ISSN 2079-6641

ВЕСТНИК КРАУНЦ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Электронная версия
Online version

http://mfit.ikir.ru
ISSN 2079-665X

JOURNAL COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS OF KRASEC

PHYSICO-MATHEMATICAL SCIENCES

2013 № 2 (7)

Министерство образования и науки Российской Федерации
Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга
ВЕСТНИК КРАУНЦ
(Камчатской региональной ассоциации «Учебно-научный центр»)
Физико-математические науки
2013 № 2 (7)

г. Петропавловск-Камчатский
Журнал основан в августе 2010 г. Выходит 2 раза в год
Научное издание

ISSN 2079-6641

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-41501 от 04 августа 2010 г. выдано Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия.

Электронная версия журнала: http://mfit.ikir.ru ISSN 2079-665X

Редакционная коллегия серии

Главный редактор:
Б.М. Шевцов, д-р физ.-мат. наук

Ответственный секретарь:
Р.И. Паровик, канд. физ.-мат. наук

В.П. Сивоконь, д-р техн. наук
Н.Н. Портнягин, д-р техн. наук
В.В. Потапов, д-р техн. наук
И.А. Ильин, канд. физ.-мат. наук
А.П. Горюшкин, канд. физ.-мат. наук
Ю.В. Марапулец, канд. техн. наук
Г.М. Водинчар, канд. физ.-мат. наук
А.Б. Тристанов, канд. техн. наук
А.С. Пережогин, канд. физ.-мат. наук

© Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, 2013
© Камчатская региональная ассоциация «Учебно-научный центр», 2013
© Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, 2013
© Редакция журнала «Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки», 2013

Ministry of Education and Science of Russian Federation
Vitus Bering Kamchatka State University
JOURNAL COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS OF KRASEC
(Kamchatka Regional Association «Scientific-Educational Centre»)
Physico-Mathematical Sciences
2013 № 2 (7)

Petropavlovsk-Kamchatskiy City
Semi-annual edition founded in August, 2010
Scientific publication

ISSN 2079-6641

Mass Media Registrations Certificate ПИ № ФС 77-41501 issued August 04, 2010
by Mass Media and Cultural Heritage Protection Legislation Regulation Federal Service

Online version: http://mfit.ikir.ru ISSN 2079-665X

Editorial Board of Section

Editor-in-Chief
B.M. Shevtsov, Dr. Sc. (Phys. & Math.)

Managing Editor
R.I. Parovik, Ph. D. (Phys. & Math.)

V.P. Sivokon, Dr. Sc. (Technical)
N.N. Portnyagin, Dr. Sc. (Technical)
V.V. Potapov, Dr. Sc. (Technical)
I.A. Ilyin, Ph. D. (Phys. & Math.)
A.P. Goryushkin, Ph. D. (Phys. & Math.)
Yu.V. Marapulets, Ph. D. (Technical)
G.M. Vodinchar, Ph. D. (Phys. & Math.)
A.B. Tristanov, Ph. D. (Technical)
A.S. Perezhogin, Ph. D. (Phys. & Math.)

© Vitus Bering Kamchatka State University, 2013
© Kamchatka Regional Association «Scientific-Educational Centre», 2013
© Institute of Cosmophysical Researches and RadioWave Propagation FEB RAS, 2013
© Edition of «Journal Collection of Scientific Works of KRASEC. Physico-Mathematical Sciences», 2013

Содержание

МАТЕМАТИКА

Ильин И.А., Нощенко Д.С., Пережогин А.С.
Численные решения системы линейных уравнений с дробной степенью матрицы дифференциального оператора 7

ФИЗИКА

Богданов В.В., Кайсин А.В.
О возможном самосогласованном механизме формирования и распаде кольцевого тока Земли 12

Непомнящий Ю.А., Пережогин А.С., Шевцов Б.М.
Результаты исследования высоковозбужденных атомов верхней атмосферы 19

Сероветников А.С., Сивоконь В.П.
Геомагнитно-индуцированные токи в электроэнергетических системах 24

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Водинчар Г.М.
Использование собственных мод колебаний вязкой вращающейся жидкости в задаче крупномасштабного динамо 33

Ильин И.А., Нощенко Д.С., Пережогин А.С.
Динамические режимы системы Рикитаки с трением 43

Паровик Р.И.
Модель субдиффузии радона во фрактальной пористой среде 46

Попова А.В., Шереметьева О.В.
Моделирование хрупкой составляющей пластических деформаций 52

Чернева Н.В., Водинчар Г.М., Сивоконь В.П. Мельников А.Н., Санников Д.В., Агранат И.В.
Кореляционный анализ потоков свистящих атмосфериков и грозовых разядов 59

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Афанасьева А.А., Луковенкова О.О.
Методы обнаружения импульсов геоакустической эмиссии на основе алгоритмов разреженной аппроксимации и кластеризации 68

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ

Устатджаилова Х.А.
Применение компьютерных средств обучения на уроках геометрии с целью развития геометрических умений и навыков учащихся 74

Конференции 78

Научные издания 85

Сведения об авторах 91

Тематика журнала и правила для авторов 94

Contents

MATHEMATICA

Il'in I.A., Noshchenko D.S., Perezhogin A.S.
Numerical solution of a linear system with a fractional power . . . 7

PHYSICS

Bogdanov V.V. , Kaisin A.V.
About possible self-consistent mechanism of formation and disintegration of a ring current earth 12

Nepomnyashchiy Y.A., Perezhogin A.S., Shevtsov B.M.
Results of the study of highly excited atoms of the upper atmosphere 19

Serovetnikov A.S., Sivokon' V. P.
Geomagneticinduced currentsin electric power systems 24

MATHEMATICAL SIMULATION

Vodinchar G.M.
Using modes of free oscillations of a rotating viscous fluid in the large-scale dinamo 33

Il'in I.A., Noshchenko D.S., Perezhogin A.S.
Dynamic of Rikitaki's system with a friction 43

Parovik R.I.
Model subdiffusion radon in fractal porous medium 46

Popova A.S., Sheremetyeva O.V.
Simulation of brittle component plastic strains 52

Cherneva N.V., Vodinchar G.M., Sivokon' V.P., Mel'nikov A.N, Sannikov D.V., Agranat I.V.
Correlation analysis of streams of whistlers and lightnings 59

INFORMATION AND COMPUTATION TECHNOLOGIES

Afanas'eva A.A., Lukovenkova O.O.
Methods for finding geoacoustic emission impulses based on sparse approximation and clusterization algorithms 68

TEACHING OF MATHEMATICS

Ustadjalilova Kh. A.
Use of computer means of teaching the lessons of geometry with a view to the development of the geometric skills of students 74

Conferences 78

Scientific publications 85

About the authors 91

Topics of the journal and rules for authors 98

Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2013. № 2(7). С. 7-11. ISSN 2079-6641

DOI: 10.18454/2079-6641-2013-7-2-7-11

МАТЕМАТИКА

УДК 519.622+519.633

ЧИСЛЕННЫЕ РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ С ДРОБНОЙ СТЕПЕНЬЮ МАТРИЦЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА *

И.А. Ильин[1, 2], Д.С. Нощенко[2], А.С. Пережогин[1, 2]

[1] Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, 684034, Камчатский край, с. Паратунка, ул. Мирная, 7

[2] Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, 683031, г. Петропавловск-Камчатский, ул.Пограничная д.4

E-mail: d72156@gmail.ru

В работе исследуются численные решения линейных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных с дробной степенью разностного оператора. Показаны особенности решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений с дробной степенью разностного оператора. Введено условие регуляризации для разностого аналога дробной степени оператора.

Ключевые слова: численный метод, оператор дробной степени.

© Ильин И.А., Нощенко Д.С., Пережогин А.С., 2013

MATHEMATICA

MSC 65L12

NUMERICAL SOLUTION OF A LINEAR SYSTEM WITH A FRACTIONAL POWER

I.A. Il'in[1, 2], D.S. Noshchenko[2], A.S. Perezhogin[1, 2]

[1] Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation Far-Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 684034, Kamchatskiy Kray, Paratunka, Mirnaya st., 7, Russia

[2] Kamchatka state university by Vitus Bering, 683031, Petropavlovsk-Kamchatsky, Pogranichnaya st., 4, Russia

E-mail: d72156@gmail.ru

We investigate numerical solutions of linear ordinary and partial differential equations. Cauchy's problem for ordinary equations of first and second order are generalized with fractional power of finite operator. Condition of regularization for the difference operator analogue of a fractional power is represented.

Key words: fractional calculus, numerical method

© Il'in I.A., Noshchenko D.S., Perezhogin A.S., 2013

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках программы стратегического развития ФГБОУ ВПО "Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга" на 2012-2016 гг.

Введение

Математическое моделирование физических процессов выполняется с помощью дробного исчисления в тех случаях, когда физическая система обладает "памятью"[1]. Это означает, что значения искомой функции зависят от значений функции в предыдущие или следующие моменты времени. В связи с этим классические модели физических систем можно обобщить с помощью введения в рассмотрение дробной степени дифференциальных операторов, которые приставлют собой свертку со степенний функцией. Предполагается, что подобное математическое описание наиболее точно описывает физические процессы, которые происходят во фрактальных средах.

В настоящей работе рассматриваются простейшие примеры обыкновенных дифференциальных уравнений, для которых вычислительная схема имеет в качестве оператора дробную степень матрицы. Коэффициенты матрицы согласуются с формальным обобщением разностных оператор путем замены количества сочетаний на Гамма-функцию.

В одном из примеров мы покажем вычислтельную схемму для дробного диффузионного уравнения. Параметр дробности вводится в систему через временнную переменную.

1. Задача I

Рассмотрим уравнение

$$\frac{d^{\alpha}x(t)}{dt^{\alpha}} + x(t) = 0, \quad \alpha \in (0,1] \tag{1}$$

$$x(0) = 1 \tag{2}$$

В этой задаче мы можем использовать численную схему, заменив дифференциальный оператор на матрицу. В случае $\alpha = 1$, мы получаем обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка:

$$\frac{dx}{dt} \approx \frac{x_{i+1} - x_i}{\tau}, i = 0..n, \quad x_0 = 1$$

Система линейных уравнений для уравнения (1) с учетом начальных условий будет иметь вид:

$$\frac{1}{\tau}\begin{pmatrix} 1 & 0 & .. & 0 \\ -1 & 1 & .. & 0 \\ 0 & -1 & .. & 0 \\ .. & .. & .. & .. \\ 0 & 0 & .. & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ .. \\ x_n \end{pmatrix} = -\begin{pmatrix} -\frac{1}{\tau} & 0 & .. & 0 \\ 1 & 0 & .. & 0 \\ 0 & 1 & .. & 0 \\ .. & .. & .. & .. \\ 0 & 0 & .. & 0 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ .. \\ x_n \end{pmatrix} \tag{3}$$

Вычислим дробную степень α матрицы A в левой части уравнения, которая аппроксимирует разность первого порядка. В нашем случае параметр α выберем равным $\frac{1}{2}$. Используем рекурсивную схему (4) для нахождения дробной степени матрицы.

$$B_{n+1} = \frac{B_n + A \cdot B_n^{-1}}{2} \tag{4}$$

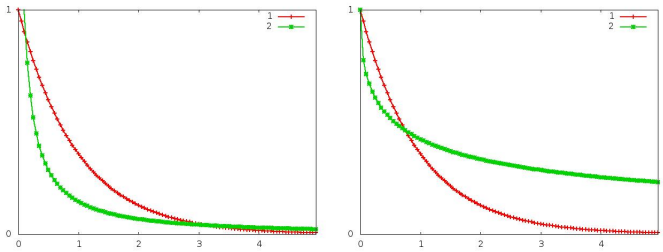

Рис. 1. *a)* – решения (3) и (5); *1* – $\alpha = 1$, *2* – $\alpha = \frac{1}{2}$; *b)* – регуляризованное решение (5).

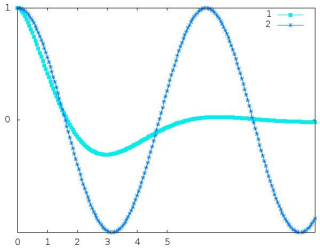

Рис. 2. Решение системы (5) при значениях: *1* – $\alpha = 2$, *2* – $\alpha = \frac{3}{2}$

Если $B_0 = A$ и $n \to \infty$, мы получаем $B_n \approx \sqrt{A}$. Таким образом, мы приходим к системе уравнений (5) для численного моделирования.

$$\frac{1}{\sqrt{\tau}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -.5 & 1 & 0 & 0 \\ -.125 & -.5 & 1 & 0 \\ -.0625 & -.125 & -.5 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} -\frac{1}{\sqrt{\tau}} & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \tag{5}$$

Когда $\alpha = \frac{1}{2}$, решение имеет особенность в начальной точке $t = 0$ (fig. **??** – *a*). Модифицируем систему линейных уравнений (5). Для этого выполним замену вектора $(x_0, x_1, \ldots, x_n)$ на вектор $(x_0, x_1 - x_0, \ldots, x_n - x_0)$ в левой части системы. Таким образом решение системы уравнений не имеет особенность в начальной точке (fig. **??** – *б*).

Рассмотрим коэффициенты матрицы $\sqrt{A}$. Мы рассмотрим приближение дробной разности порядка ν:

$$H^{\nu} f(x) = \lim_{\tau \to 0} \frac{1}{\tau^{\nu}} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\Gamma(\nu+1)}{k!\Gamma(\nu-k+1)} f(x - k\tau), \tag{6}$$

где $\Gamma(x)$ – гамма-функция.

Вычисление коэффициентов при $f(x-k\tau)$ дает совпадение со значением элементов матрицы $\sqrt{A}$. Таким образом, мы получаем совпадение вычислительного метода и разностным оператором Грюнвальда-Летникова.

2. Задача II

Рассмотрим формальную запись уравнения с дробной степенью:

$$\frac{d^\alpha x}{dt^\alpha} + x(t) = 0, \quad \alpha \in (1,2] \tag{7}$$

$$x(0) = 1, \quad x'(0) = 0 \tag{8}$$

We represent an left-side operator in first case by multiple of A and A, in second one – by A multiples $\sqrt{A}$, where A is a matrix of the first difference in (1).

For $\alpha = \frac{3}{2}$ the solution is underdamping oscillations. It is a main feature of systems with fractional dynamics. The same characteristics are represented in an equation of a fractional oscillator [2].

3. Задача III

Пусть u(t,x,y) задана в области $(x,y) \in [0,1] \times [0,1]$ и $t \in [0,\infty)$. Функция удовлетворяет уравнению (9) с начальными и граничными условиями.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \tag{9}$$

$$u(0,x,y) = \sin(\pi x)\sin(\pi y), \quad u(t,x,y)|_\Gamma = 0 \tag{10}$$

Решение этой системы представляется в виде:

$$u(t,x,y) = e^{-2\pi^2 t}\sin(\pi x)\sin(\pi y) \tag{11}$$

Численное решение можно представить явной схемой:

$$\frac{u_{ij}^{k+1} - u_{ij}^k}{\tau} = \frac{(u_{i+1j}^k + u_{i-1j}^k + u_{ij+1}^k + u_{ij-1}^k - 4u_{ij}^k)}{h^2} \tag{12}$$

Левая часть (12) может быть представлена в виде матрицы системы линейных уравнений. Дробная степень этой матрицы дает новое приближение для разностного аналога дифференциального оператора.

Рассмотрим классическое решение (11) и решение с дробной степенью матрицы в левой части (12). Отличия решений в случаях $\alpha = 1$ и $\alpha = \frac{1}{2}$ представлено на рис. 2. В численном методе, когда в качестве приближения по переменной t выбирается первая разность, то есть обычная матрица A, мы получаем приближение классического решения (11). В противном случае решение замедляет свое спадание со временем для дробной степени матричного оператора (рис. 2). Таким образом динамика такой задачи совпадает с решением для примера системы в задаче I.

4. Заключение

Численные решения обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных с дробной степенью оператора показывает наличие "эффекта памяти". Для физических систем это означает, что процесс имеет длительную

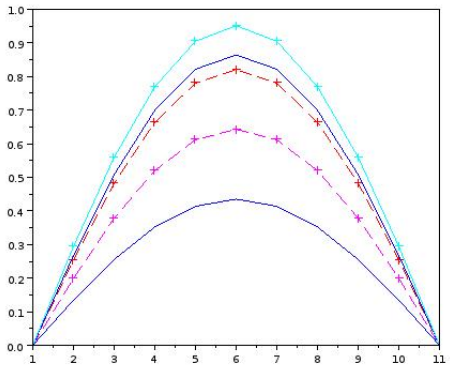

Рис. 3. Численное решение. Классическая схема – сплошная линия; дробная степень разностного оператора – сплошная линия с крестами.

релаксацию процесса. Такую методику моделирования можно применять в задачах расчета напряженно-деформированного состояния сред.

Библиографический список

1. Тарасов В.Е. Модели теоретической физики с интегро-дифференцированием дробного порядка. М., Ижевск: РХД, 2011. 568 с.
2. Нахушев А.М. Дробное исчисление и его применение. М.: Физматлит, 2003. 272 с.

Поступила в редакцию / Original article submitted: 05.11.2013

Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2013. № 2(7). С. 12-18. ISSN 2079-6641

DOI: 10.18454/2079-6641-2013-7-2-12-18

ФИЗИКА

УДК 550.385.41

О ВОЗМОЖНОМ САМОСОГЛАСОВАННОМ МЕХАНИЗМЕ ФОРМИРОВАНИЯ И РАСПАДЕ КОЛЬЦЕВОГО ТОКА ЗЕМЛИ

В.В. Богданов, А.В. Кайсин

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, 684034, Камчатский край, с. Паратунка, ул. Мирная, 7

E-mail: vbogd@ikir.ru

В работе предлагается один из возможных механизмов формирования и распада кольцевого тока.

Ключевые слова: магнитная буря, кольцевой ток, дрейфовое приближение

© Богданов В.В., Кайсин А.В., 2013

PHYSICS

MSC 78A25

ABOUT POSSIBLE SELF-CONSISTENT MECHANISM OF FORMATION AND DISINTEGRATION OF A RING CURRENT EARTH

V.V. Bogdanov, A.V. Kaisin

Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation Far-Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 684034, Kamchatskiy Kray, Paratunka, Mirnaya st., 7, Russia

E-mail: vbogd@ikir.ru

The paper presents one of the possible mechanisms of formation and decay of the ring current.

Key words: magnetic storm, the ring current, drift approximation

© Bogdanov V.V., Kaisin A.V., 2013

Введение

Известно, что на главной фазе магнитосферного возмущения на низких и средних широтах происходит уменьшение горизонтальной составляющей геомагнитного поля, а на восстановительной фазе поле возрастает и возвращается практически к начальному уровню. Это явление было объяснено Чепменом и Ферраро за счет формирования планетарного кольцевого тока (КТ) [1],[2], сконцентрированного в основном в области геомагнитного экватора на расстояниях равных нескольким радиусам от поверхности Земли. В тоже время в областях магнитосферы вне КТ (максимум расположен в интервале $L \sim 3-4$) следует ожидать обратную картину: на главной фазе магнитной бури магнитное поле растёт, а на восстановительной уменьшается до невозмущенного значения.

Сила КТ оценивается по величине горизонтальной составляющей возмущения магнитного поля, обозначаемой индексом D_{st}. Известно, что за динамику КТ ответственно глобальное электрическое поле $E_{\text{С}}$ [2],[3]. При этом основными параметрами, контролирующими формирование КТ на главной стадии бури, является скорость солнечного ветра V_{SW} и величина южной компоненты межпланетного магнитного поля B_Z. Перечисленные параметры ответственны за процессы перестройки магнитного поля во внешней области магнитосферы и проникновения в магнитосферу солнечной плазмы. Кроме того, эти параметры отвечают за $E_{\text{С}}$, для средней величины которой в экваториальной плоскости справедливо $E_{\text{С}} = V_{SW}\, B_Z$. В данной статье не рассматриваются механизмы инжекции заряженных частиц в магнитную ловушку КТ и ее заполнение. Полагаем, что на стадии развития магнитной бури, которая представляет собой наложение серии суббурь, происходит формирование симметричного буревого КТ, который создает собственное магнитное поле как во внутренней, так и во внешней (по отношению к нему) областях магнитосферы. Суперпозиция переменного магнитного поля КТ на главной и восстановительной фазах бури с дипольным полем Земли определяет динамику заряженных частиц плазмы в этих областях. Анализу динамики этих заряженных частиц для плоскости геомагнитного экватора в дрейфовом приближении посвящена настоящая работа.

