэффициенты корреляции между рядами $\varepsilon(t)$ и $\varepsilon_M(t)$ и $\varepsilon(t)$ и $\varepsilon_S(t)$ очень малы и равны 0,0014 и 0,0531 соответственно.

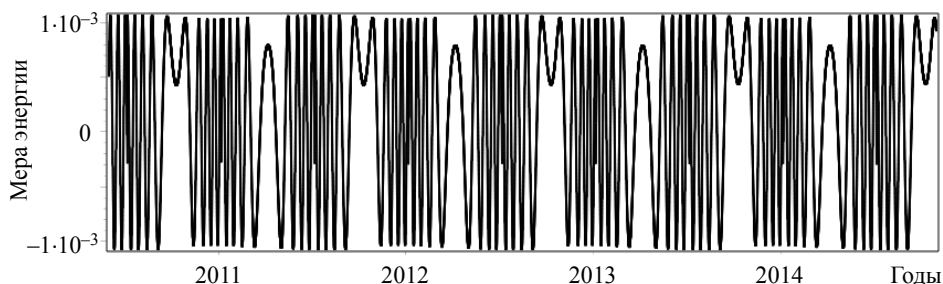


Рис. 4. Мера энергии гравитационного воздействия Солнца

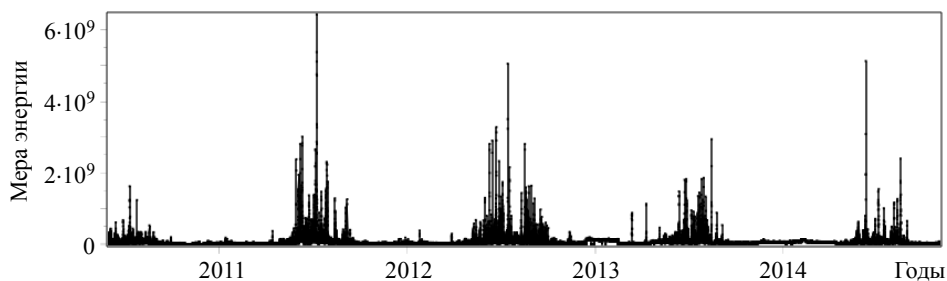


Рис. 5. Обобщенная мера энергии ЕИЭМПЗ с 12 станций

Электромагнитная эмиссия горных пород

Первые исследования электромагнитной эмиссии были проведены группой Мартышева [12], показавшей, что при деформации щелочно-галоидных кристаллов наблюдаются световые вспышки. Эти пионерские работы были проведены в 1965 году.

Позже в работе [15] приведены обширные исследования закономерностей электромагнитной эмиссии в процессе нагружения горных пород. Авторами уста-

новлено, что электромагнитная эмиссия является результатом процессов трещинообразования.

Первые попытки связать электромагнитный сигнал с прочностными характеристиками твердого тела были предприняты в [15]. Авторы наблюдали свечение кристаллов LiF при их царапании алмазной пирамидой. Оказалось, что моменту высвечивания соответствует появление трещин перед движущимся индентором. Эти экспериментальные данные подтверждают возможность обнаружения микротрещин по их электромагнитному сигналу. В данной работе зарегистрированный сигнал находился в видимой части электромагнитного спектра. Группа А. А. Воробьева [16] показала наличие сигнала в радиочастотном диапазоне длин волн.

В [17–19] представлена качественная связь интенсивности электромагнитного сигнала с энергетическими свойствами тел. Также было установлено, что интенсивность электромагнитного сигнала возрастает с увеличением механической и электрической плотности твердых тел. В [20] был предложен подход, основанный на измерении малых токов в нагруженных породах, для определения их целостности.

В конце прошлого столетия активно велись работы по развитию гипотезы о механоэлектричестве [21, 22]. Ученые ожидали больших выбросов ЕИЭМПЗ в преддверии сейсмических катастроф. Однако позже интерес к данной гипотезе снизился из-за неоправданных надежд прогнозирования землетрясений с помощью ЕИЭМПЗ.