Вывод вспомогательных соотношений

В безвихревом магнитном поле, уравнение движения ведущего центра в плоскости экватора переменного аксиального магнитного поля (широта $\lambda = 0$, $v_{II} = 0$ – параллельная составляющая скорости) имеет вид

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = c\frac{E}{B}\vec{e}_2 + \frac{k}{r}\frac{v_\perp^2}{2\omega_{\text{Л}}}\vec{e}_3, \tag{1}$$

где $\vec{e}_1 = \vec{B}\Big/B$, $\vec{e}_2$, $\vec{e}_3$– единичные векторы, направленные вдоль поля $\vec{B}$, главной нормали и бинормали к силовой линии, соответствующие криволинейным координатам $X_{1,}, X_2, X_3$ (координата X_1 совпадает с силовой линией) [4],[5]; $v \equiv v_\perp$ – полная скорость частицы, B и E – магнитное и электрическое поле, $\omega_{\text{Л}}$ – ларморовская частота. В (1) учтено, что если $rot\vec{B} = 0$, то $1/r_{\text{Кр}} = k/r$, k – некоторый коэффициент пропорциональности между радиус-вектором r и кривизной силовой линии $r_{\text{Кр}}$. В аксиальном поле и в цилиндрической системе координат из (1) для соответствующих скоростей

по координатам ϕ и r имеем ($\mu = mv_{\perp}^2/2H$ – первый адиабатический инвариант):

$$U_{\phi} = c\mu/er_{\text{кр}}, U_r = dr/dt = cE/B. \tag{2}$$

Из первого соотношения (2) получаем:

$$rU_{\phi} = (c/e)k\mu = const, \tag{3}$$

с точностью дрейфового приближения ($\mu = const$).

Лагранжиан заряженной частицы, двигающейся в плоскости экватора аксиального магнитного поля, с той степенью точности, с которой можно отделить дрейфовое движение от ларморовского вращения, в цилиндрической системе координат имеет вид

$$L = mU_{\phi}^2/2 + mU_r^2/2 + (e/c)rA_{\phi}. \tag{4}$$

На основе (4) и уравнения Лагранжа для обобщенного импульса частицы P_{ϕ} в дрейфовом приближении получим ($U_r \neq 0$)

$$P_{\phi} = mrU_{\phi} + (e/c)rA_{\phi}. \tag{5}$$

Учитывая, что справедливо (3), получаем

$$rA_{\phi} = const, \tag{6}$$

с точностью $\mu = const$. Поскольку в плоскости экватора аксиального поля $A_{\phi} \sim rB$, то из последнего выражения следует

$$r^2B = const. \tag{7}$$

Следовательно, помимо выражения (6), пропорционального потоку $\Phi \sim RA_{\phi}$, сохраняется и выражение (7). Из явного вида первого адиабатического инварианта ($\mu = mv_{\perp}^2/2) = const$ выразим значение магнитного поля B и подставим в (7). Получим

$$r^2mv^2/2\mu = const(v \equiv v_{\perp})rv = const. \tag{8}$$

Т. к. $\mu \sim (v^2/B) \sim T/B$, где T – температура частиц, то (8) можно представить в виде

$$r^2T = const. \tag{9}$$

Выражения (1)–(9) записаны *для текущих значений радиуса* r полей B, E и энергии $v^2 \equiv v_{\perp}^2$ при условии, что возмущенное магнитное поле остаётся аксиальным.

Определим смещение частицы по r в результате изменения магнитного поля за счет симметричной компоненты кольцевого тока, пропорциональной D_{st} – вариации (см. (2)), воспользовавшись результатами работы [4],[6]. Будем полагать, что влияние КТ на дипольное поле Земли зависит только от времени, а асимметрия поля и его радиальная зависимости отсутствуют. Пусть $\mathbf{E}$ – вихревое электрическое поле, которое, согласно уравнению Максвелла, появляется из-за изменения магнитного поля: $crot\mathbf{E} = -\partial\mathbf{B}/\partial t = -d\mathbf{B}_{dst}/dt$. В экваториальной плоскости поле $\mathbf{E}$ и поле $\mathbf{B}$ имеют по одной компоненте в цилиндрической системе координат (r, φ, z), в которой ось z направлена вдоль оси диполя $E = (0, E_{\phi}(r,t), 0)$ и $B = (0, 0, B_z(r,t))$ где $B_z(r,t) = B_e(r,t) \cdot (r_e/r)^3$, B_e – стационарное поле на поверхности Земли. Выразив из уравнения Максвелла поле E_{ϕ} и подставив его значение во второе уравнение для

радиального дрейфа U_r, получим связь между значением B_{dst} – вариацией и радиус-вектором частицы, на который она сместится относительно своего начального положения r_{in} в момент начала бури ($t = 0$) [4],

$$B_{dst} = 2B_e(r_e/r)^3(1 - r/r_{in}), \tag{10}$$

где r_{in} – первоначальный радиус дрейфовой оболочки протона при $B_{in} = B_e \cdot (r_e/r_{in})^3$, или, разрешив (10) относительно r_{in}, получим

$$r_{in} = r/[1 - (B_{dst}/2B_e)(r/r_e)^3]. \tag{11}$$

Перепишем решение (11) как

$$-2\pi B_e r_e^3/r + \pi r^2 B_{dst} = -2\pi B_e r_e^3/r_{in}, \tag{12}$$

и, поскольку поток дипольной составляющей магнитного поля через дрейфовую оболочку имеет вид

$$\Phi_d(r) = \int_0^r \frac{B_e r_e^3}{r^3} 2\pi r dr = -\int_r^\infty \frac{B_e r_e^3}{r^3} 2\pi r dr = -\frac{2\pi B_e r_e^3}{r}, \tag{13}$$

то с учетом этого выражения и (12) получаем

$$\Phi_d + \pi r^2 B_{dst} = \Phi_d(r_{in}) = const. \tag{14}$$

Следовательно, (10) можно представить в виде, который совпадает с условием сохранения полного потока магнитного поля, охватываемого дрейфовой оболочкой (третий адиабатический инвариант). Так как $B(r) = (B_e r_e^3)/r^3$, представим (12) в виде $r^2[B(r) - B_{dst}/2] = r_{in}^2 B(r_{in}) = const$ или

$$r^2 B_r = r_{in}^2 B_{in} = const, \tag{15}$$

что аналогично общему выражению (7).

Результаты анализа

Из (10) и (15) следует, что при $B_{dst} < 0$ частицы дрейфуют от Земли $r > r_{in}$ с уменьшением согласно (9) температуры, и, наоборот, при $B_{dst} > 0$ частицы дрейфуют к Земле $r < r_{in}$ с увеличением температуры. Это справедливо для внутренней области по отношению к КТ ($L < 3$) и для внешней области ($L > 4$), как на главной, так и восстановительной фазе бури.

В работе [6] показано, что модель смещения дрейфовой оболочки от Земли на главной фазе бури, определяемое уменьшением поля B во внутренней плазмосфере, удовлетворительно описывает понижение температуры протонов в экваториальной плоскости и удаление от Земли, зарегистрированное спутниками МАГИОН-5 и ИНТЕРБОЛ-2. На восстановительной фазе всё происходит наоборот: протоны нагреваются и приближаются к Земле. При этом модель деформированной силовой линии при возмущении не рассматривалась. На основе результатов работ [6], [7], [8], в которых построена динамическая система координат, описывающая перенос плазмы в нестационарном магнитном поле с учётом деформации силовой линии, и данных

спутника «Ого-3» [9] рассмотрим динамику магнитной бури, которая произошла в начале июля 1966г. Смысл модели в том, что по измеренным значениям реального поля в точке с радиус-вектором r можно определить параметры поля B^{in} и r_{in} откуда стартовала частица, или, наоборот, куда она придёт в конце возмущения, если известно деформированное поле. Зададим уравнение возмущенной силовой линии в виде $r = R_0 cos^k \lambda$ (см. работы [6], [7], [8]), разделив её деформацию на две части – на главную и восстановительную. Коэффициент k для уравнения силовой линии на главной фазе определим соотношением $k_{\text{ГЛ}} = 2 + 1.5(\sigma_{\text{ГЛ}})^2$, где $\sigma_{\text{ГЛ}} = t/\tau_{\text{ГЛ}}$ – безразмерный величина, пропорциональная времени от начала развития магнитной бури до начала восстановления. Для восстановительной стадии $k_{\text{В}} = 2 + 1.5(1 - \sigma_{\text{В}}^2)$, где $\sigma_{\text{В}} = t/\tau_{\text{В}}$ – пропорциональна времени, уже отсчитываемому от начала восстановительной фазы магнитной бури, а $\tau_{\text{В}}$ – характерное время восстановления магнитного поля после максимальной деформации в момент $\sigma_{\text{В}} = 0$, связанной с развитием главной фазы бури. В конечный момент главной фазы коэффициент $k_{\text{ГЛ}}(\sigma_{\text{ГЛ}} = 1)$ равняется начальному значению $k_{\text{В}}(\sigma_{\text{В}} = 0)$. На рис.1 представлены невозмущенные силовые линии дипольного поля Земли и КТ (а) и их суперпозиция (рис.1б).

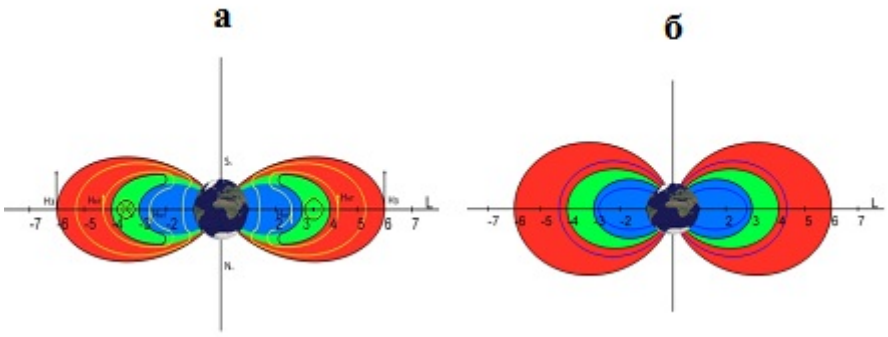

Рис. 1. а) Силовые линии дипольного магнитного поля Земли (черный цвет) и кольцевого тока (желтый цвет). Указано направление кольцевого тока. б) Суперпозиция силовых линий магнитного диполя и кольцевого тока Земли. Во внешней области от кольцевого тока k≤2, во внутренней области k≥ 2, $r = R_0 cos^k \lambda$

Суперпозиция силовых линий магнитного диполя и кольцевого тока Земли. Во внешней области от кольцевого тока $k \leq 2$, во внутренней области $k \geq 2$, $r = R_0 cos^k \lambda$

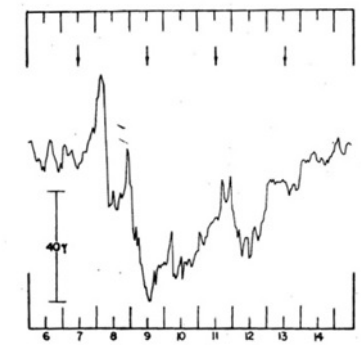

Рис. 2. Значения $D_{st}(H)$ в период геомагнитной бури в начале июля 1966г. [9].

На рис.2 для индекса D_{st} показано развитие этой бури по дням [9], откуда следует, что главная фаза бури $\tau_{\text{ГЛ}} = 1{,}5$ дня, а восстановительная $\tau_{\text{В}} = 4$ дня. Для этой бури нам основе конкретных значений $D_{st}(t)$ и прослежена динамика возмущенных силовых линий внутренней и внешней областей магнитосферы по отношению КТ.

На рис.3 представлена иллюстрация к предложенному механизму формирования кольцевого тока на главной и восстановительных фазах магнитной бури на основе модельного представлении сжатия и расширения силовых линий в области захвата магнитосферы Земли.

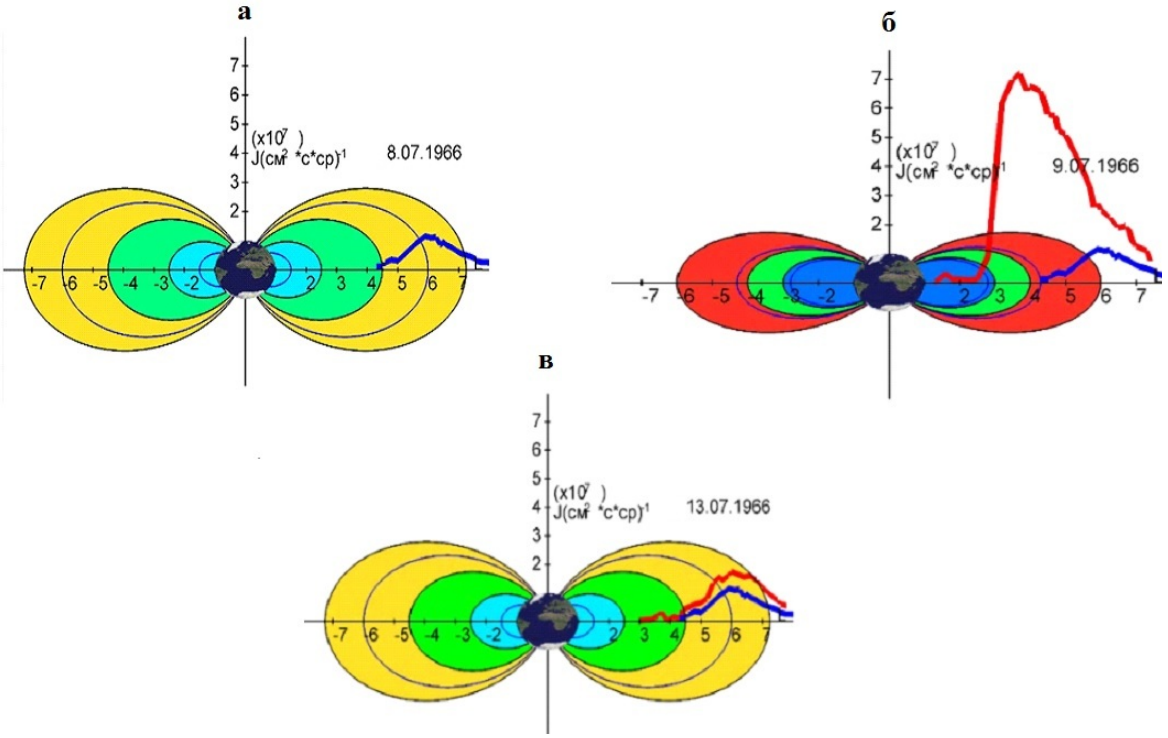

Рис. 3. Иллюстрация динамики внутренней и внешней магнитосферы по отношению к КТ на примере изменения силовых линий: а) перед началом бури, 8 июля (распределение протонов обозначено линией синего цвета); б) в конце главной фазы 9 июля (красный цвет); в) в конце магнитной бури, 13 июля. КТ выделен зеленым цветом.

На рис.3 представлены соответствующие изменения в распределении направленных потоков протонов j с энергиями в интервале $31\text{эВ} \leq \text{p} \leq 49\text{кэВ}$ по данным спутника «ОГО-3» [9].

Заключение

Показано, что на главной фазе магнитной бури во внешней области по отношению к КТ ($L > 4$) заряженные частицы за счёт электрического дрейфа двигаются к Земле (к КТ) и при этом нагреваться, а на восстановительной фазе удаляются от Земли (от КТ) и остывают. В тоже время во внутренней по отношению к КТ области ($L < 3$) на главной фазе магнитной бури картина обратная: частицы двигаются от Земли к формирующемуся КТ и остывают [10], а на восстановительной фазе – от КТ, т.е. к

Земле, и нагреваются. Следовательно, на главной стадии бури складываются естественные условия, при которых за счет встречного движения заряженных частиц КТ начинает усиливаться. При этом он как бы сам себя формирует, «собирая» вокруг и «подтягивая» к себе плазму. На стадии восстановления, когда происходит ослабление давления солнечного ветра на магнитосферу, дипольное поле начинает восстанавливаться и, как следствие, происходит ослабление КТ. В этом случае предложенный механизм формирования и ослабления КТ автоматически предполагает внутри самого КТ существование области с $3 < L < 4$, где поле на главной и восстановительной фазах остаётся постоянным, т.к. здесь и $\partial B/\partial t$, и электрическое поле изменяют знак и поэтому равны нулю. Подтверждением этого является экспериментально зарегистрированный факт постоянства параметров КТ в его внутренней области (спутник CCE программы AMPTE) [1].

Библиографический список

1. Тёмный В.В. Плазма кольцевых токов магнитосферы Земли. Модель в сопоставлении с результатами эксперимента AMTE/CCE // Космические исследования. 1987. Т. 25. Вып. 3. С. 428-438.

2. Akasofu S.-I, Chapman S. The ring current, geomagnetic disturbance, and the Van Allenradiation beits // J. Geophys. Res. 1961. Vol. 66. P. 1321-1350.

3. Chapman S., Ferraro V.C. A new theory of magnetic storm // Nature. 1930. Vol. 126. P. 129-130.

4. Веригин М.И., Котова Г.А., Безруких В.В., Богданов В.В., Кайсин А.В. Дрейф ионов во внутренней плазмосфере Земли во время манитосферных возмущений и динамика температуры протонов // Геомагнетизм и аэрономия. 2011. Т. 51. С. 41-50.

5. Морозов А.И., Соловьев Л.С. Движение заряженных частиц в электромагнитных полях // Вопросы теории плазмы. 1963. Вып.2. С. 177–261.

6. Богданов В.В., Плетнев В.Д. К вопросу о динамической системе координат в геомагнитной ловушке // Космические исследования. 1974. Т. 12. Вып. 3. С. 380-386.

7. Богданов В.В. Динамика магнитосферной плазмы в дрейфовом приближении. Владивосток: Дальнаука, 2006. 140 с.

8. Богданов В.В. Исследование в геосферных оболочках процессов, инициированных солнечным и литосферным воздействием: дис... док. физ.-мат. наук. Иркутск, 2008. С. 264.

9. Frank L.A. On the extraterrestrial ring current during geomagnetic storms // J.Geeophys. Res. 1967.

10. Редерер Х. Динамика радиации, захваченной геомагнитным полем. – М.: Мир, 1972. 192 с.

Поступила в редакцию / Original article submitted: 21.11.2013

Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2013. № 2(7). С. 19-23. ISSN 2079-6641

DOI: 10.18454/2079-6641-2013-7-2-19-23

УДК 551.51

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОВОЗБУЖДЕННЫХ АТОМОВ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ

Ю.А. Непомнящий[1], А.С. Пережогин[1, 2], Б.М. Шевцов[1]

[1] Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, 684034, Камчатский край, с. Паратунка, ул. Мирная, 7

[2] Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга , 683031, г. Петропавловск-Камчатский, ул.Пограничная д.4

E-mail: vicekam@gmail.com

В работе преставлены результаты данных ионозонда над Камчаткой в период появления D-слоя в ночное время. Одновременно получены спектры ночного неба в этот период с помощью спектроанализатора, установленного на лидарной станции ИКИР ДВО РАН.

Ключевые слова: верхняя атмосфера, спектры, высоковозбужденные атомы.

© Непомнящий Ю.А., Пережогин А.С., Шевцов Б.М. , 2013

MSC 86A10

RESULTS OF THE STUDY OF HIGHLY EXCITED ATOMS OF THE UPPER ATMOSPHERE

Y.A. Nepomnyashchiy[1], A.S. Perezhogin[1, 2], B.M. Shevtsov[1]

[1] Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation Far-Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 684034, Kamchatskiy Kray, Paratunka, Mirnaya st., 7, Russia

[2] Kamchatka state university by Vitus Bering, 683031, Petropavlovsk-Kamchatsky, Pogranichnaya st., 4, Russia

E-mail: vicekam@gmail.com

The results of Ionosonde data over Kamchatka during the emergence of D-layer at night are discussed. At the same time, the spectra of the night sky are represented at this period using a spectrum analyzer installed on Lidar Station of IKIR FEB RAS.

Key words: upper atmosphere, spectra, highly excited atoms

© Nepomnyashchiy Y.A., Perezhogin A.S., Shevtsov B.M., 2013

Введение

Высоковозбужденные (ридберговские) атомы в верхней атмосфере вызывают интерес широкого круга специалистов, благодаря способности оказывать влияние на распространение радиоволн и создавать помехи в работе коммуникационных и навигационных систем. Ридберговские атомы характеризуются эмиссией электромагнитного излучения в широком спектральном диапазоне и высоким сечением рассеяния, что позволяет наблюдать их возникновение различными дистанционными методами [1].

Экспериментальные данные

Эксперимент проводился с помощью лидарного телескопа Ньютона (диаметр зеркала 60 см., фокусное расстояние 210 см.) и спектроанализатора LaVision (Таблица 1) с монохроматором Acton Spectra Pro 2500i (Таблица 2). Схема установки представлена на рис. 1.

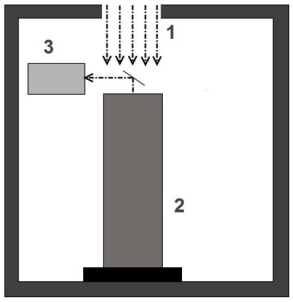

Рис. 1. Схема установки спектроанализатора. 1 – люк, 2 – телескоп, 3 – спектроанализатор.

Таблица 1

Характеристики спектроанализатора

Тип матрицы	CCD
Разрешение	1376(верт.)×1040(гор.)
Размер пикселя	6.45×6.45 (мкм)
Спектральный диапазон	190 - 900 (нм)
Квантовый выход (λ=520 нм)	$\geq$ 60%
Время накопления (макс.)	20 мин.

В ночь с 28.02.2013 на 1.03.2013 проводилась серия спектральных снимков ночного неба каждые 30 минут со временем накопления сигнала 20 минут. Параллельно регистрировались данные ионозонда с периодом 15 минут. Полученные спектрограммы и ионограммы представлены на рис. 2 – рис. 7. На рис. 2 отчётливо наблюдаются линии 557 нм. и 630 нм. Остальные спектрограммы также показывают свечение на различных длинах волн. Ионозонд регистрировал спорадические высыпания электронов на высотах 100-150 км. с критической частотой 1-5 МГц.

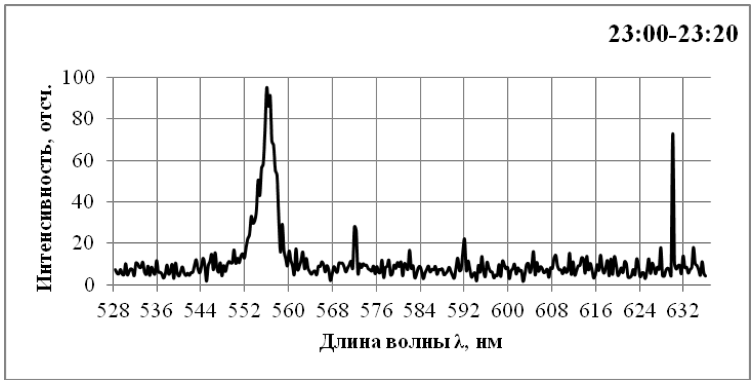

Рис. 2. Спектр ночного неба 23:00-23:20

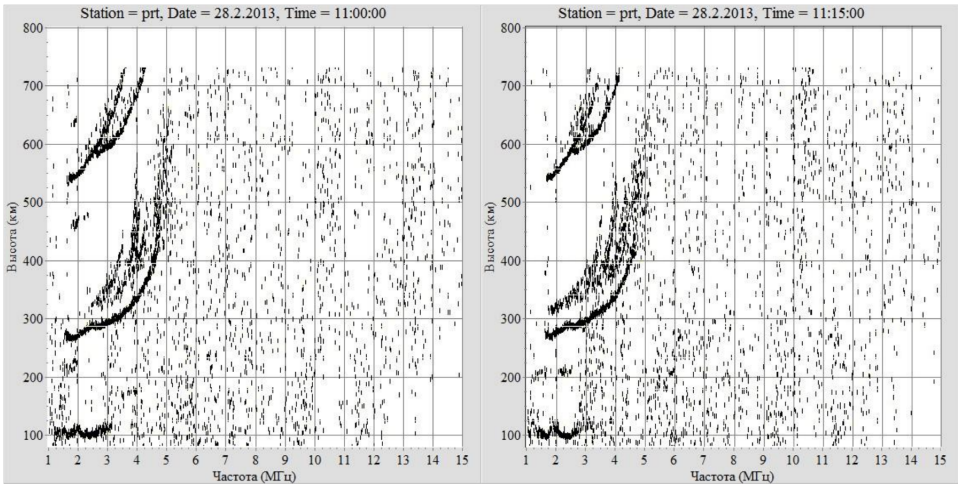

Рис. 3. Ионограммы 23:00, 23:15

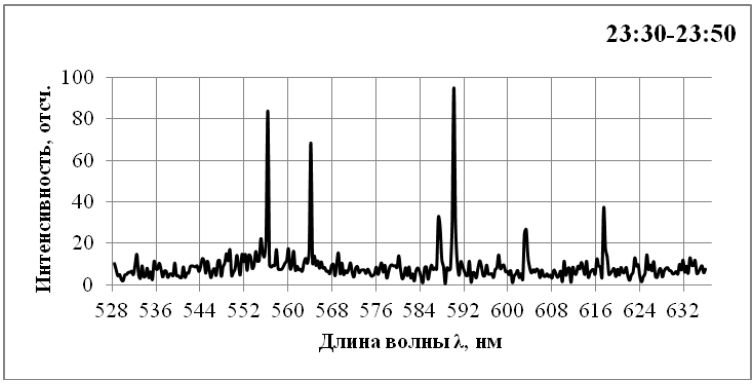

Рис. 4. Спектр ночного неба 23:30-23:50

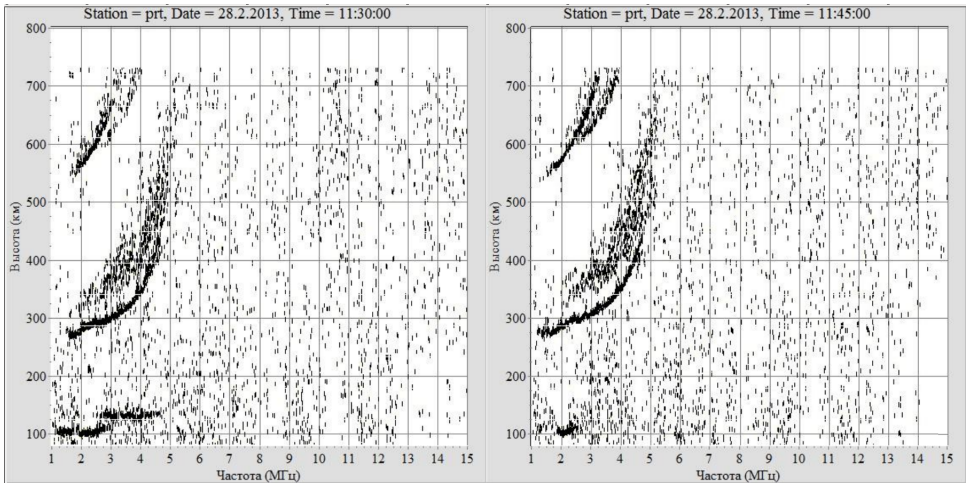

Рис. 5. Ионограммы 23:30, 23:45

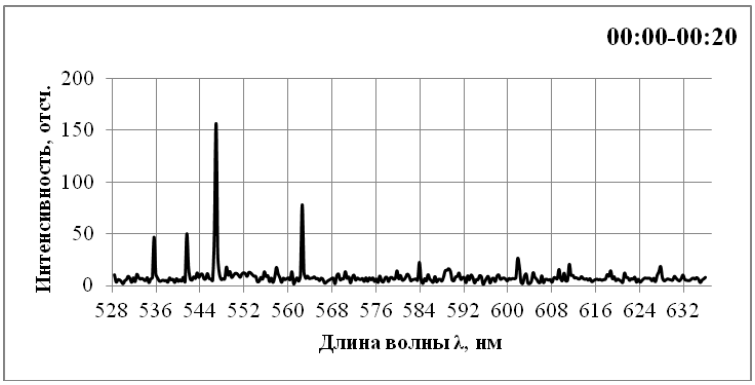

Рис. 6. Спектр ночного неба 00:00-00:20

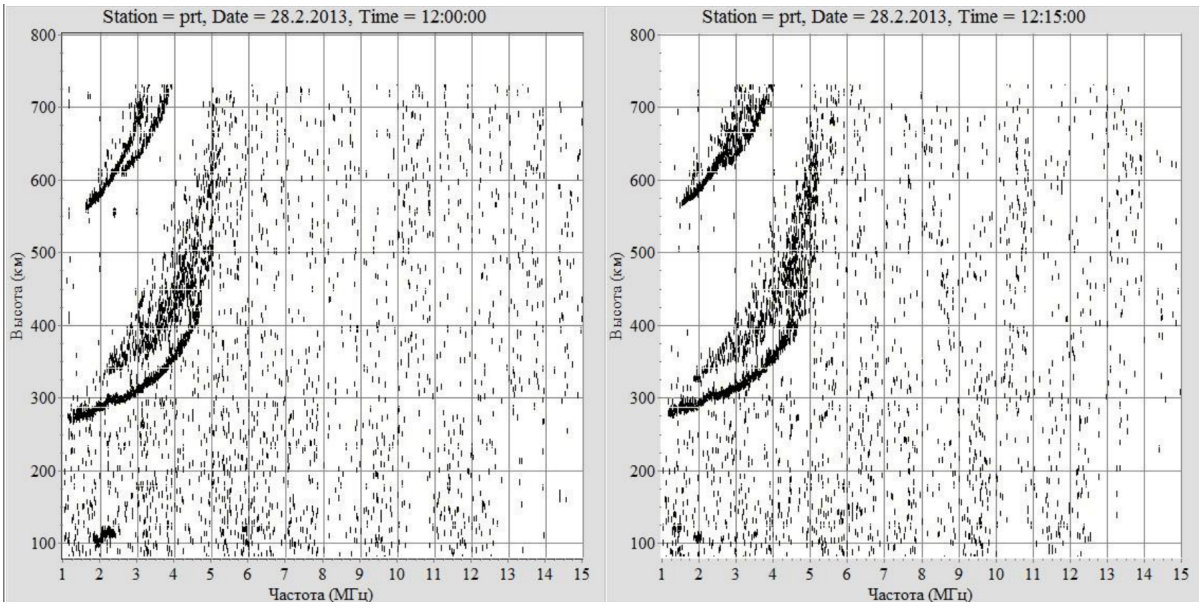

Рис. 7. Ионограммы 00:00, 00:15

Таблица 2

Идентификация линий

Длина волны (OI)	Aki (s^{-1})	Ei (eV)	Ek (eV)	Нижняя конф.	Терм	Верхняя конф.	Терм
555.4832	5.83e+05	10.988792	13.2201781	2s22p3(4S)3p	3P	2s22p3(4S)7s	3S °
555.5004	9.71e+05	10.988861	13.2201781	2s22p3(4S)3p	3P	2s22p3(4S)7s	3S °
555.5053	1.94e+05	10.988880	13.2201781	2s22p3(4S)3p	3P	2s22p3(4S)7s	3S °
557.7339	1.26e+00	1.9673640	4.1897461	2s22p4	1D	2s22p4	1S
630.0304	5.63e-03	0.000000	1.9673640	2s22p4	3P	2s22p4	1D
630.0304	2.11e-05	0.000000	1.9673640	2s22p4	3P	2s22p4	1D
Длина волны (N)	Aki (s^{-1})	Ei (eV)	Ek (eV)	Нижняя конф.	Терм	Верхняя конф.	Терм
555.7383	9.94e+05	11.750091	13.9804531	2s22p2(3P)3p	4D °	2s22p2(3P)5d	4F
556.0337	1.42e+06	11.763846	13.9930229	2s22p2(3P)3p	4D °	2s22p2(3P)5d	4F
556.4265	1.21e+06	11.757531	13.9851347	2s22p2(3P)3p	4D °	2s22p2(3P)5d	4F
556.4265	1.06e+06	11.752894	13.9804977	2s22p2(3P)3p	4D °	2s22p2(3P)5d	4F
556.4377	3.96e+05	11.752894	13.9804531	2s22p2(3P)3p	4D °	2s22p2(3P)5d	4F
557.5872	3.42e+05	11.757531	13.9804977	2s22p2(3P)3p	4D °	2s22p2(3P)5d	4F
557.5984	2.81e+04	11.757531	13.9804531	2s22p2(3P)3p	4D °	2s22p2(3P)5d	4F
572.9350	8.87e+04	11.995575	14.15899	2s22p2(3P)3p	4S °	2s22p2(3P)6d	4P

Заключение

На основании информации электронного каталога спектральных линий атомов [2] произведена идентификация спектральных линий. Обнаружено наличие возбуждённых атомов с главным квантовым числом 7 для атомарного кислорода и 5 для атомарного азота.

Библиографический список

1. Голубков Г.В., Иванов Г.К. Ридберговские состояния атомов и молекул и элементарные процессы с их участием. М.: Либроком, 2009.

2. Электронный каталог спектральных линий атомов http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines.html

Поступила в редакцию / Original article submitted: 18.11.2013

Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2013. № 2(7). С. 24-32. ISSN 2079-6641

DOI: 10.18454/2079-6641-2013-7-2-24-32

УДК 621.311.001.57

ГЕОМАГНИТНО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ТОКИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

А.С. Сероветников[1, 2], В.П. Сивоконь[1, 2]

[1] Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, 684034, Камчатский край, п. Паратунка, ул. Мирная, 7

[2] Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, 683032, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 4

E-mail: sas-w@yandex.ru, vsivokon@mail.ru

На примере локальной электросети Камчатского края показана связь высших гармоник промышленного тока и вариаций магнитного поля Земли. Установлена зависимость механизма возникновения геомагнитно-индуцированных токов от топологии электросети.

Ключевые слова: геомагнитно-индуцированные токи, высшие гармоники промышленного тока

© Сероветников А.С., Сивоконь В.П., 2013

MSC 78A25

GEOMAGNETICINDUCED CURRENTSIN ELECTRIC POWER SYSTEMS

A.S. Serovetnikov[1, 2], V. P. Sivokon'[1, 2]

[1] Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation Far-Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 684034, Kamchatskiy Kray, Paratunka, Mirnaya st., 7, Russia

[2] Vitus Bering Kamchatka State University, 683031, Petropavlovsk-Kamchatsky, Pogranichnaya st., 4, Russia

E-mail: sas-w@yandex.ru, vsivokon@mail.ru

On the example of the local powergrid of Kamchatka shows the relationship between the magnitude of industrial current harmonics and variations of Earth's magnetic field. Shows dependence of mechanism of geomagnetically induced currents creation from topology of powergrid.

Key words: geomagnetically induced currents, harmonics current industrial

© Serovetnikov A.S., Sivokon' V. P., 2013

Введение

Электроэнергетические системы являются одной из критически важных структур техногенного комплекса страны. Сложность самой системы и происходящей в ней процессов приводит к тому, что риски аварий в ней являются многофакторными.

Одним из таких факторов является природное явление, обусловленное солнечно-земными связями, а именно геомагнитно-индуцированные токи (ГИТ). Для оценки их влияния на электрические сети в мировой практике, как правило, используется подход, основанный на измерении ГИТ в нейтральном проводе. Так поступают, к примеру, в Финляндии [1] и у нас на Кольском полуострове [2]. Для оценки влияния ГИТ на другие техногенные системы, газо и нефтепроводы, используется вычисление ГИТ на основе данных магнитометрических станций и специальных технологий [3].

В публикации [4] авторами предложен способ оценки влияния ГИТ на электрические сети путём оценки вариаций высших гармоник промышленного тока. На примере локальных электрических сетей Камчатки в публикации [4] показана связь между вариациями магнитного поля Земли и величиной гармоник сети. В 2011 году база наблюдений расширена, что позволило получить в 2011-2012 годах новые результаты, предлагаемые в настоящей статье.

Анализ данных

Степень влияния геомагнитно-индуцированных токов на электрические сети зависит от их величины и степени восприимчивости техногенной системы к ГИТ. Величина ГИТ определяется уровнем возмущения магнитного поля Земли, скоростью его изменения и свойствами подстилающей поверхности в месте расположения системы [5],[6].

Параметры, влияющие на степень восприимчивости системы можно разделить на две составляющие: топологическую и технологическую. Под топологической составляющей следует понимать конфигурацию и протяжённость электрических сетей, их ориентацию относительно силовых линий магнитного поля Земли. Под технологической составляющей подразумеваются технические особенности сети, которые способны увеличить восприимчивость к ГИТ. К ним следует отнести собственный уровень высших гармоник сети [4] и схемные решения нивелирующие, либо усиливающие негативное проявление ГИТ [7]. Структурировав таким образом механизмы реализации ГИТ, проведём анализ данных, полученных в ходе наблюдений.

С 2011 года измерения гармоник сети проводятся в трёх пунктах наблюдения Петропавловск-Камчатский, Паратунка и Усть-Большерецк (рис. 1).

Сведениями о состоянии магнитного поля Земли обеспечивает обсерватория Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, который располагается в посёлке Паратунка. Подача электроэнергии в пункты наблюдения осуществляется с использованием воздушных линий. Из рисунка видно, что линии имеют различную протяжённость и топологию, но, по сути, являются радиально-магистральными.

Запись уровня гармоник в пунктах наблюдения ведётся по технологии, описанной в [4], непрерывно. Выборка данных производится для дней, когда уровень возмущённости поля в единицах планетарного магнитного индекса составляет 9 и выше. Для сопоставления используется вертикальная компонента магнитного поля Земли, по-

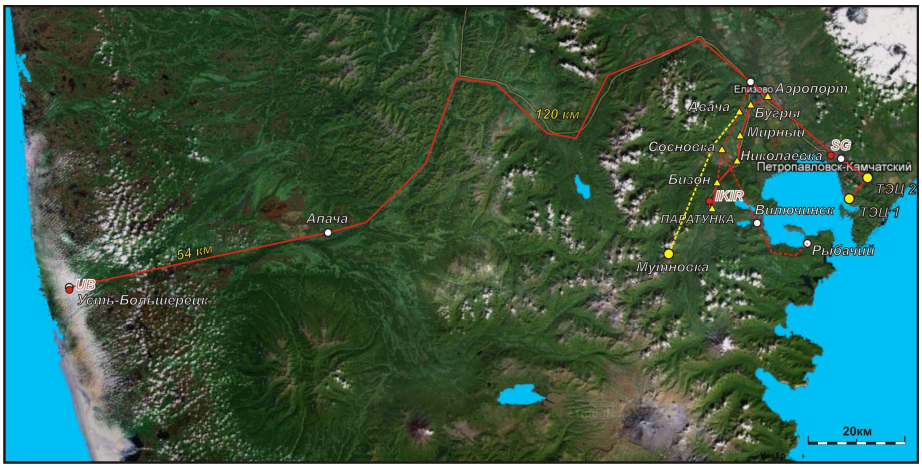

Рис. 1. Схема сети пунктов наблюдения

скольку именно она формирует горизонтальную составляющую электрического поля, ответственную за наведение геомагнитно-индуцированного тока в линейных проводах электропередач. Связь уровня гармоник сети с её вертикальной компонентой магнитного поля Земли оценивается, в том числе, с использованием функции корреляции.

Результаты сопоставления уровня гармоник и вариаций вертикальной составляющей магнитного поля в 2011-2012 годах показаны на рис. 2.

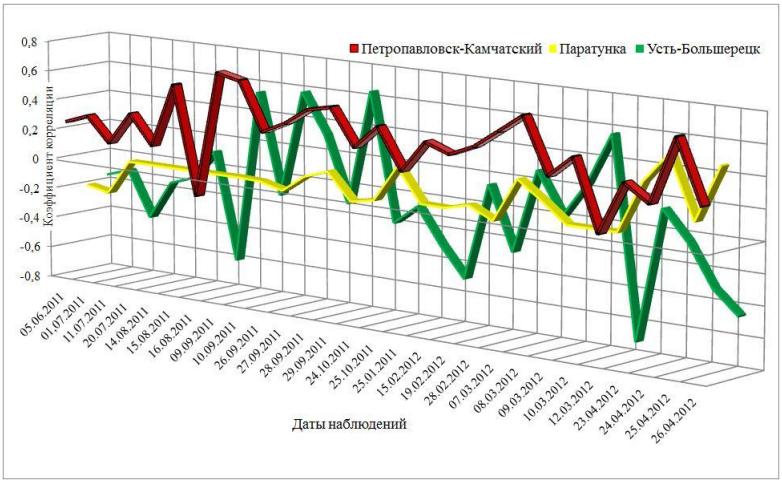

Рис. 2. Корреляция уровня гармоник в трех пунктах наблюдения и вертикальной составляющей вектора магнитного поля Земли

Из рисунка видно, что абсолютное изменение магнитного поля хорошо коррелирует с уровнем гармоник сети в Петропавловске-Камчатском, Паратунке и хуже в Усть-Большерецке.

Если обратиться к рис. 1, то можно увидеть, что протяжённость линии до Усть-Большерецка значительно больше всех остальных, ориентирована она с северо-востока на юго-запад, в первом приближении в меридиональном направлении и,

следовательно, наводимый в ней геомагнитно-индуцированный ток должен быть выше. Но если проанализировать ситуационную схему (рис. 1), то можно обнаружить, что линия Петропавловск-Камчатский - Рыбачий образует контур, который условно можно считать рамкой, у которой линейные размеры несоизмеримо малы по сравнению с длиной волны геомагнитно-индуцированных токов (рис. 3.)