Как уже отмечалось, сигналы ЕИЭМПЗ имеют выраженный годовой ход, проявляющийся в резком возрастании и амплитуды и количества импульсов в летний период. На наш взгляд, это может быть связано с тем, что в осенний, зимний и весенний периоды уровень влажности поверхностного слоя Земли увеличивается. А хорошо известно, что с ростом влажности в пористых материалах резко возрастает затухание электромагнитных волн. Эффект уменьшения с ростом амплитуды влажности электромагнитного поля наблюдался и при импульсном механическом возбуждении гетерогенных материалов, содержащих пьезоэлектрические включения [23].

На рис. 6 показаны кривые, соответствующие мере полной энергии ЕИЭМПЗ и значения максимальной температуры по Фаренгейту за каждые сутки [24]. Температуру можно рассматривать в качестве меры энергии, поступающей в почву из атмосферы. В результате этого приповерхностный слой просыхает, влажность уменьшается, а амплитуда электромагнитного сигнала увеличивается.

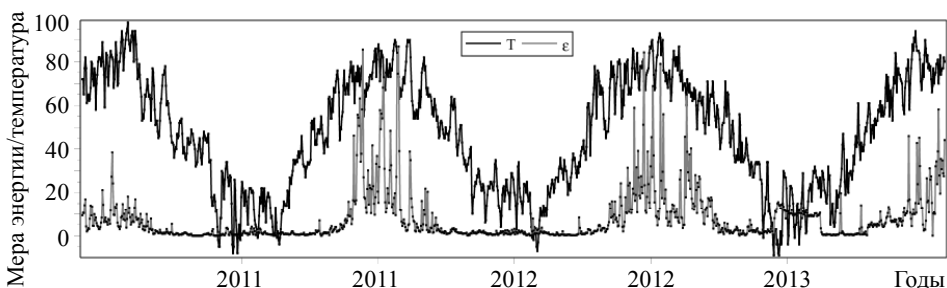


Рис. 6. Мера полной энергии ЕИЭМПЗ и мера энергии (температура по Фаренгейту приповерхностного слоя воздуха), поглощаемая поверхностью Земли

Корреляционный анализ ряда меры обобщённой энергии ЕИЭМПЗ $\varepsilon(t)$ и меры энергии, выделенной атмосферой, $T(t)$ свидетельствует о возможном воздействии атмосферных процессов на поведение ЕИЭМПЗ. Коэффициент корреляции между рядами $\varepsilon(t)$ и $\varepsilon_T(t)$ равен 0,459. Однако при этом необходимо подчеркнуть, что наличие существенной корреляции между параметрами, характеризующими различные процессы, не может свидетельствовать об однозначной причинно-следственной связи между ними. Поэтому здесь можно говорить только о возможном влиянии атмосферных процессов и процессов, происходящих в верхних слоях Земли, на поведение $\varepsilon(t)$.

Выводы

Введение понятия меры полной обобщённой энергии может быть удобной формой представления сигналов ЕИЭМПЗ. В частности, это даст возможность оценивать энергетический вклад того или иного физического процесса.

Можно считать, что Луна и Солнце мало влияют на характеристики ЕИЭМПЗ, поэтому дальнейшие исследования ЕИЭМПЗ имеет смысл проводить с опорой на процессы, протекающие в земной коре и приземном слое атмосферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров М.С., Бакленов З.М., Гладштейн Н.Д. и др. Флуктуация электромагнитного поля земли в диапазоне СНЧ / ред. М.С. Александров. М.: Наука, 1972. 192 с.
2. Распопов О.М., Клейменова Н.Г. Возмущение электромагнитного поля Земли. Часть 3. ОНЧ-излучения. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1977. 144 с.
3. Ремизов Л.Т. Естественные радиопомехи. М.: Наука, 1985. 200 с.
4. Воробьев А.А. О возможности электрических разрядов в недрах Земли // Геология и геофизика. 1970. № 12. С. 3–13.
5. Воробьев А.А. Тектоэлектрические явления и возникновение естественного импульсного электромагнитного поля Земли – ЕИЭМПЗ. Томск, 1979. 585 с. – Рукопись представлена Томским политехническим институтом: часть 1 – № 4296-79 – 202 с.; часть 2 – № 4297-79 – 149 с.; часть 3 – № 380-80 – 243 с.
6. Мальшиков Ю.П., Джумабаев К.Б. Прогнозирование землетрясений по параметрам естественного импульсного электромагнитного поля Земли // Вулканология и сейсмология. 1987. № 1. С. 97–103.
7. Коряков Н.И., Никитин А.Н. Закономерность эксцентрического вращения ядра и оболочки Земли в суточном и годовом периоде // Сознание и физическая реальность. 1998. Т. 3 (2). С. 23–30.
8. Сидоренков Н.С. Физика нестабильностей вращения Земли. М.: Наука, Физматлит, 2002. 384 с.
9. Мальшиков Ю.П., Мальшиков С.Ю. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра Земли // Геология и геофизика 2009. № 2. С. 152–172.
10. Yury P. Malyshkov, Sergey Yu. Malyshkov, Vasily F. Gordeev, Sergey G. Shtalin, Vitaly I. Polivach, Vladimir A. Krutikov, Michail M. Zaderigolova. Electromagnetic Fields: Principles, Engineering Applications and Biophysical Effects. Chapter 1. Earth's Natural Electromagnetic Noises in a Very-Low Frequency Band. Nova Science Publishers, Inc., 2013. P. 1–86.
11. Долгий М.Е., Тартаковский В.А., Кусков А.И. Декомпозиция эмпирических рядов данных на коррелированные и антикоррелированные составляющие на основе выделения существенных признаков // Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент: Материалы 8-й Международной научной конференции. Караганда: Изд-во КарГУ, 2012. С. 86–89.

12. Мартышев Ю.Н. Исследование свечения и электризации кристаллов LiF при их деформации // Кристаллография. 1965. Т. 10. Вып. 2. С. 224–226.
13. <http://www.ssd.jpl.nasa.gov/?horizons>
14. Егоров П.В., Иванов В.В., Колпакова Л.А. О некоторых закономерностях импульсного электромагнитного излучения щелочно-галлоидных кристаллов и горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1988. № 1. С. 67–70.
15. Беляев Л.М., Мартышев Ю.Н. О свечении при царапании кристаллов фтористого лития // Кристаллография. 1964. Т. 9. Вып. 1. С. 117–119.
16. Воробьев А.А., Чаусов В.М., Гордеев В.Ф. Импульсное радиоизлучение при царапании некоторых диэлектрических материалов // Изв. вузов. Физика. 1977. № 10. С. 126–128.
17. Яковицкая Г.Е. Методы и технические средства диагностики критических состояний горных пород на основе электромагнитной эмиссии. Новосибирск: Параллель, 2008. 315 с.
18. Беспалько А.А., Яворович Л.В., Вишман Е.В., Федотов П.И. Механоэлектрические преобразования в горных породах Таштагольского железорудного месторождения // Геодинамика. 2008. № 1(7). С. 54–60.
19. Беспалько А.А., Яворович Л.В., Колесникова С.И. и др. Исследование изменений характеристик электромагнитных сигналов при одноосном сжатии образцов горных пород Таштагольского рудника // Изв. вузов. Физика. 2011. № 1/2. С. 78–84.
20. Audin A., Prance R.J., Prance H., Harland C.J. Observation of pressure stimulated voltage in rocks using an electric potential sensor // Applied Physics Letters. 2009. V. 95. Is. 12.
21. Гохберт М.Б., Моргунов В.А., Похотелов О.А. Сейсмоэлектромагнитные явления. М.: Наука, 1988. 174 с.
22. Сурков В.В. Электромагнитные эффекты при землетрясениях и взрывах. М.: МИФИ, 2000. 448 с.
23. Фурса Т.В., Дани Д.Д., Осипов К.Ю., Нестерук Д.А. Влияние влажности на параметры электрического сигнала при импульсном механическом возбуждении гетерогенных материалов, содержащих пьезоэлектрические включения // Дефектоскопия. 2011. № 6. С. 57–66.
24. <http://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/datasets/GHCND/stations/GHCND:RSM00028224/detail>

Статья поступила 11.02.2015 г.