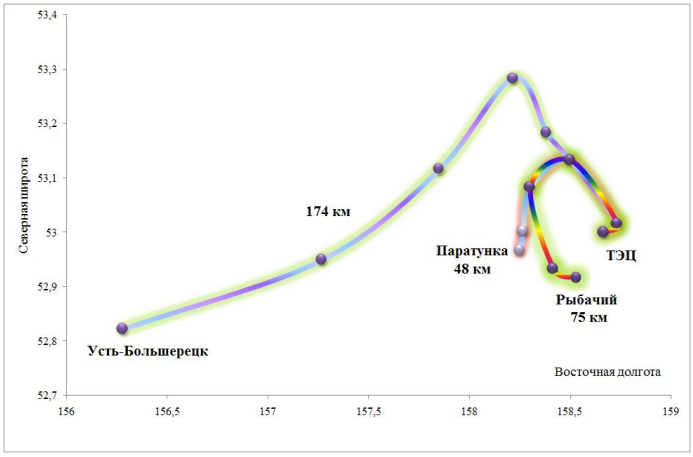

Рис. 3. Схема электрической сети Камчатского края

Такими же малыми размерами по сравнению с длиной волны обладает и линия Петропавловск-Камчатский-Усть-Большерецк, но она является линейным проводником.

Взаимодействие линейного проводника и рамки с электромагнитным полем существенно отличаются (рис. 4).

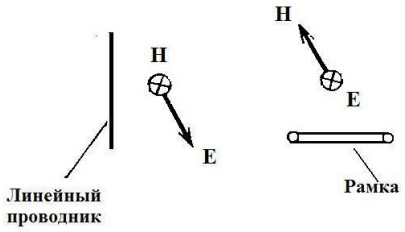

Рис. 4. Схема взаимодействия линейного проводника и тока с электромагнитным полем

В первом ток обусловлен вариациями электрического поля, а во втором магнитного.

Величина тока проводимости в линейном проводнике с удельной проводимостью σ порождаемого электрическим полем $\vec{E}$ равна

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}.$$

Изменение электрического поля $\overrightarrow{E}$ в соответствии с законом электромагнитной индукции связано с вариациями магнитной индукции $\overrightarrow{B}$:

$$rot\,\overrightarrow{E} = -\frac{d\overrightarrow{B}}{dt}.$$

Следовательно, для линейного проводника величина геомагнитно-индуцированного тока зависит от его ориентации относительно силовых линий электрического поля и скорости вариаций магнитного поля. Для рамки, в соответствии с законом полного тока изменение магнитного поля приводит к формированию в контуре тока с плотностью:

$$\overrightarrow{J} = rot\,\overrightarrow{H},$$

где $\overrightarrow{H}$ – вектор напряжённости магнитного поля. Если вместо вектора магнитного поля $\overrightarrow{H}$ использовать вектор магнитной индукции $\overrightarrow{B}$, то

$$\overrightarrow{J} = \mu_0 rot\,\overrightarrow{B},$$

где μ_0 – магнитная постоянная. Следовательно, для линии Усть-Большерецк можно ожидать большей степени корелированности уровня гармоник не с абсолютными вариациями магнитного поля Земли, а с производной от неё. Результаты сопоставления уровня гармоник сети с производной от вариаций магнитного поля Земли показано, на рис. 5.

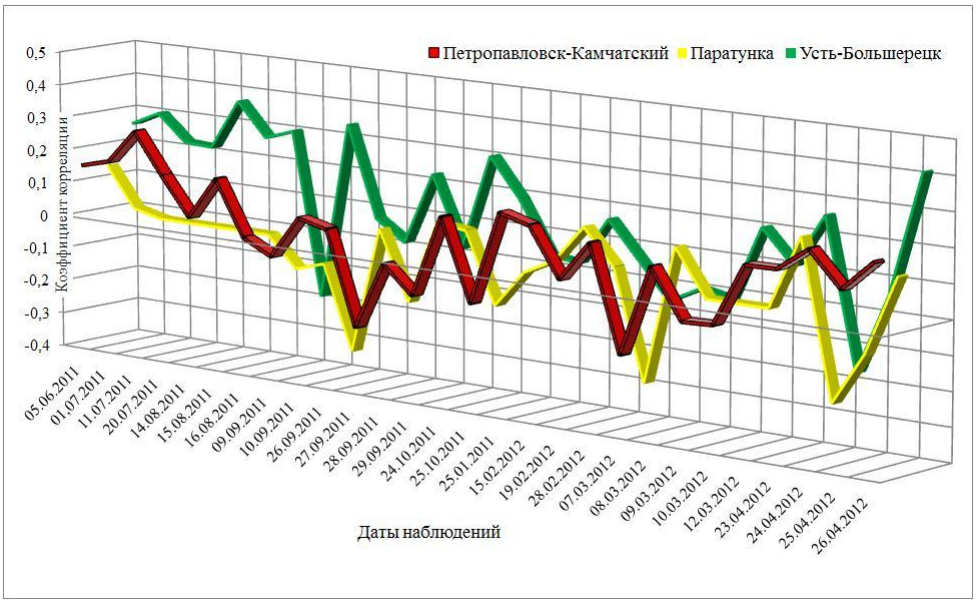

Рис. 5. Корреляция производной по времени от уровня гармоник в трех пунктах наблюдения и вертикальной составляющей вектора магнитного поля Земли

Из рисунка видно, что корреляция процессов в большей степени проявляется для линии Усть-Большерецк и в меньшей степени, линий Петропавловск-Камчатский и Паратунка. Нельзя не обратить внимания ещё на одну существенную особенность линии электропередачи Петропавловск-Камчатский-Рыбачий: она проходит в непосредственной близости от береговых очертаний Авачинского залива (рис. 1). Проводимость морской воды значительно выше суши и этот фактор нельзя не учитывать,

поскольку в работах [8],[9] показано, что существенную роль в величине ГИТ играют свойства подстилающей поверхности. В частности, вследствие существования скин-эффекта связь между электрической и магнитной составляющей поля может быть записано, как [8]

$$E_y = -\sqrt{\frac{\omega}{\mu_0 \sigma}} e^{j\frac{\pi}{4}} B_x,$$

где E_y – горизонтальная составляющая электрического поля; B_x –вертикальная компонента магнитного поля; ω – круговая частота.

Из анализа этого выражения следует, что увеличение проводимости подстилающей поверхности уменьшает величину горизонтальной составляю-щей поля, при неизменной величине вертикальной компоненты магнитного поля, что для линии Петропавловск-Камчатский-Рыбачий означает умень-шение влияния горизонтальной составляющей электрического поля.

Таким образом, для различных участков электрической сети Камчатки имеющих отличную топологию, генезис геомагнитно-индуцированных токов носит значительно отличающийся и комплексный характер, что в частности подтверждает правильность выбранного нами структурирования задачи определения степени восприимчивости отдельных элементов энергосистемы.

При рассмотрении технологической сотавляющей рисков проявления ГИТ следует особо выделить фактор высших гармоник промышленного тока. Известно, что именно рост высших гармоник при увеличении ГИТ явился причиной катастрофы в Квебеке [10]. Интересно отметить, что задолго до событий в Канаде возможный механизм проблем с ГИТ был смоделирован для штатов Миннесота и Висконсин, США [11]. В этой работе показано, что протекании ГИТ вызовет значительный рост высших гармоник, но рассматриваются они как возможный источник проблем при разного рода оперативных переключениях и недопустимо больших токов в фильтрах гармоник.

Уровень высших гармоник определяется нелинейными свойствами нагрузки [12] и режимом работы трансформаторов [7]. Если выбрать данные по максимальным значениям уровня гармоник сети в ранее приводимые дни наблюдений, то результат будет выглядеть, как показано на рис. 6.

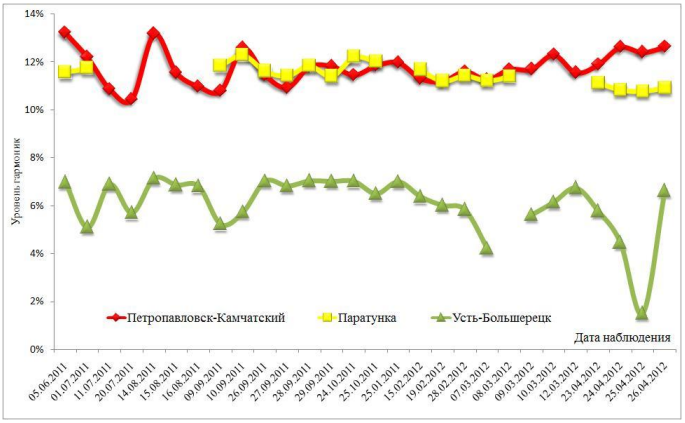

Рис. 6. Выборка по максимальным значениям гармоник

Из рисунка видно, что в Петропавловске-Камчатском и Паратунке величина высших гармоник в магнитоактивные дни превышает предельно допустимый уровень определяемый ГОСТ 13109-97 и только в Усть-Большерецке соответствует его требованиям. Максимальное значение параметра не в полной мере оценивает его изменчивость, поэтому была произведена оценка вариаций среднестатистического отклонения уровня гармоник в магнитоактивные дни. Результат показан на рис. 7, из которого можно сделать вывод о том, что более динамичные процессы обусловленные ГИТ наблюдаются в Петропавловске-Камчатском и Усть-Большерецке.

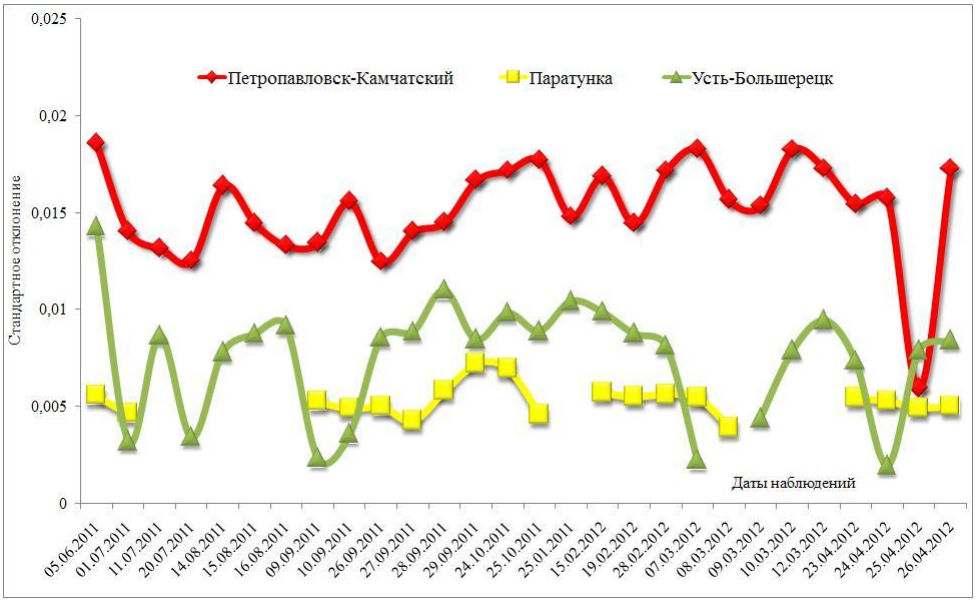

Рис. 7. Выборка по значению стандартного отклонения

Рассматривая вопрос о роли гармоник в проявлении ГИТ, следует обратить внимание на возможность их миграций внутри сети. Так в работе [13] показано, что распространение высших гармоник тока вдоль линии электропередачи зависит от их порядка, в том числе и от образуемой ими последовательности. Кроме того в работе обращается внимание на то обстоятельство, что распространение высших гармоник сопряжено с возможностью резонансных явлений в сетях. Вероятность их появления зависит от параметров схемы сети, расположения самих источников в её узлах и порядка генерируемых ими гармоник.

Ранее [4] при рассмотрении возможных мер снижения риска проявления ГИТ предлагалось снизить уровень гармоник, в том числе за счёт снижения нагрузки трансформаторов [14]. За прошедшее с момента публикации [4] время появились иные предложения по снижению рисков проявления ГИТ. Так известная своими разработками в этой области компания Metatech, США [15] предлагает за счёт существенной разницы частот промышленного тока и ГИТ реализовать блокировочные схемы с использованием конденсаторов и активных сопротивлений рис. 8.

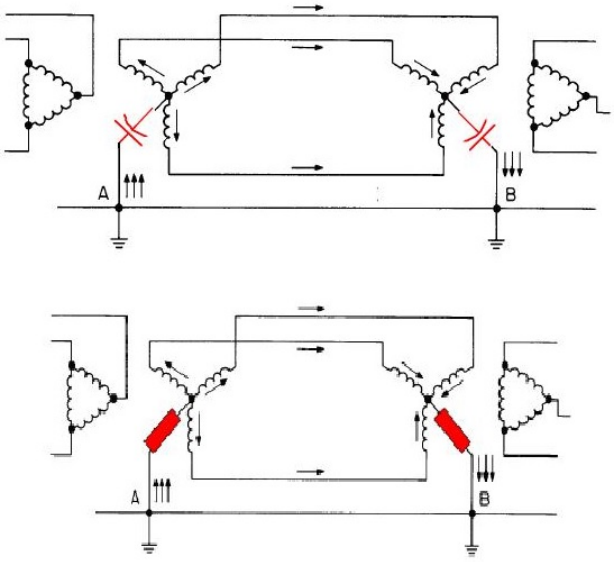

Рис. 8. Схема включения токоограничивающих элементов в цепь нейтрали трансформатора

Заключение

В заключение можно отметить, что в отличие от применяемых в зарубежных программах способов оценки ГИТ, в предлагаемом подходе мониторинг вариаций критических параметров проводится в самой электрической системе, а не по результатам оценки гелиогеофизической обстановки. При отсутствии элементов прогнозирования космической погоды, таких как американская система Solar Dynamic Observatory, используемый подход является достаточно эффективным. Применительно к исследуемой локальной электрической сети Камчатки, из вышеприведённого анализа экспериментальных данных следует, что в случае развития сильной магнитной бури, наиболее вероятным участком проявления ГИТ будет магистраль Петропавловск-Камчатский - Рыбачий.

Библиографический список

1. Geomagnetically Induced Currents in the Finnish High-Voltage Power System, Finnish Meteorological Institute, Reports, 2000:2. 2000.

2. http://eurisgic.org/measuring

3. Boteler D.H., R. Pirjola, L. Trichtchenko On calculating the electric and magnetic fields produced in technological systems at the Earth's surface by a "wide"electrojet Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 62 (2000) 1311-1315.

4. Сивоконь В.П., Сероветников А.С., Писарев А.В. Высшие гармоники как индикатор геомагнитно-индуцированных токов // Электро. 2011 №3. С.30-34

5. Lahtinen M. , R. Pirjola: Currents produced in earthed conductor networks by geomagnetically-induced electric fields Annales Geophysicae, no 4, p479-484,1995.

6. Viljanen, A., Nevanlinna, H., Pajunp K., and Pulkkinen, A.: Time derivative of the horizontal geomagnetic field as an activity indicator, Annales Geophysicae, № 19, p1107–1118, 2001.

7. Карташев И.И, Нгуен Динь Дык. Влияние характеристик намагничивания трансформатора на спектр генерируемых им высших гармоник // Вестник МЭИ. 2007. №1. С. 56-63.

8. Pirjola R. Electromagnetic induction in the earth by a plane wave or by fields of line currents harmonic in time and space. Geophysica, Vol.18. Nos.1-2, pp.1-161.

9. Pirjola R., A. Viljanen Complex image method for calculating electric and magnetic fields produced by an auroral electrojet of finite length. Ann. Geophysicae 16, 1434-1444,1998.

10. Kappenman, J.G. Geomagnetic Storms and Their Impact on Power Systems, IEEE Power Eng. Rev. 5. 1996.

11. Mohan N., Kappenman, J.G., V.D. Albertson Harmonics and switching transients in the presence of geomagnetically induced currents, IEEE transaction on power apparatus and systems. 2. 1981.

12. Климов В.П., Москалев А.Д. Проблемы высших гармоник в современных системах электропитания // Практическая силовая электроника. Науч.-техн.сб./Под ред.Малышкова Г.М., Лукина А.В. – М.: АОЗТ "ММП-Ирбис 2002. Вып 5. С.

13. Н. Динь Дык Разработка методики исследования распространения высших гармоник в электроэнергетических системах. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук, МЭИ,2008.

14. Kappenman J. G. , S. R. Norr, G. A. Sweezy, D. L. Carlson, V. D. Albertson, J. E. Harder, B. L. Damsky, “GIC Mitigation: A Neutral Blocing/ Bypass Device to Prevent the Flow of GIC in Power Systems”, IEEE PES Special Publication 90TH0357-4-PWR, Special Panel Session July 17. 1990. P. 45-52.

15. Kappenman J. G. Low-Frequency Protection Concepts for the Electric Power Grid: Geomagnetically Induced Current (GIC) and E3 HEMP Mitigation. Metatech Corporation, 2010.

Поступила в редакцию / Original article submitted: 04.10.2013

Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2013. № 2(7). С. 33-42. ISSN 2079-6641

DOI: 10.18454/2079-6641-2013-7-2-33-42

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 517.958+537.84

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ МОД КОЛЕБАНИЙ ВЯЗКОЙ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ В ЗАДАЧЕ КРУПНОМАСШТАБНОГО ДИНАМО *

Г.М. Водинчар[1, 2]

[1] Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, 684034, Камчатский край, п. Паратунка, ул. Мирная, 7

[2] Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, 683032, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 4

E-mail: gvodinchar@ikir.ru

Рассмотрена модель крупномасштабной МГД-конвекциии во вращающейся сферической оболочке. Скорость представлена модой собственных колебаний вязкой проводящей жидкости в этой оболочке. Найдены стационарные режимы конвекции. Установлена возможность работы динамо в этой модели.

Ключевые слова: динамо, МГД-конвекция, сферическая оболочка, собственные колебания

© Водинчар Г.М., 2013

MATHEMATICAL SIMULATION

MSC 37N10+85A30

USING MODES OF FREE OSCILLATION OF A ROTATING VISCOUS FLUID IN THE LARGE-SCALE DINAMO

G.M. Vodinchar[1, 2]

[1] Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation Far-Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 684034, Kamchatskiy Kray, Paratunka, Mirnaya st., 7, Russia

[2] Vitus Bering Kamchatka State University, 683031, Petropavlovsk-Kamchatsky, Pogranichnaya st., 4, Russia

E-mail: gvodinchar@ikir.ru

Considered a model of large-scale magneto-convection in a roteting spherical shell. Velocity expressed of the one of the modes of free oscillation of a viscous conduction fluid in the shell. The stationary modes of convection were found. An ability of the dynamo was approved in this model.

Key words: dynamo, magneto-convection, spherical shell, free oscillation

© Vodinchar G.M., 2013

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России по Программе стратегического развития КамГУ им. Витуса Беринга на 2012-2016 гг.

Введение

Процесс формирования магнитных полей планет и звезд успешно объясняется теорией гидромагнитного динамо. разработанные модели конвекции в жидких ядрах планет земного типа, газовых гигантах, конвективных зонах звезд позволяют получать течения, которые могут формировать магнитные поля , близкие по своей топологии к наблюдаемым.

Возможности вычислительных систем не позволяют вести прямое численное моделирование трехмерных задач планетарного динамо на характерных временах, сравнимых с возрастом самих планет. Отметим при этом, что известные теоремы запрета определяют принципиальную трехмерность задачи динамо [1]. В связи с этим численные модели динамо для ядра Земли либо воспроизводят МГД-течения с хорошим разрешение по пространству на относительно небольших временных масштабах, порядка десятков тысяч лет, либо дают возможность просчитывать длительную эволюцию только крупномасштабных пространственных структур. При этом даже лучшие сеточные модели геодинамо дают разрешение порядка 1 км по пространству [2, 3], что очень далеко до масштабов разрешения турбулентности, составляющих для Земли величину порядка 1 м. Поэтому представляет интерес исследование крупномасштабных моделей динамо, позволяющих отслеживать эволюцию магнитного поля в целом в течении длительного времени.

При разработке крупномасштабных моделей возникает необходимость задавать из каких либо соображений геометрическую структуру конвекции, поэтому интересно рассмотрение простейших моделей с «базисных» в некотором смысле геометрическими структурами течений. В качестве важнейшего примера надо назвать классическую систему Лоренца [4], которая сыграла огромную роль в понимании многих свойств конвекции и детерминированного хаоса. Отметим, что система Лоренца получена именно путем выделения «базисных» течений. В задаче конвекции в плоском слое поле скорости разложено по собственным модам свободных затухающих колебаний вязкой жидкости в слое, а температура разложена по модам, пространственно согласованным с модами скорости. Далее проведено предельное усечение, сохраняющее нелинейность – одна мода скорости, согласованная с ней температурная мода и еще одна температурная мода, однородная по граничной поверхности. Затем стандартная галеркинская процедура дает динамическую систему для амплитуд – систему Лоренца.

В задачах динамо принципиальным является вращение конвективной области. Если рассматривать галеркинскую процедуру для любого одномодового приближения скорости, то кориолисов член исчезнет из модели. Поэтому, для сохранения информации о вращении, необходимо использовать моду, структурно устойчивую не только относительно диссипации, но и относительно вращения. Таким свойством обладают собственные колебания вращающейся вязкой жидкости.

В невязком случае это решения классической задачи Пуанкаре. Ее точные решения в сферических областях и общие свойства оператора задачи детально описаны в [5]. В вязком случае точные решения задачи о подобных колебания для сферической оболочки неизвестны, имеются лишь некоторые оценки спектра, доказана ортогональность и полнота системы собственных функций, выделены некоторые инвариантные подпространства оператора задачи [6]. Долее будем называть решения этой задачи вязкими модами Пуанкаре.

В настоящей работе предлагается модель крупномасштабного динамо с одномодовым приближением скорости, где в качестве скоростной моды выступает аппроксимация вязкой моды Пуанкаре линейными комбинациями собственных мод колебаний невращающейся вязкой жидкости. Известно, что последние образуют ортогональную полную систему в пространстве соленоидальных полей, нулевых на границе [7].

Уравнения модели

Прежде всего уточним постановку задачи динамо, которую далее будем обсуждать.

Рассматривается конвекция проводящей замагниченной жидкости в сферической оболочке D с твердыми границами. Жидкость находится в центральном поле тяготения вида $\mathbf{g} = -(g_2/r_2)\mathbf{r}$ где радиус-вектор отложен от центра оболочки O, а g_2 – ускорение свободного падения на внешней границе $r = r_2$. Снаружи оболочки среда непроводящая, внутри – проводящее твердое тело. Магнитные проницаемости оболочки и внутреннего тела постоянны и совпадают. Оболочка и внутреннее тело вращаются вокруг оси, проходящей через точку O с постоянной угловой скоростью $\boldsymbol{\omega}$. На границах оболочки температуры постоянны, причем на внутренней выше, чем на внешней.

Используем декартову и стандартно связанную с ней сферическую системы координат с центром в точке O. При подходящем выборе единиц измерения времени, расстояния, магнитной индукции, температуры, давления конвекция описывается следующей системой уравнений

$$\begin{aligned}
&\mathrm{Pr}^{-1}\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v}\bigtriangledown)\mathbf{v} = \triangle\mathbf{v} - \bigtriangledown p' + \mathrm{Ra}\frac{T}{r_2}\mathbf{r} - \frac{2}{\mathrm{E}}\mathbf{e}_z \times \mathbf{v} + \mathrm{rot}\mathbf{B}\times\mathbf{B},\\
&\frac{\partial T}{\partial t} + (\mathbf{v}\bigtriangledown)(T + T_s) = \triangle T,\\
&\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \mathrm{rot}(\mathbf{v}\times\mathbf{B}) + \mathrm{Ro}^{-1}\triangle\mathbf{B},\\
&\bigtriangledown\mathbf{v} = 0,\\
&\bigtriangledown\mathbf{B} = 0,
\end{aligned} \tag{1}$$

где Pr – число Прандтля, Ra – число Релея, E – число Экмана, Ro – число Робертса, поле T задает отклонение температуры от стационарного гиперболического профиля T_s, а p' – редуцированное давление, собравшее в себя все потенциальные слагаемые из правой части уравнения Навье-Стокса.

Система (1) замыкается нулевыми условиями для скорости и температуры на границах оболочки и вакуумными граничными условиями для магнитного поля [8].

В этих обозначениях вязкие моды Пуанкаре являются решениями спектральной задачи

$$\begin{aligned}
&\mathrm{Pr}^{-1}\mu\mathbf{v} + \triangle\mathbf{v} - \bigtriangledown p' - \frac{2}{\mathrm{E}}\mathbf{e}_z\times\mathbf{v},\\
&\bigtriangledown\mathbf{v} = 0,
\end{aligned} \tag{2}$$

с нулевыми условиями на границах оболочки.

Будем искать ее приближенные решения в виде комбинаций тороидальных и полоидальных собственных мод колебаний невращающейся оболочки $\mathbf{v}^T_{knm}$ и $\mathbf{v}^P_{knm}$. Явные выражения для них и уравнения на собственные значения μ^T_{knm} и μ^P_{knm}описаны в [9]. Можно показать, что при фиксированном $m \geq 0$ линейные оболочки H^m всех тороидальных и полоидальных полей $\mathbf{v}^T_{kn(\pm)m}$ и $\mathbf{v}^P_{kn(\pm)m}$ образуют инвариантные подпространства оператора задачи (2). Поэтому задачу можно решать отдельно в каждом таком подпространстве.

Выберем теперь в одном из этих подпространсв некоторую конечную систему из N полей из числа $\mathbf{v}^T_{kn(\pm)m}$ и $\mathbf{v}^P_{kn(\pm)m}$, которые будем обозначать далее как $\mathbf{v}_i$.

Ищем решения задачи (2) в виде $\sum_{i=1}^{N} \beta_i \mathbf{v}_i$, используя метод Галеркина. Известно, что применение галеркинской процедуры при нулевых граничных условиях исключает из этой задачи давление [10].

Несложно показать, что тогда столбцы коэффициентов β_i будут собственными векторами матрицы с (i,j)-элементами, равными

$$\mathrm{Pr}\left(\mu_j \delta_{ij} + \frac{2}{\mathrm{E}} \int_D \left(\mathbf{e}_z \times \mathbf{v}_j\right) \mathbf{v}_i dV\right),$$

где интегрирование ведется по объему оболочки, а δ_{ij} – символ Кронекера.

Отберем пару сопряженных собственных значений этой матрицы и соответствующие им сопряженные векторы (наборы коэффициентов β_i). Каждый такой набор определит аппроксимацию одной собственных мод задачи (2). Теперь сложим эту пару аппроксимаций. В результате получим действительное стационарное поле $\mathbf{u}(\mathbf{r}) = \xi_1 \mathbf{v}_1(\mathbf{r}) + \ldots + \xi_N \mathbf{v}_N(\mathbf{r})$, которое и будем использовать для одномодового приближения скорости в задач динамо, предварительно отнормировав его по объему оболочки.

Далее необходимо составить моду температуры $T_0(\mathbf{r})$, структурно согласованную со скоростью. Это предполагает, что в тех частях оболочки где положительна (отрицательна) радиальная составляющая поля $\mathbf{u}(\mathbf{r})$, должна быть положительна (отрицательна) и $T_0(\mathbf{r})$. Поскольку тороидальные компоненты не имеют радиальной составляющей, то все определяется только полидальными модами среди $\mathbf{v}_i$.

Пусть, например, $\mathbf{v}_1 = \mathbf{v}^P_{knm}$. Тогда ее радиальная проекция – $n(n+1)\dfrac{R^P_{kn}(r)}{r} Y^m_n(\theta,\varphi)$ и с ней согласуется необходимым образом собственная мода скалярного оператора Лапласа в оболочке с нулевыми граничными условиям $R_{kn}(r)Y^m_n(\theta,\varphi)$. Здесь радиальные функции $R^P_{kn}(r)$ и $R_{kn}(r)$ определяются из соответствующих спектральных задач, обе нулевые на границах и имеют k нулей в интервале $(r_1;r_2)$. При этом соответствующие нули функций практически совпадают. Все детали расчета таких функций описаны в работе автора [9].

С учетом этих соображений получаем, что, если в состав $\mathbf{u}(\mathbf{r})$ входит $\mathbf{v}^P_{knm}$, то в состав $T_0(\mathbf{r})$ необходимо взять $R_{kn}(r)Y^m_n(\theta,\varphi)$ с таким же коэффициентом. После определения подобным образом всех составляющих моды $T_0(\mathbf{r})$ отнормируем ее в объеме оболочки.

Также включим в модель еще однородную на сфере моду $T_1(\mathbf{r})$ с одним нулем на интервале $(r_1;r_2)$. Это мода $R_{10}(r)Y^0_0(\theta,\phi)$. Она вводится в модель по аналогии с построением системы Лоренца.

Тогда подстановка разложений $\mathbf{v}(\mathbf{r},t) = \beta(t)\mathbf{v}(\mathbf{r})$ и $T(\mathbf{r},t) = \alpha_0(t)T_0(\mathbf{r}) + \alpha_1(t)T_1(\mathbf{r})$ в первые два уравнения системы (1) и применение галеркинской процедуры даст

систему

$$\begin{aligned}
&\mathrm{Pr}^{-1}\frac{d\beta}{dt} = -\mu\beta + \mathrm{Ra}C\alpha_0 + \int_D \mathbf{u}\,(\mathrm{rot}\mathbf{B}\times\mathbf{B})\,dV,\\
&\frac{d\alpha_0}{dt} = F_0\beta\alpha_1 + H\beta - \lambda_0\alpha_0,\\
&\frac{d\alpha_1}{dt} = F_1\beta\alpha_0 - \lambda_1\alpha_1.
\end{aligned} \tag{3}$$

Постоянные коэффициенты этой системы

$$\begin{aligned}
&\mu = \mu_1\xi_1^2 + \ldots \mu_N\xi_N^2 > 0, \qquad C = \int_D \mathbf{u}\left(\frac{T_0}{r_2}\mathbf{r}\right)dV,\\
&F_0 = -\int_D T_0\,(\mathbf{u}\bigtriangledown)\,T_1 dV, \qquad F_1 = -\int_D T_1\,(\mathbf{u}\bigtriangledown)\,T_0 dV,\\
&H = -\int_D T_0\,(\mathbf{u}\bigtriangledown)\,T_s dV, \qquad \lambda_i = -\mathrm{Ro}^{-1}\int_D T_i \bigtriangleup T_i dV > 0.
\end{aligned}$$

Также при выводе системы учитывались ортогональность сферических гармоник и равенство нулю интеграла $\int_D \mathbf{u}\,(\mathbf{u}\bigtriangledown)\,\mathbf{u}dV$, легко устанавливаемое с помощью теоремы Остроградского-Гаусса, для соленоидального нулевого на границе оболочки поля $\mathbf{u}(\mathbf{r})$. Кроме этого несложно установить, что всегда $F_1 = -F_0$.

Видно, что в этой системе отсутствует кориолисов член. Как отмечалось выше, это неизбежно при любом одномодовом приближении скорости. Однако информация о вращении оболочки сохраняется в модели в виде формы самой моды скорости $\mathbf{u}(\mathbf{r})$. Именно с этим связано использование для представления скорости вязких мод Пуанкаре.

Отметим также , что при нулевом магнитном поле и подходящем перемасштабировании амплитуд и времени система (3) превращается в систему Лоренца.

Представим теперь и магнитное поле $\mathbf{B}(\mathbf{r},t)$ в виде комбинации K стационарных мод

$$\mathbf{B}(\mathbf{r},t) = \sum_{s=1}^{K} \gamma_s(t)\mathbf{B}_s(\mathbf{r}), \tag{4}$$

каждая из которых удовлетворяет вакуумным граничным условиям. Сами эти моды можно выбирать из различных соображений, а формальные требования для них опишем ниже. Пока будем считать лишь, что они нормированы в оболочке.

Подставим разложения (4) в уравнение индукции (третье уравнение системы (1) и применим галеркинскую процедуру. Получим набор уравнений

$$\begin{aligned}
&\sum_{i=1}^{K} Q_{si}\frac{d\beta_s}{dt} = \sum_{i=1}^{K} W_{si}\beta\gamma_i - \mathrm{Ro}^{-1}\sum_{i=1}^{K} M_{si}\gamma_i,\\
&Q_{si} = \int_D \mathbf{B}_i\mathbf{B}_s dV,\\
&W_{si} = \int_D \mathrm{rot}\,(\mathbf{u}\times\mathbf{B}_i)\,\mathbf{B}_s dV,\\
&M_{si} = -\int_D \mathbf{B}_s \bigtriangleup \mathbf{B}_i dV,\\
&s = 1,\ldots,K.
\end{aligned} \tag{5}$$

Подставив также разложения (4) в интеграл в первом из уравнений (3) и собрав уравнения (3) и (5) в одну систему получим

$$\begin{aligned}
&\mathrm{Pr}^{-1}\frac{d\beta}{dt} = -\mu\beta + \mathrm{Ra}C\alpha_0 + \sum_{i,j=1}^{K} L_{ij}\gamma_i\gamma_j,\\
&\frac{d\alpha_0}{dt} = F_0\beta\alpha_1 + H\beta - \lambda_0\alpha_0,\\
&\frac{d\alpha_1}{dt} = F_1\beta\alpha_0 - \lambda_1\alpha_1,\\
&\sum_{i=1}^{K} Q_{si}\frac{d\beta_s}{dt} = \sum_{i=1}^{K} W_{si}\beta\gamma_i - \mathrm{Ro}^{-1}\sum_{i=1}^{K} M_{si}\gamma_i,\\
&s = 1,\ldots,K,
\end{aligned} \tag{6}$$

где $L_{ij} = \int_D \mathbf{u}\left(\mathrm{rot}\mathbf{B}_i \times \mathbf{B}_j\right) dV$.

Теперь можно сформулировать необходимые условия, которым должны удовлетворять магнитные моды. Прежде всего, это отличие от нуля при каждом s хотя бы одного из коэффициентов W_{si}. В противном случае мода $\mathbf{B}_s$ не генерируется механизмом динамо. Должен быть отличен от нуля хотя бы один из коэффициентов L_{ij}, так как в противном случае в системе нет влияния магнитного поля на течения жидкости, т.е. мы приходим к кинематическому приближению. Наконец, матрица коэффициентов Q_{si} должна быть хорошо обусловлена для ее устойчивой численной обратимости.

Последнее можно обеспечить, например, если в качестве магнитных мод использовать собственные моды оператора Лапласа с соответствующими вакуумными граничными условиями. Физически они имеют смысл собственных мод омической диссипации магнитного поля в среде. Эти тороидальные и полоидальные моды образуют почти ортогональную систему, что обеспечивает диагональность матрцы $\mathbf{Q}$ или, по меньшей мере, диагональное преобладание в ней.

Отметим, что вышеприведенные требования к магнитным модам являются только необходимыми. Вопрос о том будет ли конкретная комбинация мод приводить к самогенерируещемуся за счет конвективных движений магнитному полю требует отдельного исследования.

Уравнения крупномасштабного динамо

Рассмотрим теперь случай, когда используются всего две магнитные моды. Первая $\mathbf{B}_1$ – полоидальная, например вертикальный диполь, а вторая $\mathbf{B}_2$ – тороидальная, согласованная структурно с модой скорости. При этом будем считать выполненными вышеприведенные требования относительно коэффициентов W_{si} и L_{ij}.

Поскольку подпространства тороидальных и полоидальных полей инвариантны относительно оператора Лапласа и ортогональны на сфере, то матрица $\mathbf{Q}$ единичная, а $\mathbf{M}$ диагональная с положительными M_{ii}. Также несложно показать, что диагональные элементы матриц $\mathbf{W}$ и $\mathbf{L}$ нулевые.

Система (6) тогда примет вид

$$\begin{aligned}
&\mathrm{Pr}^{-1}\frac{d\beta}{dt} = -\mu\beta + \mathrm{Ra}C\alpha_0 + L_{12}\gamma_i\gamma_j,\\
&\frac{d\alpha_0}{dt} = F_0\beta\alpha_1 + H\beta - \lambda_0\alpha_0,\\
&\frac{d\alpha_1}{dt} = F_1\beta\alpha_0 - \lambda_1\alpha_1,\\
&\frac{d\beta_1}{dt} = W_{12}\beta\gamma_2 - \mathrm{Ro}^{-1}M_{11}\gamma_1,\\
&\frac{d\beta_2}{dt} = W_{21}\beta\gamma_1 - \mathrm{Ro}^{-1}M_{22}\gamma_2.
\end{aligned} \tag{7}$$

Поскольку одновременнная смена знаков коэфициентов F_i равносильна смене знака амплитуды α_1, можно считать, что $F_0 < 0$ и $F_1 > 0$. Смена знака L_{12} эквивалентна смене знака у одной из амплитуд γ_i и у обоих коэффициентов W_{12} и W_{21}. Поэтому, не теряя общности, можно считать, что $L_{12} < 0$.

Выполним в системе (7) замену времени и амплитуд по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
&t = \frac{1}{\lambda_0}\tau, \quad \beta = \frac{\lambda_0}{\sqrt{|F_0|F_1}}u, \quad \alpha_0 = \frac{\lambda_0\mu}{\mathrm{Ra}C\sqrt{|F_0|F_1}}\theta_0,\\
&\alpha_1 = \frac{\lambda_0\mu}{\mathrm{Ra}C|F_0|}\theta_1, \quad \gamma_1 = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\mathrm{Pr}|L_{12}W_{21}|}}B_1,\\
&\gamma_2 = \lambda_0\sqrt{\frac{|W_{21}|}{\mathrm{Pr}|F_0L_{12}|F_1}}B_2
\end{aligned} \tag{8}$$

В новых переменных она примет вид

$$\begin{aligned}
&\frac{du}{d\tau} = \sigma(\theta_0 - u) - B_1B_2,\\
&\frac{d\theta_0}{d\tau} = -u\theta_1 + ru - \theta_0,\\
&\frac{d\theta_1}{d\tau} = u\theta_0 - b\theta_1,\\
&\frac{dB_1}{d\tau} = puB_2 - cB_1,\\
&\frac{dB_2}{d\tau} = \varepsilon uB_1 - fB_2,
\end{aligned} \tag{9}$$

где $\sigma = \dfrac{\mu}{\lambda_0}\mathrm{Pr} > 0$, $r = \dfrac{CH}{\lambda_0\mu}\mathrm{Ra} > 0$, $b = \lambda_1/\lambda_0 > 0$, $p = \dfrac{W_{12}|W_{21}|}{|F_0|F_1}$, $\varepsilon = \mathrm{sgn}W_{21}$, $c = \dfrac{M_{11}}{\mathrm{Ro}\lambda_0} > 0$, $f = \dfrac{M_{22}}{\mathrm{Ro}\lambda_0} > 0$.

Видно, что если положить в этой системе $B_1 \equiv B_2 \equiv 0$, то она превратиться в систему Лоренца. Если же оставить в ней первое, четвертое и пятое уравнения и считать в первом θ_1 постоянной, то возникает система, похожая на систему двухдискового динамо Рикитаки с трением, когда трение в обоих дисках совпадает [11, 12].

Далее в работе анализируются стационарные режимы, возникающие в системе (9) при варьировании параметров.

Стационарные режимы в модели крупномасштабного динамо

Рассмотрим состояния равновесия, возникающие в системе (9).

Прежде всего отметим, что у системы (9) есть нулевая точка покоя D_0, устойчивая при $r<1$, и теряющая устойчивость при $r=1$. При $r>1$ возникают еще точки $D_{L1,L2}=\left(\pm\sqrt{b(r-1)};\pm\sqrt{b(r-1)};r-1;0;0\right)$. Это все «лоренцевские» точки.

Наличие точек покоя с ненулевыми значениями магнитного поля существенно зависит от знаков параметров p и ε.

Случай $p\varepsilon>0$.

В этом случае к точкам $D_{L1,L2}$ могут добавиться еще четыре с ненулевыми значениями магнитного поля («магнитные» точки):

$$\begin{aligned}
D_{M1}&=\left(\sqrt{\frac{fc}{|p|}};\frac{rb\sqrt{fc|p|}}{d};\frac{rfc}{d};\sqrt{\frac{\sigma f|rb|p|-d|}{d}};\varepsilon\sqrt{\frac{\sigma c|rb|p|-d|}{|p|d}}\right),\\
D_{M2}&=\left(\sqrt{\frac{fc}{|p|}};\frac{rb\sqrt{fc|p|}}{d};\frac{rfc}{d};-\sqrt{\frac{\sigma f|rb|p|-d|}{d}};-\varepsilon\sqrt{\frac{\sigma c|rb|p|-d|}{|p|d}}\right),\\
D_{M3}&=\left(-\sqrt{\frac{fc}{|p|}};-\frac{rb\sqrt{fc|p|}}{d};\frac{rfc}{d};-\sqrt{\frac{\sigma f|rb|p|-d|}{d}};\varepsilon\sqrt{\frac{\sigma c|rb|p|-d|}{|p|d}}\right),\\
D_{M4}&=\left(-\sqrt{\frac{fc}{|p|}};-\frac{rb\sqrt{fc|p|}}{d};\frac{rfc}{d};\sqrt{\frac{\sigma f|rb|p|-d|}{d}};-\varepsilon\sqrt{\frac{\sigma c|rb|p|-d|}{|p|d}}\right),
\end{aligned}\tag{10}$$

где $d=fc+b|p|$.