Dolgi M.E., Kataev S.G. STUDYING THE NATURAL PULSE ELECTROMAGNETIC FIELD OF THE EARTH

DOI 10.17223/19988621/34/6

Investigations of a natural pulse electromagnetic field of Earth (EIEMPZ) are conducted in the different research centers more than 50 years. However essential advance in understanding of the nature of the main components of EIEMPZ it isn't visible that it is possible to explain with enormous complexity of a problem. In a lithosphere and the atmosphere the set of the processes conducting to emergence of the chaotic electromagnetic fields possessing different intensity proceeds. As a result the sensor fixes casual superposition of this field in each timepoint. The explanation of the daily and annual course of temporary ranks of EIEMPZ is one of the main tasks which decision would allow to clear considerably the nature and the main mechanisms of emergence of EIEMPZ. Some results of research of structure of signals of EIEMPZ on the basis of "energy" representations are presented in article. Transition from amplitude and quantity of the impulses which are the main characteristics of a signal to its power description, perhaps, will allow to reveal the separate processes forming resultant EIEMPZ. With use of the correlation analysis estimates of influence of the Sun and Moon, as closest and significant space bodies are carried out. Possible relation between EIEMPZ and parameters characterizing processes which proceed in the top layers of Earth is considered and influence moisture content.

Keywords: natural pulse electromagnetic field of the Earth, electromagnetic emissions, geodynamic processes, atmospheric processes, correlation analysis.

DOLGII Maxim Evgenyevich (Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation)
E-mail: maxim_ev_dolgy@mail.ru

KATAEV Sergey Grigoryevich (Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russian Federation)
E-mail: sgkataev@sibmail.com