Очевидно, что все точки покоя разбиваются на три группы D_0, D_{L1-L2} и D_{M1-M4}, в пределах каждой из которых точки переходят друг в друга при симметриях (отражениях в фазовом пространстве) системы (9). Поэтому геометрии фазовых траекторий в окрестностях точек одной группы одинаковы.

При $p>0$ условие возникновения точек D_{M1-M2} имеет вид принимает вид

$$r>1+\frac{fc}{bp},\tag{11}$$

т.е. в этом случае с ростом числа Релея сначала, при $1<r<1+\dfrac{fc}{bp}$, возникает конвекция недостаточная для поддержания магнитного поля, а затем, при выполнении (11), появляется режим стационарной МГД-конвекции.

Разумеется, говорить о физических стационарных режимах можно только в том случае, если соответствующие точки покоя устойчивы. Аналитическое исследование на устойчивость ненулевых точек крайне затруднительно. Можно лишь сказать, что в случае (11) «лоренцевские» точки неустойчивы в плоскости магнитных переменных.

Было проведено численное исследование исследование устойчивости «магнитных» точек по первому приближению при случайном варьировании параметров системы (9) в следующих диапазонах

$$10^{-2}\le\sigma\le10^{5},\quad 10^{-1}\le b\le10^{2},$$

$$10^{-4}\le p\le10^{6},\quad 10^{2}\le c\le10^{6},$$

$$10^{2}\le f\le10^{6},\quad 1\le r\le10^{3},$$

При имитации значений параметров их распределение было равномерным в логарифмическом масштабе. Всего был проведен 1 млн. имитаций. Каждый раз проверялась устойчивость «лоренцевских» точек, а если выполнялось (11), то и «магнитных».

Во время имитации возникали случаи как устойчивых, так и неустойчивых «магнитных» режимов. При этом «лоренцевские» точки были как устойчивы, так и неустойчивы в пространстве амплитуд скорости и температур независимо от устойчивости «магнитных» точек.

Поэтому, в рассматриваемом случае, в модели могут реализовыватьс различные режимы как гидродинамической, так и МГД конвекции.

В случае $p<0$ точки D_{M1-M2} являются при $r<1-\dfrac{fc}{b|p|}$, т.е. «магнитные» точки могут возникнуть при как угодно малых значениях числа Релея, затем, при $1-\dfrac{fc}{b|p|}<r<1$, ненулевых точек покоя нет, а при $r>1$ появляются только «лоренцевские». Физически это выглядит неправдоподобно.

Было проведено численное исследование на устойчивость этих точек при тех же варьированиях параметров σ, b, c, f, что и выше. Параметр p варьировался в диапазоне $\left[-10^6;-10^{-4}\right]$ равномерно в логарифмическом масштабе, а параметр r был равномерно распределен на отрезке $[0;\min\{0,1-fc/(b|p|)\}]$. Всего было проведено 10 млн. имитаций и во всех «магнитные» точки оказывались неустойчивыми.

Таким образом, при $p<0$ физических стационарных режимов динамо в рассматриваемой модели не существует.

Случай $p\varepsilon<0$.

В такой ситуации система (9) имеет только «лоренцевские» точки покоя, поэтому он далее не рассматривается.

Заключение

В настоящей работе рассмотрена модель динамо в сферической оболочке, управляемая модой собственных колебаний вязкой вращающейся жидкости. Использование такой моды для представления скорости обусловлено тем, что она структурно устойчива по отношению к вязкой диссипации и вращению, поэтому является одной из «базисных» мод подобных движений. Можно сказать, что гидродинамическая часть модели является для задачи конвекции во вращающейся сферической оболочки аналогом модели Лоренца для конвекции в плоском слое.

Изучена возможность реализации стационарных режимов МГД-конвекции при крупномасштабном двумодовом приближении магнитного поля, когда используется по одной тороидальной и полоидальной составляющей магнитной индукции. Найдены явные выражения для критического значения числа Релея, при превышении которого возникают эти режимы.

Фактически, рассмотренная модель объединяет в себе идеи модели Лоренца и динамо Рикитаки с трением.

Библиографический список

1. Зельдович Я.Б., Рузмайкин А.А., Соколов Д.Д. Магнитные поля в астрофизике. – М.-Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2006. 384 с.

2. Glatzmaier G., Roberts P. A three-dimensional self-consistent computer simulation of a geomagnetic field reversal // Nature. 1995. Vol. 377. P. 203-209.

3. Kuang W., Bloxman J. An Earth-like numerical dynamo model // Nature. 1997. Vol. 389. P. 371-374.

4. Lorenz E. Deterministic nonperiodic flow // Journal Atmos. Sci. 1963. Vol. 20. P. 130-141.

5. Гринспен Х. Теория вращающихся жидкостей. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 304 с.

6. Розенкноп Л.М., Резников Е.Л. О собственных колебаниях вращающейся вязкой жидкости во внешнем ядре Земли // Вопросы геодинамики и сейсмологии: сб. науч. трудов. Вычислительная сейсмология. Вып. 30. – М.: Геос, 1998. С. 121-131.

7. Рихтмайер Р. Принципы современной математической физики. Т. 1. М.: Мир, 1982. 486 с.

8. *Merril R., McElhinny M., McFadden P.* The Magnetic Field of the Earth. – N.Y.: Acad. Press, 1996. 532 p.

9. Водинчар Г.М., Шевцов Б.М. Маломодовая модель конвекции во вращающемся шаровом слое вязкой жидкости // Вычислительные технологии. 2009. Т. 14. № 4. С. 3-15.

10. Ладыженская О.Н. Математические воросы динамики вязкой несжимаемой жидкости. – М.: Наука, 1970. 232 с.

11. Ershov S.V., Malinetskii G.G., Rusmaikin A.A. A generalized two-disk dynamo model // Geophys. Astrophys. Fluid Dynam. 1989. V. 47. P. 251-277.

12. Потапов В.И. Визуализация фазовых траекторий динамической системы Рикитаки // Нелинейная динамика. 2010. Т. 6. № 2. С. 255-265.

Поступила в редакцию / Original article submitted: 15.11.2013

Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2013. № 2(7). С. 43-45. ISSN 2079-6641

DOI: 10.18454/2079-6641-2013-7-2-43-45

УДК 517.926

ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ РИКИТАКИ С ТРЕНИЕМ *

И.А. Ильин[1, 2], Д.С. Нощенко[2], А.С. Пережогин[1, 2]

[1] Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, 684034, Камчатский край, с. Паратунка, ул. Мирная, 7

[2] Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, 683031, г. Петропавловск-Камчатский, ул.Пограничная д.4

E-mail: d72156@gmail.ru

В работе представлены результаты численного моделирования фазовых траекторий динамической системы Рикитаки с трением. При заданных параметрах системы и начальных условиях установлены режимы удвоения предельного цикла.

Ключевые слова: динамическая система Рикитаки, фазовые траектории

© Ильин И.А., Нощенко Д.С., Пережогин А.С., 2013

MSC 34A34

DYNAMIC OF RIKITAKI'S SYSTEM WITH A FRICTION

I.A. Il'in[1, 2], D.S. Noshchenko[2], A.S. Perezhogin[1, 2]

[1] Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation Far-Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 684034, Kamchatskiy Kray, Paratunka, Mirnaya st., 7, Russia

[2] Kamchatka state university by Vitus Bering, 683031, Petropavlovsk-Kamchatsky, Pogranichnaya st., 4, Russia

E-mail: d72156@gmail.ru

The paper presents the results of numerical modeling of phase trajectories of the dynamical system Rikitake. Parameters of system and initial conditions at the case of doubling cascade mode are showen.

Key words: Rikitaki system, phase portrait

© Il'in I.A., Noshchenko D.S., Perezhogin A.S., 2013

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках программы стратегического развития ФГБОУ ВПО "Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга" на 2012-2016 гг.

Введение

Инверсии магнитного поля могут быть описаны с помощью модели Рикитаки [1, 3]. В работе [2] динамика модели рассчитывалась при малых временах. Потапов приводит значения устойчивых и неустойчивых точек в фазовом пространстве.

Модель Рикитаки в безразмерных переменных представляет в следующем виде [2]:

$$\frac{dx_1}{dt} = -\nu x_1 + y_1 \cdot x_2 \tag{1}$$

$$\frac{dx_2}{dt} = -\nu x_2 + y_2 \cdot x_1 \tag{2}$$

$$\frac{dy_1}{dt} = -\sigma_1 y_1 + 1 - x_1 \cdot x_2 \tag{3}$$

$$\frac{dy_2}{dt} = -\sigma_2 y_2 + 1 - x_1 \cdot x_2 \tag{4}$$

В представленной системе 1 переменные x_1, x_2 – безразмерные токи первого и второго диска, y_1, y_2 – безразмерные угловые скорости дисков, σ_1, σ_2 – коэффициенты трения в дисках, ν – омическая диссипация.

Рассмотрим основные динамические режимы системы в зависимости от параметров. Параметры системы σ_1, σ_2, ν являются положительными, поэтому можно показать, что дивергенция векторного поля в четырехмерном пространстве отрицательная. Система Рикитаки является диссипативной.

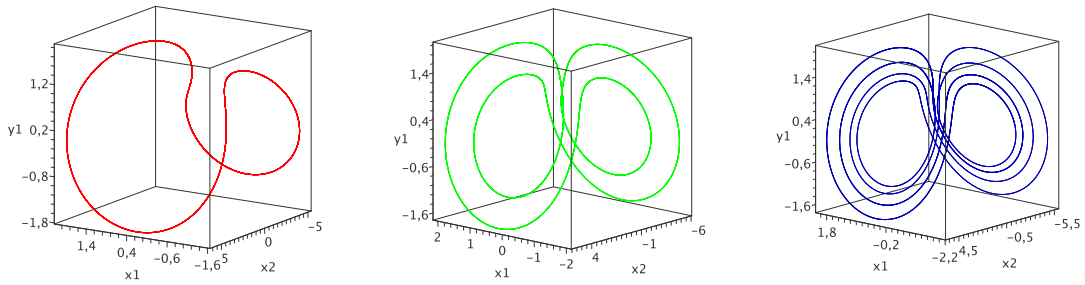

Рис. 1. Примеры удвоения периода предельного цикла. Фазовый портрет (x_1, x_2, y_1).

Для численного моделирования установим параметры $\sigma_1 = 0.0090$, $\sigma_2 = 0.0009$. В зависимости от параметра ν получим предельные фазовые траектории при больших временах. При значении $\nu = 0.660$ в системе наблюдает единственный предельный цикл. Плавное изменение параметра ν приводит к тому, что при значении $\nu = 0.709$ в предельном цикле наблюдается удвоение периода. Далее происходит срыв данного режима, и фазовая траектория плотно заполняет ограниченную область в фазовом пространстве (x_1, x_2, y_1). При достижении значения $\nu = 0.739$ фазовая траектория вновь выходит на предельный цикл с удвоением периода. Продолжая изменять параметр ν можно получить удвоение предельного цикла. В системе Рикитаки наблюдаются устойчивые предельные циклы с периодом кратным 2. Удвоение периода предельного цикла представлено на рис. 1.

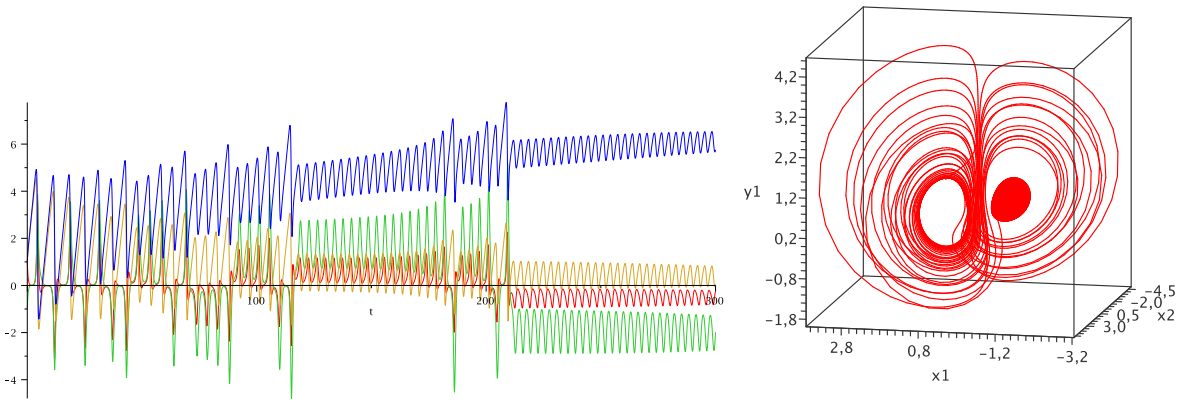

Рис. 2. Примеры удвоения периода предельного цикла. Решения системы и фазовый портрет (x_1, x_2, y_1).

Особенный режим в динамике системы наблюдается при $\nu = 0.790$, $\sigma_1 = 0.0090$, $\sigma_2 = 0.0009$. Решения и фазовая предельная фазовая траектория приведены на рис. 2. В данном случае динамика системы после хаотического поведения переходит в стационарный режим, где колебания постепенно затухают, и фазовая траектория стремится к одной из устойчивых точек. С точки зрения, описания геомагнитных инверсий подобная динамика системы может описывать суперхроны. То есть хаотический режим переброса магнитного поля сменяется стационарным значением магнитного поля с относительно малыми колебаниями по сравнению с хаотическим режимом.

Заключение

Исследованные динамические режимы системы Рикитаки имеют предельные фазовые траектории, характер которых зависит от омического коэффициента ν. При этом переход от одного предельного состояния к другому происходит через хаотические режимы.

Установлен особенный режим, при котором после хаотического поведения, система переходит в устойчивый режим. Подобный режим может описывать суперхроны в инверсии геомагнитного поля Земли.

Библиографический список

1. Магницкий Н.А., Сидоров С.В. Новые методы хаотической динамики. М.:Едиториал УРСС. 2004. 320 с.

2. Потапов В.И. Визуализация фазовых траекторий динамической системы Рикитаки // Нелинейная динамика, 2010, т.6, № 2. С. 255-265.

3. Рикитаки Т. Электромагнетизм и внутреннее строение Земли. Л.: Недра. 1968. 332 с.

Поступила в редакцию / Original article submitted: 09.11.2013

Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2013. № 2(7). С. 46-51. ISSN 2079-6641

DOI: 10.18454/2079-6641-2013-7-2-46-51

УДК 517.955

МОДЕЛЬ СУБДИФФУЗИИ РАДОНА ВО ФРАКТАЛЬНОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ *

Р.И. Паровик[1, 2]

[1] Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, 684034, Камчатский край, п. Паратунка, ул. Мирная, 7

[2] Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, 683032, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 4

E-mail: romanparovik@gmail.com

Рассмотрена модель субдиффузии радона без адвекции. С помощью функции Грина найдено решение модели. Показано,что оно является обобщением ранее известного классического решения.

Ключевые слова: функция Грина, обобщенная функция Райта, функция типа Миттаг-Леффлера

© Паровик Р.И., 2013

MSC 35C05

MODEL SUBDIFFUSION RADON IN FRACTAL POROUS MEDIUM

R.I. Parovik[1, 2]

[1] Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation Far-Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 684034, Kamchatskiy Kray, Paratunka, Mirnaya st., 7, Russia

[2] Vitus Bering Kamchatka State University, 683031, Petropavlovsk-Kamchatsky, Pogranichnaya st., 4, Russia

E-mail: romanparovik@gmail.com

We consider a model of subdiffusion radon without advection. With the help of the Green's function found a solution model. It is shown that it is a generalization of the previously known classical solutions.

Key words: Green function, generalized function Wright, function of Mittag-Leffler

© Parovik R.I., 2013

*Работа выполнена в рамках проекта №12-I-ОФН-16 «Фундаментальные проблемы воздействия мощными радиоволнами на атмосферу и плазмосферу Земли» и при поддержке Министерства образования и науки РФ по программе стратегического развития ФГБОУ ВПО «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга» на 2012-2016 гг.

Введение

Радон – радиоактивный газ, находящейся постоянно в геосреде и эманирующий в приземный слой атмосферы с разной интенсивностью в зависимости от деформационных возмущений и других факторов. Изучение радона как предвестника землетрясений официально началось в 1966 г. после сильного апрельского землетрясения в г. Ташкенте с M=5,2. Именно тогда были успешно спрогнозированы автершоки этого события по концентрации радона в грунтовых водах. Вследствие, чего в дальнейшем выросла практическая значимость математического моделирования процесса переноса радона.

В этой работе мы рассмотрим режим массопереноса радона в пористой фрактальной среде – режим субдиффузии. Субдиффузия радона – процесс диффузии радона во фрактальной пористой среде, который протекает медленнее обычного режима диффузии. Это обусловлено тем, что геосреда обладает сложной топологией каналов между порами. Каналы изгибаются, сильно изрезаны, а в некоторых случаях могут разрываться, например, в силу наряжено-деформированного состояния геосреды, поэтому процесс переноса радона замедляется.

Режим субдиффузии характеризуется дробным показателем β, который входит в уравнение диффузии как порядок дробной производной по времени. В работе [1] этот показатель соответствует доле каналов, открытых для протекания вещества. Такой процесс обычно называют нелокальным по времени, а фрактальную среду, в которой он происходит, средой с памятью. В этом работе мы рассмотрим режим субдиффузии радон с позиции математического моделирования.

Постановка задачи и методика ее решения

Будем искать объемную активность радона $A(\eta,\theta)$ в области

$$\Omega = \{-\infty < \eta < \infty, \theta > 0\},$$

а также считать, что перенос радона осуществляется только с помощью диффузии. Уравнение переноса радона можно записать так:

$$\frac{\partial^\beta A(\eta,\theta)}{\partial \theta^\beta} = \bar{D}_e \frac{\partial^2 A(\eta,\theta)}{\partial \eta^2} - \bar{\lambda}\left(A(\eta,\theta) - A_\infty\right). \tag{1}$$

Здесь $\bar{D}_e$ - коэффициент диффузии, $\bar{\lambda}$ - постоянная распада радона, A_∞- равновесное значение объемной активности на некоторой глубине, производная порядка $0<\beta<1$ понимается в смысле Герасимова-Капуто и определяется следующим образом:

$$\frac{\partial^\beta A(\eta,\theta)}{\partial t^\beta} = \frac{1}{\Gamma(1-\beta)} \int_0^t \frac{\partial A(\eta,\zeta)}{\partial \zeta} (t-\zeta)^{-\beta} d\zeta.$$

Для уравнения (1) известны граничные и начальные условия:

$$A(0,\theta) = 0, \lim_{\eta\to-\infty} A(\eta,\theta) = A_\infty, A(\eta,0) = \phi(\eta) \tag{2}$$

Решим задачу (1)-(2) методом функции Грина. Для этого найдем функцию Грина из следующей задачи Коши:

$$\frac{\partial^{\beta} G_{2,\beta}(\eta,\theta)}{\partial \theta^{\beta}} - \bar{D}_e \frac{\partial^2 G_{2,\beta}(\eta,\theta)}{\partial \eta^2} + \bar{\lambda} G_{2,\beta}(\eta,\theta) = 0 \tag{3}$$

$$G_{2,\beta}(\eta,0) = \delta(\eta)$$

Здесь $\delta(\eta)$ – функции Дирака. Сделаем преобразование Лапласа по θ и косинус-преобразование Фурье по η уравнение (1). Получим следующее уравнение для трансформанты с учетом, что $F[\delta(\eta)(k)] = 1$:

$$\tilde{G}_{2,\beta}(k,p) = \frac{1}{p^{\beta} + \bar{D}_e k^2 + \bar{\lambda}} = \frac{1}{p^{\beta} + \left(\bar{D}_e k^2 + \bar{\lambda}\right)} \tag{4}$$

Для изображения (4) известно [2], что обратное преобразование Лапласа по p дает:

$$G_{2,\beta}(k,\theta) = L^{-1}\left[\frac{1}{p^{\beta} + \left(\bar{D}_e k^2 + \bar{\lambda}\right)}\right](\theta) = \theta^{\beta-1} E_{\beta,\beta}\left(-\left[\bar{D}_e k^2 + \bar{\lambda}\right]\theta^{\beta}\right) \tag{5}$$

Здесь $E_{\alpha,\beta}(z) = \sum\limits_{n=0}^{\infty} \dfrac{z^n}{\Gamma(\alpha k + \beta)}$ – функция типа Миттаг-Леффлера. Обратное преобразование Фурье для формулы (5) по k дает следующий результат:

$$G_{2,\beta}(\eta,\theta) = \frac{1}{\pi}\int\limits_0^{\infty} \theta^{\beta-1} E_{\beta,\beta}\left(\left[\bar{D}_e k^2 - \bar{\lambda}\right]\theta^{\beta}\right)\cos(k\eta)\,dk \tag{6}$$

Теорема. *Функция Грина (6) при значении параметра $\beta = 1$ переходит в функцию* $G_{2,1}(\eta,\theta) = \dfrac{e^{-\lambda\theta - \frac{\eta^2}{4t\bar{D}_e}}}{2\sqrt{\pi \bar{D}_e t}}$.

Доказательство. Доказательство. Пусть в (6) $\beta = 1$, будем иметь:

$$G_{2,1}(\eta,\theta) = \frac{1}{\pi}\int\limits_0^{\infty} E_{1,1}\left(\left[\bar{D}_e k^2 - \bar{\lambda}\right]\theta\right)\cos(k\eta)\,dk = \tag{7}$$

$$G_{2,1}(\eta,\theta) = \frac{1}{\pi}\int\limits_0^{\infty} \exp\left(\left[\bar{D}_e k^2 - \bar{\lambda}\right]\theta\right)\cos(k\eta)\,dk.$$

Интеграл в формуле (7) можно вычислить по справочнику [3] его значение совпадает с функцией Грина для классического уравнения диффузии:

$$G_{2,1}(\eta,\theta) = \frac{\exp\left(-\bar{\lambda}\theta - \dfrac{\eta^2}{4t\bar{D}_e}\right)}{2\sqrt{\pi \bar{D}_e t}}. \tag{8}$$

□

Отметим, что согласно справочнику [4] функция 8 является фундаментальным решением одномерного нестационарного уравнения диффузии с поглощением вещества.

Обобщение функции Грина на случай супердиффузии с дробным показателем $1<\alpha<2$ дается следующей формулой:

$$G_{\alpha,\beta}(\eta,\theta)=\frac{1}{\pi}\int_0^{\infty}\theta^{\beta-1}E_{\beta,\beta}\left(\left[\bar{D}_e|k|^{\alpha}-\bar{\lambda}\right]\theta^{\beta}\right)\cos(k\eta)\,dk.$$

В работах [5]-[6] была найдена функция Грина в виде специальной функции Стокса в случае, когда в уравнении (1) $\bar{\lambda}=0$. Рассмотрим следующую задачу Коши:

$$\frac{\partial^{\beta}A(\eta,\theta)}{\partial\theta^{\beta}}-\bar{D}_e\frac{\partial^2A(\eta,\theta)}{\partial\eta^2}+\bar{\lambda}A(\eta,\theta)=0, \tag{9}$$

$$A(\eta,0)=\phi(\eta),\quad \lim_{\eta\to\pm\infty}A(\eta,\theta)=0.$$

Согласно теореме о свертке двух функций, решение задачи (9) можно записать следующим образом:

$$A(\eta,\theta)=\int_{-\infty}^{\infty}\phi(\xi)G_{2,\beta}(\eta-\xi,\theta)d\xi.$$

Если в правой части уравнения (9) имеется функция источника $F(\eta,\theta)$, тогда решение задачи Коши имеет вид:

$$A(\eta,\theta)=\int_{-\infty}^{\infty}\phi(\xi)G_{\beta}(\eta-\xi,\theta)d\xi+\int_0^{t}\int_{-\infty}^{\infty}F(\xi,\tau)G_{\beta}(\eta-\xi,\theta-\tau)d\tau d\xi.$$

Рассмотрим более общую задачу Коши:

$$\frac{\partial^{\beta}G_{\alpha,\beta}(\eta,\theta)}{\partial\theta^{\beta}}-\bar{D}_e\frac{\partial^{2\alpha}G_{\alpha,\beta}(\eta,\theta)}{\partial\eta^{2\alpha}}+\bar{\lambda}G_{\alpha,\beta}(\eta,\theta)=0,1<2\alpha<2, \tag{10}$$

$$G_{\alpha,\beta}(\eta,0)=\delta(\eta).$$

Можно отметить, что при значении $\alpha=1$ задача (10) переходит в задачу (3). Применяя преобразование Фурье по θ и Лапласа по η, получим соотношение для трансформанты:

$$\tilde{G}_{\alpha,\beta}(k,p)=\frac{1}{p^{\beta}+\Lambda+\bar{\lambda}},\ \Lambda=-\bar{D}_e|k|^{2\alpha}.$$

Это уравнение можно записать следующим образом:

$$\tilde{G}_{\alpha,\beta}(k,p)=\frac{1}{p^{\beta}+\Lambda+\bar{\lambda}}=\frac{1}{p^{\beta}+\bar{\lambda}}\frac{1}{\left(1+\dfrac{\Lambda}{p^{\beta}+\bar{\lambda}}\right)}.$$

В силу выполнения условия $\left|\dfrac{\Lambda}{p^{\beta}+\bar{\lambda}}\right|<1$ имеем сумму убывающей геометрической погрешности вида:

$$\tilde{G}_{\alpha,\beta}(k,p)=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-\Lambda)^n}{\left(p^{\beta}+\bar{\lambda}\right)^{n+1}}.$$

Обратное преобразование Лапласа согласно соотношению:

$$L^{-1}\left[\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{\left(p^{\alpha}+\bar{\lambda}\right)^{n+1}}\right]=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\theta^{\beta n+\beta-1}\left(\frac{\partial}{\partial\bar{\lambda}}\right)^{n}E_{\beta,\beta}\left(-\bar{\lambda}\theta^{\beta}\right)}{n!},$$

приводит к следующему результату:

$$\tilde{G}_{\alpha,\beta}(k,\theta)=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-\Lambda)^{n}\theta^{\beta n+\beta-1}}{n!}\left(\frac{\partial}{\partial\bar{\lambda}}\right)^{n}E_{\beta,\beta}\left(-\bar{\lambda}\theta^{\beta}\right).$$

Из литературы известно [7], что

$$\left(\frac{\partial}{\partial\bar{\lambda}}\right)^{n}E_{\beta,\beta}\left(-\bar{\lambda}\theta^{\beta}\right)={}_1\Psi_1\left[\begin{array}{c}(n+1,1)\\(\beta n+\beta,\beta)\end{array}\middle|-\bar{\lambda}\theta^{\beta}\right],$$

где ${}_1\Psi_1(\eta)={}_1\Psi_1\left[\begin{array}{c}(\sigma,\alpha)\\(\mu,\beta)\end{array}\middle|\eta\right]=\sum\limits_{k=0}^{\infty}\frac{\eta^{k}\Gamma(\sigma+\alpha k)}{k!\Gamma(\mu+\beta k)}$ – обобщенная функция Райта. Поэтому можно трансформанту можно записать так

$$\tilde{G}_{\alpha,\beta}(k,\theta)=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-\Lambda)^{n}\theta^{\beta n+\beta-1}{}_1\Psi_1\left[\begin{array}{c}(n+1,n)\\(\beta n+\beta,\beta)\end{array}\middle|-\bar{\lambda}\theta^{\beta}\right]}{n!}.$$

Обратное преобразование Фурье дает:

$$G_{\alpha,\beta}(\eta,\theta)=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\theta^{\beta n+\beta-1}{}_1\Psi_1\left[\begin{array}{c}(n+1,1)\\(\beta n+\beta,\beta)\end{array}\middle|-\bar{\lambda}\theta^{\beta}\right]}{n!}F^{-1}\left[\left(\bar{D}_e|k|^{2\alpha}\right)^{n}\right]=$$

$$=-\frac{1}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\bar{D}_e^{n}\theta^{\beta n+\beta-1}|\eta|^{-2\alpha n-1}\sin(\alpha n\pi)\Gamma(2\alpha n+1)}{n!}{}_1\Psi_1\left[\begin{array}{c}(n+1,1)\\(\beta n+\beta,\beta)\end{array}\middle|-\bar{\lambda}\theta^{\beta}\right]= \quad (11)$$

$$=-\frac{\theta^{\beta-1}}{|\eta|\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\left(\frac{\bar{D}_e\theta^{\beta}}{\eta^{2\alpha}}\right)^{n}\sin(\alpha\pi n)\Gamma(2\alpha n+1)}{n!}{}_1\Psi_1\left[\begin{array}{c}(n+1,1)\\(\beta n+\beta,\beta)\end{array}\middle|-\bar{\lambda}\theta^{\beta}\right].$$

Можно показать, что функция Грина задачи (11) в случае, когда $\alpha=\beta=1$ переходит в известную функцию (7). Функция Грина $G_{\alpha,\beta}(\eta,\theta)$ является решением уравнения субдиффузии, но и также супердиффузии. В литературе два обычно режима объединяют понятием «аномальная диффузия» [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрен режим субдиффузии радона. Найдена функция Грина для задачи Коши субдиффузии радона во фрактальной среде. Рассмотрены обобщения задачи переноса радона в режиме субдиффузии и супердиффузии.

Библиографический список

1. Nigmatullin R.R. The realization of generalized transfer equation in a medium with fractal geometry // Phys. Status Solidi. B. 1986. V. 133. P. 425–430.

2. Нахушев А.М. Дробное исчисление и его применение. – М.: Физматлит, 2003. 272 с.

3. Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И. Интегралы и ряды. Элементарные функции. – М.: Наука, 1981. С. 800.

4. Полянин А.Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики. – М.: Физматлит, 2001. С. 576.

5. Паровик Р.И. Задача Коши для нелокального уравнения диффузии-адвекции радона во фрактальной среде // Вестник СамГТУ. Серия Физико-математические науки. 2010. №1(20). С. 127-132.

6. Паровик Р.И. Метод функции Грина для одного дифференциального равнения дробного порядка // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2010. №1(1). С.17-23.

7. Kilbas A.A., Srivastava H.M.,. Trujillo J.J. Theory and Applications of Fractional Differential Equations – Amsterdam: Elsevier, 2006. 523 с.

8. Учайкин В.В. Автомодельная аномальная диффузия и устойчивые законы // Успехи физических наук. 2003. Т. 173. № 8. С. 847–876.

Поступила в редакцию / Original article submitted: 27.09.2013

Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2013. № 2(7). С. 52-58. ISSN 2079-6641

DOI: 10.18454/2079-6641-2013-7-2-52-58

УДК 519.25+519.237+550.34.01

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХРУПКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ *

А.В. Попова[1, 2], О.В. Шереметьева[1, 2]

[1] Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, 684034, Камчатский край, п. Паратунка, ул. Мирная, 7

[2] Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, 683032, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 4

E-mail: non-ame@li.ru, olga.v.sheremetyeva@gmail.com

В работе проводится исследование нелокальных деформационных эффектов пластического (сдвигового) течения в зоне субдукции Курило-Камчатской островной дуги (значения магнитуд 4.5–7.7, рассматриваемая область 50°–60° с.ш., 156°–166° в.д., объём выборки 221 событие) на основании статистической модели [2], построенной по данным каталога тензоров сейсмических моментов [16] за период 1976–2005гг.

Ключевые слова: статистические методы, пространственно-временные связи, пластическое течение, сдвиговое течение, относительные деформации

© Попова А.В., Шереметьева О.В., 2013

MSC 86A17

SIMULATION OF BRITTLE COMPONENT PLASTIC STRAINS

A.S. Popova[1, 2],O.V. Sheremetyeva[1, 2]

[1] Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation Far-Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 684034, Kamchatskiy Kray, Paratunka, Mirnaya st., 7, Russia

[2] Vitus Bering Kamchatka State University, 683031, Petropavlovsk-Kamchatsky, Pogranichnaya st., 4, Russia

E-mail: non-ame@li.ru, olga.v.sheremetyeva@gmail.com

In this paper we study the nonlocal effects of plastic deformation (shear) flow in the subduction zone of the Kuril-Kamchatka arc based on a statistical model cite APS, constructed according to the catalog of seismic moment tensor cite GCMT for the period 1976 - 2005.

Key words: statistical methods, spatial and temporal relationships, plastic flow, shear flow, the relative deformation

© Popova A.S., Sheremetyeva O.V., 2013

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России по Программе стратегического развития КамГУ им. Витуса Беринга на 2012-2016 гг.

Введение

При построении моделей сейсмического процесса широко используются известные пространственные и временные закономерности (закон Гутенберга-Рихтера, закон Омори, эффект Кайзера и др.), позволяющие определить зависимости между сейсмическими событиями [9, 14, 15, 17]. Наряду с пространственно-временными характеристиками ведутся исследования параметров напряжённо-деформированного состояния среды в сейсмоактивных регионах, в том числе, направлений и скоростей сейсмического процесса [3, 6, 8, 11, 12].

Модель, используемая в данной работе, обобщает результаты работ [13, 14, 15, 18, 19], в которых выявлялась причинно-следственная связь между событиями и исследовались нелокальные свойства во времени и пространстве во всем каталоге землетрясений. В исследованиях, проводившихся в работах [13, 14, 18], используется критерий пространственной близости между событиями, попавшими в интервал времени, который не превышает временной масштаб, определяемый энергиями событий в линейных конструкциях. Таким образом, события считаются почти одновременными, а пространственный радиус корреляции оценивается по количеству событий в линейных конструкциях и в критических условиях стремится к бесконечности, что отличает его от пространственного масштаба, используемого в работах [15, 19], где осуществлено разложение сейсмического процесса на множество последовательностей, каждая из которых представляет собой процесс марковского типа с определенными пространственно-временными и энергетическими масштабами.

Модель, разработанная авторами в [2], расширяет круг критериев за счёт включения критерия на направления смещения. Тогда можно перейти к определению сейсмического процесса как потока случайных событий, для каждого из которых задано направление смещения. Данный подход позволяет рассматривать сейсмический процесс в регионе как пластическое (сдвиговое) течение, маркерами которого являются сейсмические события, объединяемые в кластеры. Отметим, что термин «пластическое течение», используемый в работе, в первую очередь подразумевает процесс необратимых деформаций, вызванных изменением напряжений в среде. Такого рода деформационные процессы специалистами в области сейсмологии опеределяются как квазипластическое или сейсмотектоническое течение [6, 12], в геологии — катакластическое течение. Направление и величина смещения вдоль дислокации [1] характеризуют направленность сейсмогеодинамических процессов в регионе. Сама идея представления пластического течения как системы подвижек, заключённых в некотором объёме, также высказывалась ранее в работах [6, 12].

Для выполнения исследования на реальном каталоге необходимым условием было наличие в данных каталога параметров, определяющих направление и величину смещения вдоль дислокации [1]. Таким критериям соответствует каталог тензоров сейсмических моментов [16], на примере выборки из которого для зоны субдукции Курило-Камчатской островной дуги за период 1976–2005 гг. (значения магнитуд 4.5–7.7, рассматриваемая область 50°–60° с.ш., 156°–166° в.д., объём выборки 221 событие) построены пластические течения и проанализированы нелокальные деформационные эффекты в них.

Характеристики пластического течения

Модель направленности хрупкой составляющей пластических деформаций (пластических течений), разработанная в [2], позволяет построить статистическую модель пластического течения в сейсмоактивном регионе и исследовать нелокальных деформационные эффекты рассматриваемого течения. Из каталога тензоров сейсмических моментов для зоны субдукции Курило-Камчатской островной дуги для исследования было использовано 221 событие, диапазон глубин которых попадал в промежуток 10–60 км. Выбор промежутка глубин объясняется отличием механизма землетрясений, происходящих на большей глубине, и, кроме того, распределение сейсмических событий в данном диапазоне можно считать равномерным.

Используя схему случайного блуждания по состояниям, выборка из каталога тензоров сейсмических моментов [16] за период 1976–2005 гг. для зоны субдукции Курило-Камчатской островной дуги раскладывалась на непересекающиеся последовательности связанных событий на основании пространственного, временного, энергетического критериев и критерия на направление дислокационного смещения. Каждая из этих последовательностей, содержащая не менее трёх связанных событий, может рассматриваться как кластер в пластическом течении, направление течения в котором определяется направлениями смещений включённых событий, а непрерывность сейсмического процесса обеспечивается перекрытием их зон влияния. Нумерация каждого кластера в пластическом течении производится по номеру первого включённого события.

Наиболее крупные из полученных кластеров изображены на рисунке, где используются следующие обозначения: 1 – схематичное изображение крупнейших разломов, 2 – оси глубоководных желобов: Курило-Камчатского (К-К) и Алеутского (А), стрелками изображены проекции направлений дислокационных смещений, жирной стрелкой – проекция главного направления течения в кластере.

Отношение числа связанных событий к объёму выборки определяет степень связанности событий по пространственно-временным масштабам с учётом энергии событий и направлений дислокационных смещений. Характеристика связанности рассматриваемой выборки составила 0.6, что указывает на наличие пространственно-временных нелокальных эффектов, которые в рамках теории пластичности могут быть связаны с усилением вязких или хрупких процессов, а с точки зрения статистической теории – это проявления аномальных запаздываний и дальних пространственных корреляций. Такие изменения свойств среды приводят к смене эффектов и выражаются в особенностях блужданий в кластерах.

В таблице представлены характеристики наиболее крупных из полученных кластеров: количество включённых событий k, период времени существования кластера τ [годы], суммарная ΣE и средняя $\overline{E}$ энергии, среднее смещение $\overline{u}$ [см], угол γ между проекцией на плоскость поверхности Земли главного направления смещения в кластере и направлением на север в локальной системе координат, среднеквадратическое отклонение (MAD), средняя скорость течения $\bar{v}$ в кластере.

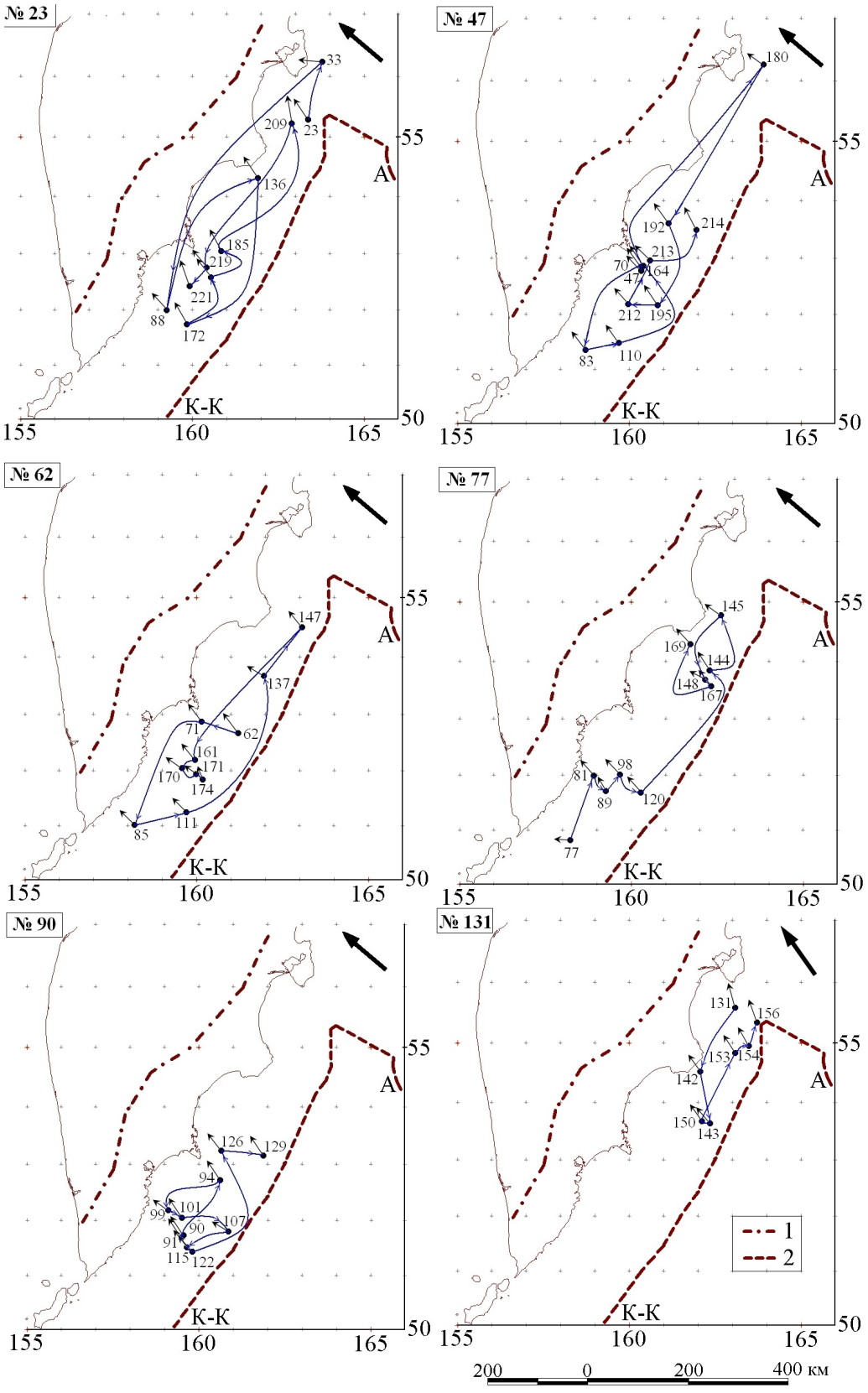

Рисунок. Наиболее крупные кластеры в пластическом течении

Таблица

Характеристики пластического течения.