REFERENCES

1. Aleksandrov M.S., Baklenov Z.M., Gladshteyn N.D. i dr. *Fluktuatsiya elektromagnitnogo polya zemli v diapazone SNCh*. Moscow, Nauka Publ., 1972. 192 p. (in Russian)
2. Raspopov O.M., Kleymenova N.G. *Vozmushchenie elektromagnitnogo polya Zemli. Chast' 3. ONCh-izlucheniya*. Leningrad, Leningrad St. Univ. Publ., 1977. 144 p. (in Russian)
3. Remizov L.T. *Estestvennye radiopomekhi*. Moscow, Nauka Publ., 1985. 200 p. (in Russian)
4. Vorob'ev A.A. O vozmozhnosti elektricheskikh razryadov v nedrah Zemli. *Geologiya i geofizika*, 1970, no. 12, pp. 3–13. (in Russian)
5. Vorob'ev A.A. *Tektoelektricheskie yavleniya i vozniknovenie estestvennogo impul'snogo elektromagnitnogo polya Zemli – EIEMPZ*. Tomsk, TPU, 1979. 585 p. (in Russian)
6. Malyshkov Yu.P., Dzhumabaev K.B. Prognozirovanie zemletryaseniy po parametram estestvennogo impul'snogo elektromagnitnogo polya Zemli. *Vulkanologiya i seysmologiya*, 1987, no. 1, pp. 97–103. (in Russian)
7. Koryakov N.I., Nikitin A.N. Zakonomernost' ekstsentricheskogo vrashcheniya yadra i obolochki Zemli v sutochnom i godovom periode. *Soznanie i fizicheskaya real'nost'*, 1998, vol. 3 (2), pp. 23–30. (in Russian)
8. Sidorenkov N.S. *Fizika nestabil'nostey vrashcheniya Zemli*. Moscow, Nauka Publ., Fizmatlit Publ., 2002. 384 p. (in Russian)
9. Malyshkov Yu.P., Malyshkov S.Yu. Periodicheskie variatsii geofizicheskikh poley i seysmichnosti, ikh vozmozhnaya svyaz' s dvizheniem yadra Zemli. *Geologiya i geofizika*, 2009, no. 2, pp. 152–172. (in Russian)
10. Yury P. Malyshkov, Sergey Yu. Malyshkov, Vasily F. Gordeev, Sergey G. Shtalin, Vitaly I. Polivach, Vladimir A. Krutikov, Michail M. Zaderigolova. *Electromagnetic Fields: Principles, Engineering Applications and Biophysical Effects. Chapter 1. Earth's Natural Electromagnetic Noises in a Very-Low Frequency Band*. Nova Science Publishers, Inc., 2013. pp. 1–86.
11. Dolgiy M.E., Tartakovskiy V.A., Kuskov A.I. Dekompozitsiya empiricheskikh ryadov dannykh na korrelirovannye i antikorrelirovannye sostavlyayushchie na osnove vydeleniya sushchestvennykh priznakov. *Khaos i struktury v nelineynykh sistemakh. Teoriya i eksperiment. Materialy 8-y Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii*. Karaganda, KarGU Publ., 2012, pp. 86–89. (in Russian)
12. Martyshev Yu.N. Issledovanie svecheniya i elektrizatsii kristallov LiF pri ikh deformatsii. *Kristallografiya*, 1965, vol. 10, no. 2, pp. 224–226. (in Russian)
13. <http://www.ssd.jpl.nasa.gov/?horizons>
14. Egorov P.V., Ivanov V.V., Kolpakova L.A. O nekotorykh zakonmernostyakh impul'snogo elektromagnitnogo izlucheniya shchelochno-galoidnykh kristallov i gornykh porod. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 1988, no. 1, pp. 67–70. (in Russian)
15. Belyaev L.M., Martyshev Yu.N. O svechenii pri tsarapanii kristallov ftoristogo litiya. *Kristallografiya*, 1964, vol. 9, no. 1, pp. 117–119. (in Russian)
16. Vorob'ev A.A., Chausov V.M., Gordeev V.F. Impul'snoe radioizluchenie pri tsarapanii nekotorykh dielektricheskikh materialov. *Izv. vuzov. Fizika*, 1977, no. 10, pp. 126–128. (in Russian)
17. Yakovitskaya G.E. *Metody i tekhnicheskie sredstva diagnostiki kriticheskikh sostoyaniy gornykh porod na osnove elektromagnitnoy emissii*. Novosibirsk, Parallel' Publ., 2008. 315 p. (in Russian)
18. Bepal'ko A.A., Yavorovich L.V., Viitman E.V., Fedotov P.I. Mekhanoelektricheskie preobrazovaniya v gornykh porodakh Tashtagol'skogo zhelezorudnogo mestorozhdeniya. *Geodinamika*, 2008, no. 1(7), pp. 54–60. (in Russian)

19. Bespal'ko A.A., Yavorovich L.V., Kolesnikova S.I. i dr. Issledovanie izmeneniy kharakteristik elektromagnitnykh signalov pri odnoosnom szhatii obraztsov gornykh porod Tashtagol'skogo rudnika. *Izv. vuzov. Fizika*, 2011, no. 1/2, pp. 78–84. (in Russian)
20. Aydin A., Prance R.J., Prance H., Harland C.J. Observation of pressure stimulated voltage in rocks using an electric potential sensor. *Applied Physics Letters*, 2009, vol. 95, issue 12.
21. Gokhbert M.B., Morgunov V.A., Pokhotelov O.A. *Seysmoelektromagnitnye yavleniya*. Moscow, Nauka Publ., 1988. 174 p. (in Russian)
22. Surkov V.V. *Elektromagnitnye efekty pri zemletryasenyakh i vzryvakh*. Moscow, MIFI Publ., 2000. 448 p. (in Russian)
23. Fursa T.V., Dann D.D., Osipov K.Yu., Nesteruk D.A. Vliyanie vlazhnosti na parametry elektricheskogo signala pri impul'snom mekhanicheskom vozbuзhdenii geterogennykh materialov, sodержashchikh p'ezoelektricheskie vklyucheniya. *Defektoskopiya*, 2011, no. 6, pp. 57–66. (in Russian)
24. <http://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/datasets/GHCND/stations/GHCND:RSM00028224/detail>