№	k	τ, **[дни]**	**Энергия, [Дж]**		$\overline{u}$, **[см]**	γ	***MAD***	$\overline{v}$, **[см/год]**	ξ, **[год$^{-1}$]**
			$\overline{E}$	ΣE					
23	10	8405	$2.2{\cdot}10^{15}$	$2.2{\cdot}10^{16}$	35	311.7°	18.6°	15	$2.1\cdot10^{-6}$
47	11	6362	$7.7{\cdot}10^{14}$	$8.5{\cdot}10^{15}$	26	307.2°	9.8°	17	$2.4\cdot10^{-6}$
62	10	3251	$4.8{\cdot}10^{13}$	$4.8{\cdot}10^{14}$	17	302.6°	10.9°	19	$3.3\cdot10^{-6}$
77	10	2385	$2.4{\cdot}10^{13}$	$2.4{\cdot}10^{14}$	14	299.3°	12.9°	21	$3.4\cdot10^{-6}$
90	10	1179	$7.8{\cdot}10^{12}$	$7.8{\cdot}10^{13}$	10	307.5°	9.2°	30	$5.9\cdot10^{-6}$
131	7	213	$4.1{\cdot}10^{12}$	$2.9{\cdot}10^{13}$	8	312.1°	12.6°	98	$3.4\cdot10^{-5}$

Среднее смещение $\overline{u}$ равно отношению суммарного смещения к числу событий k в кластере

$$\overline{u} = \Big(\sum_{i=1}^{k} u_i\Big)/k, \tag{1}$$

где величина смещения u_i для каждого события, попавшего в кластер, определялась на основании известных скалярного сейсмического момента M_0 [Н·м], модуля сдвига для базальта ($\mu \approx 3.14\cdot10^{10}$ [Н/м^2]) [4] и относительной предельной деформации ε равной отношению величины смещения к характерному линейному размеру – длине разлома [5, 7] из соотношения

$$u_i = \sqrt[3]{\frac{M_0\varepsilon}{\mu}}. \tag{2}$$

Среднюю скорость течения в кластере находили как отношение суммы дислокационных смещений в некотором объёме к периоду времени τ существования кластера в пластическом течении [1, 6, 12]

$$\overline{v} = \Big(\sum_{i=1}^{k} u_i\Big)/\tau. \tag{3}$$

Средняя скорость движения литосферной плиты на поверхности в зоне субдукции Курило-Камчатской островной дуги, измеренная по данным GPS наблюдений, равна 8 см/год для рассматриваемого региона [3, 8]. Скорость относительной деформации ξ рассматриваемого пластического (сдвигового) течения вычислялась как отношение

$$\xi = \frac{(\overline{v}-8)}{h_{max}}. \tag{4}$$

Среди полученных кластеров наибольшую суммарную энергию имеет кластер №23, определяемый десятью событиями, который охватывает временной период 22.7 года и всю рассматриваемую область (рис.1). Течение №47 — это его подструктура, занимает практически ту же пространственно-временную область, но имеет меньшую суммарную энергию. Подструктурами течения №47 с меньшими энергиями являются течения №62, №77, №90, №131.

Вычисленные главные направления течений в кластерах имеют северо-западную ориентацию [3, 8]. Как видно на рисунке 1, случайное блуждание реализуется неравномерно: топтания в ограниченной области сменяются длинными пролетами, т. е. реализуются эффекты ближних и дальних корреляций, связаннные с изменением свойств среды и напряжений, которые проявляются в нелокальных свойствах блужданий. Полученные результаты согласуются с результатами работы [15] для этого же региона, основанной на каталоге землетрясений Камчатского филиала Геофизической службы РАН за период с 1 января 1962 г. по 31 декабря 2002 г. без ограничений на координаты событий с энергией не меньше 9 класса. В сравнении с работой [15] можно отметить увеличение процента связанных событий, которое вызвано использованием в исследовании более крупных событий.

Заключение

Используя разработанный в [2] алгоритм моделирования хрупкой составляющей пластических деформаций, построена модель пластического течения в зоне субдукции Курило-Камчатской островной дуги на базе данных глобального каталога тензоров сейсмических моментов [16] с ограничением на глубины в диапазоне 10–60 км и исследованы структура и характеристики пластического течения в регионе с учетом нелокальных эффектов.

Характеристика связанности выборки равна 0.6 и последовательности связанных событий образуют сложные цепи Маркова, что указывает на наличие нелокальных пространственно-временных эффектов в рассматриваемом деформационном процессе. В сравнении с работой [15] можно отметить увеличение процента связанных событий, поскольку рассматривались более крупные события (магнитуды 4.5-7.7).

Главные направления смещения в кластерах, выделенных в рассматриваемой зоне субдукции, имеют северо-западную ориентацию, которая определяется углом γ. Порядок значений скоростей течения 10 см/год характерен для скорости движения литосферных плит [3]. Разброс угловых распределений дислокационных смещений в каждом кластере относительно его главного направления варьируется в пределах от 9° до 18°, что говорит о хорошей направленности течения.

Порядок скоростей относительных деформаций ξ в наиболее протяжённых кластерах в пластическом течении соответствует приливным 10^{-6} год$^{-1}$, а в менее протяжённых увеличивается до 10^{-3} год$^{-1}$ [10].

Библиографический список

1. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология. Теория и методы. Т. 1. – М.: Мир, 1983. 519 с.

2. Антоненко А.Н., Попова А.В., Шереметьева О.В. Особенности блужданий в цепях связанных сейсмических событий // Вестник КРАУНЦ. Физ.–мат. науки. 2013. № 1. С. 12-22.

3. Гордеев Е.И., Левин В.Е., Бахтияров В.Ф., Гусев А.А., Павлов В.М., Чебров В.Н., Касахара М. Предварительный анализ перемещений станций GPS на Камчатке: скорости плит и геодезический предвестник землетрясения // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. ИВГиГ ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский. 2001. С. 82-94.

4. Горная энциклопедия / Гл. ред. Е.А.Козловский. –М.: Сов. энциклопедия. Т.1. Аа-лава – Геосистема. 1984. 560 с.

5. Гусев А.А., Мельникова В.Н. Связи между магнитудами – среднемировые и для Камчатки // Вулканология и сейсмология. – М.: Академиздатцентр "Наука"РАН, 1990. №6. С. 55-62.

6. Костров Б.В. Механика очага тектонического землетрясения. М.: Наука, 1975. 173 с.

7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. VII. Теория упругости: учебное пособие. – М.: Наука. 1987. 248 с.

8. Ломизе М.Г. Вулканическое кольцо тихого океана // Соросовский образовательный журнал. 1999. № 9. С. 59-66.

9. Лукк А.А., Дещеревский А.В., Сидорин А.Я., Сидорин И.А. Вариации геофизических полей как проявление детерминированного хаоса во фрактальной среде. – М.: ОИФЗ РАН, 1996. 210 с.

10. Марапулец Ю.В., Шевцов Б.М., Ларионов И.А., Мищенко М.А., Щербина А.О., Солодчук А.А. Отклик геоакустической эмиссии на активизацию деформационных процессов при подготовке землетрясений.// Тихоокеанская геология. 2012. Т.31. №6. С. 59-67.

11. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность природных горных массивов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 406 с.

12. Ризниченко Ю.В. О сейсмотектоническом течении горных масс // Динамика земной коры – М.: Наука, 1965. С. 56-63.

13. Шебалин П.Н. Цепочки эпицентров как индикатор возрастания радиуса корреляции сейсмичности перед сильными землетрясениями // Вулканология и сейсмология. – М.: Академиздатцентр "Наука"РАН, 2005. №1. С. 3-15.

14. Шебалин П.Н. Методология прогноза сильных землетрясений с периодом ожидания меньше года // Алгоритмы прогноза землетрясений. Вычислительная сейсмология. Вып. 37. –М.: ГЕОС, 2006. С. 5-180.

15. Шевцов Б.М., Сагитова Р.Н. Диффузионный подход в статистическом анализе сейсмичности Камчатки // Вулканология и сейсмология. – М.: Академиздатцентр "Наука"РАН, 2012. №2. С. 56-66.

16. Global CMT Web Page. http://www.globalcmt.org/

17. Kagan Y., Knopoff L. Earthquake risk prediction as a stochastic process // Phys. Earth Planet. Inter. 1977. Vol. 14. P. 97-108.

18. Shebalin P.N. Increased correlation range of seismicity before large events manifested by earthquake chains // Tectonophysics. 2006. Vol. 424. P. 335-349.

19. Shevtsov B.M., Sagitova R.N. Statistical analysis of seismic processes on the basis of the deffusion approach // Doklady Earth Sciences. 2009. Т. 426. №1. P. 642-644.

Поступила в редакцию / Original article submitted: 24.10.2013

Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2013. № 2(7). С. 59-67. ISSN 2079-6641

DOI: 10.18454/2079-6641-2013-7-2-59-67

УДК 551.594

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПОТОКОВ СВИСТЯЩИХ АТМОСФЕРИКОВ И ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДОВ

Н.В. Чернева[1], Г.М. Водинчар[1, 2], В.П. Сивоконь[1], А.Н.Мельников[1], Д.В. Санников[1], И.В.Агранат[1]

[1] Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, 684034, Камчатский край, п. Паратунка, ул. Мирная, 7

[2] Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, 683032, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 4

E-mail: nina@ikir.ru

Исследована статистическая связь между вистлерами, регистрируемыми на Камчатке, и грозовой активностью в магнитно-сопряженной точке. Проанализирована возможность влияния на поток вистлеров нагревного стенда HAARP.

Ключевые слова: атмосферики, вистлеры, ОНЧ-излучение, модификация ионосферы

© Чернева Н.В. и др., 2013

MSC 86A10

CORRELATION ANALYSIS OF STREAMS OF WHISTLERS AND LIGHTNINGS

N.V. Cherneva[1], G.M. Vodinchar[1, 2], V.P. Sivokon'[1], A.N. Mel'nikov[1], D.V. Sannikov[1], I.V. Agranat[1]

[1] Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation Far-Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 684034, Kamchatskiy Kray, Paratunka, Mirnaya st., 7, Russia

[2] Vitus Bering Kamchatka State University, 683031, Petropavlovsk-Kamchatsky, Pogranichnaya st., 4, Russia

E-mail: nina@ikir.ru

The sttatistical relationship between whistlers in Kamchatka and thunderstorm activity was studied. Possibility of impact HAARP on stream of whistlers analyzed.

Key words: atmospherics, whistlers, VLF radiation, modification of the ionosphere.

© Cherneva N.V. et al., 2013

Введение

Грозовые разряды, являясь источниками импульсных электромагнитных сигналов, порождают электромагнитное излучение в очень широком диапазоне частот, в том числе и в радиодиапазоне очень низких частот (ОНЧ). Радиоимпульсы грозовых разрядов, называемые атмосфериками, распространяются вдоль поверхности Земли по радиоволноводу земля-ионосфера и могут через ионосферу проникать в магнитосферные радиоволноводы (дакты) и вдоль силовых линий геомагнитного поля распространятся в магнитно-сопряженные точки (рис. 1).

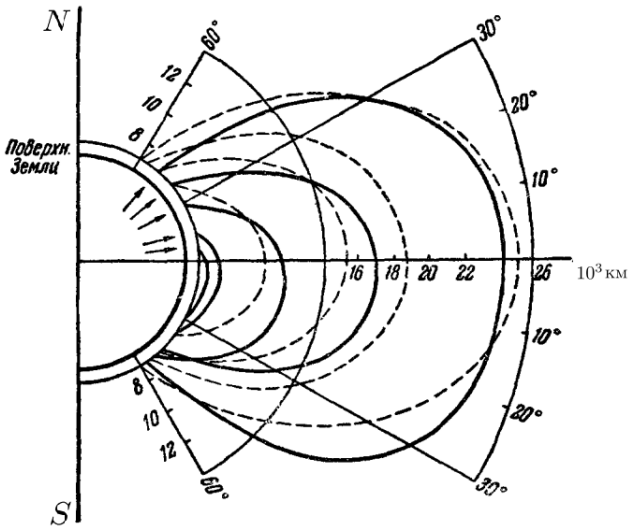

Рис. 1. Расчетные траектории вистлеров (сплошные кривые) и силовые линии геомагнитного поля (пунктирные линии) из работы [1]

Радиосигналы грозовых разрядов, прошедшие через магнитосферу, диспергируют, и в пункт регистрации наблюдается понижающийся по частоте сигнал. Акустическим аналогом таких сигналов является свист, поэтому их называют свистящими атмосфериками или вистлерами (whistlers) [1]. Связь формы вистлеров с плотностью магнитосферной плазмы позволяет определять ее состояние, а отражения вистлеров в волноводе позволяют исследовать его неоднородности. Эти особенности радиосигналов используются при разработке дистанционных методов исследования динамики магнитосферы, которая рассматривается как система космической погоды. Исследование вистлеров имеет большое значение и для изучения особенностей грозовой активности, электромагнитных шумов атмосферы и взаимодействия нижних и верхних ее слоев.

Аппаратная и методическая организация наблюдений

Для регистрации атмосфериков создана Всемирная сеть локализации гроз World Wide Lightning Location Network (WWLLN, R.H. Holzworth, а для детектирования вистлеров – Automatic Whistler Detector and Analyzer systems' network (AWDANet, J. Lichtenberger). В Институте космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН (ИКИР)под руководством разработчиков этих систем изготовлены и установлены приемные станции, интегрированные в обе сети. Кроме

этого, ИКИР имеет две системы радионаблюдений собственной разработки: ОНЧ-пеленгатор для локации атмосфериков и ОНЧ-регистратор для определения вистлеров.

ИКИР непрерывно осуществляет пеленгацию гроз, что позволяет определять координаты источника грозового импульса, а также регистрировать частоту разрядов в определенном районе и по всей Земле, с помощью приемной станции, входящей во Всемирную сеть WWLLN. Сеть включает около 80-ти приёмных станций, определяющих местонахождение гроз по всему миру, находящихся на парных расстояниях от нескольких метров до 10 тыс. км. Размещение станций мировой сети показано на сайте http://webflash.ess.washington.edu/. Приёмные станции регистрируют излучения, приходящие по волноводу Земля-ионосфера, с максимумом на частоте 10 кГц (длина волны 30 км). Для локализации грозы достаточно трех приёмных станций, окружающих грозу. Каждая из этих станций посылает в центральный обрабатывающий компьютер с точностью до нескольких микросекунд время прибытия радиоимпульса грозового разряда (атмосферика) и уже через 10 минут спектрограммы с этих станций обновляются на http://webflash.ess.washington.edu/spectra.html.

Для определений характеристик вистлеров создана AWDANet, которая в комплексе с WWLLN позволяет проследить пути движения зондирующих радиосигналов и исключить возникающие неоднозначности в их распространении. Сеть AWDANet [2] была недавно расширена дальневосточной станцией Карымшина, Камчатка, Россия (LAT 52.83, LON 158.13, L=2.13). Активность вистлеров необычно высокая, самая высокая в сети AWDANet, в отличие от Европейских станций. За первых пять месяцев работы было зарегистрировано более 200000 вистлеров. Глобальная система AWDANet недавно была дополнена включением в нее автоматического анализатора PLASMON (http://plasmon.elte.hu). Он основан на недавно разработанной модели инверсии вистлеров [3], что позволило автоматизировать процесс анализа вистлеров не только для событий с приходом одного вистлера, но и для комплексного анализа многокомпонентного распространения групп вистлеров.

В ИКИР разработан алгоритм автоматического распознавания вистлеров [4]-[5]. Работа детектора в данном алгоритме основывается на двумерной корреляции спектра исходного сигнала и спектра сигнала-эталона. Необходимо отметить, что имеющаяся аппаратура не позволяет регистрировать носовую частоту, но диапазон частот от $2.5 \div 7$ кГц может быть полезным для статистического анализа, т.к. захватывает часть вистлера, и в тоже время является наименее зашумленным. Моделирование сигнала-эталона происходит в результате аппроксимации пика атмосферика в текущий момент времени функцией, соответствующей плотности нормального распределения и аппроксимации зависимости частоты от времени экспоненциальной функцией. Система, основанная на этом методе, состоит из детектора и решающего фактора – адаптивного порога. Детектор выполняет двумерную корреляцию спектра фрагмента сигнала длительностью 4 секунды и смоделированного идеального спектра. Адаптивный порог представляет некоторую усредненную величину, при превышении «нормального уровня» которого формируется вывод о том, что в сигнале присутствует вистлер. Необходимо отметить, что большую погрешность (до 50% ложных срабатываний) вносят атмосферики (грозовые разряды), которые видны в спектре как вертикальные линии. Для уменьшения их влияния на результат вводятся дополнительные процедуры, выполняемые по превышению порога:

1) Выполняется проверка, на сколько процентов превышен порог. Если это превышение не достигает заданного пользователем значения ($10 \div 15\%$), формируется сигнал «0» (нет вистлера).

2) Выполняется проверка, в течение какого времени наблюдалось превышение над порогом. Поскольку длительность вистлера находится в пределах $0.5 \div 2$ сек., то свистящий атмосферик определяется тем, как длительность сигнала укладывается в эти пределы.

3) После обработки 4-х секундного фрагмента детектор обрабатывает следующий фрагмент, сдвинутый относительно предыдущего на 0.2 секунды, за счет чего происходит дополнительное уточнение результата.

Визуальный анализ связи вистлеров и грозовой активности

Полученные промежуточные результаты автоматического детектирования свистящих атмосфериков были сопоставлены с данными сети WWLLN. Был проведен визуальный сравнительный анализ гистограмм потока распознанных вистлеров на Камчатке и потоков грозовых разрядов на Камчатке и в магнитно-сопряженной для Камчатки точке в Австралии. Было обнаружено, что грозовые разряды, генерирующие атмосферики в магнито-сопряженной точке, не всегда имеют высокую корреляцию с количеством зарегистрированных на Камчатке вистлеров, число которых достигает нескольких тысяч в течение суток. Возможно, что молниевые удары генерируют свистящие атмосферики, которые распространяются в волноводе Земля-ионосфера, даже если грозовой очаг находится на значительном расстоянии от сопряженной точки.

При сравнении потока вистлеров с грозовой активностью с 01:30 по 08:12 UT 22.02.2012 было обнаружено увеличение потока вистлеров с увеличением грозовой активности в сопряженной точке (рис. 2а).

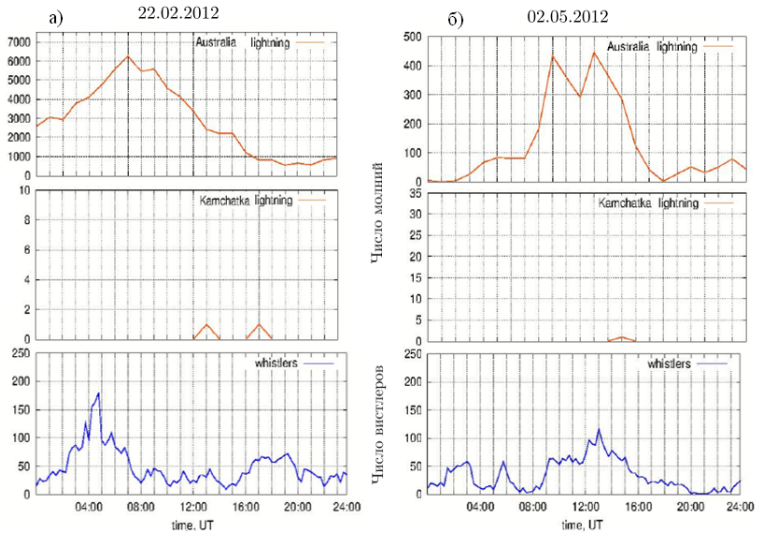

Рис. 2. Сравнение потока вистлеров (число вистлеров/15 минут) с грозовой активностью (число атмосфериков/час) в сопряженных точках за 22.02.2012 и 2.05.2012

Можно сделать вывод о том, что изменение потока вистлеров в основном определяется грозовой активностью в сопряженной точке. Однако при более детальном рассмотрении был получен другой результат (рис. 3).

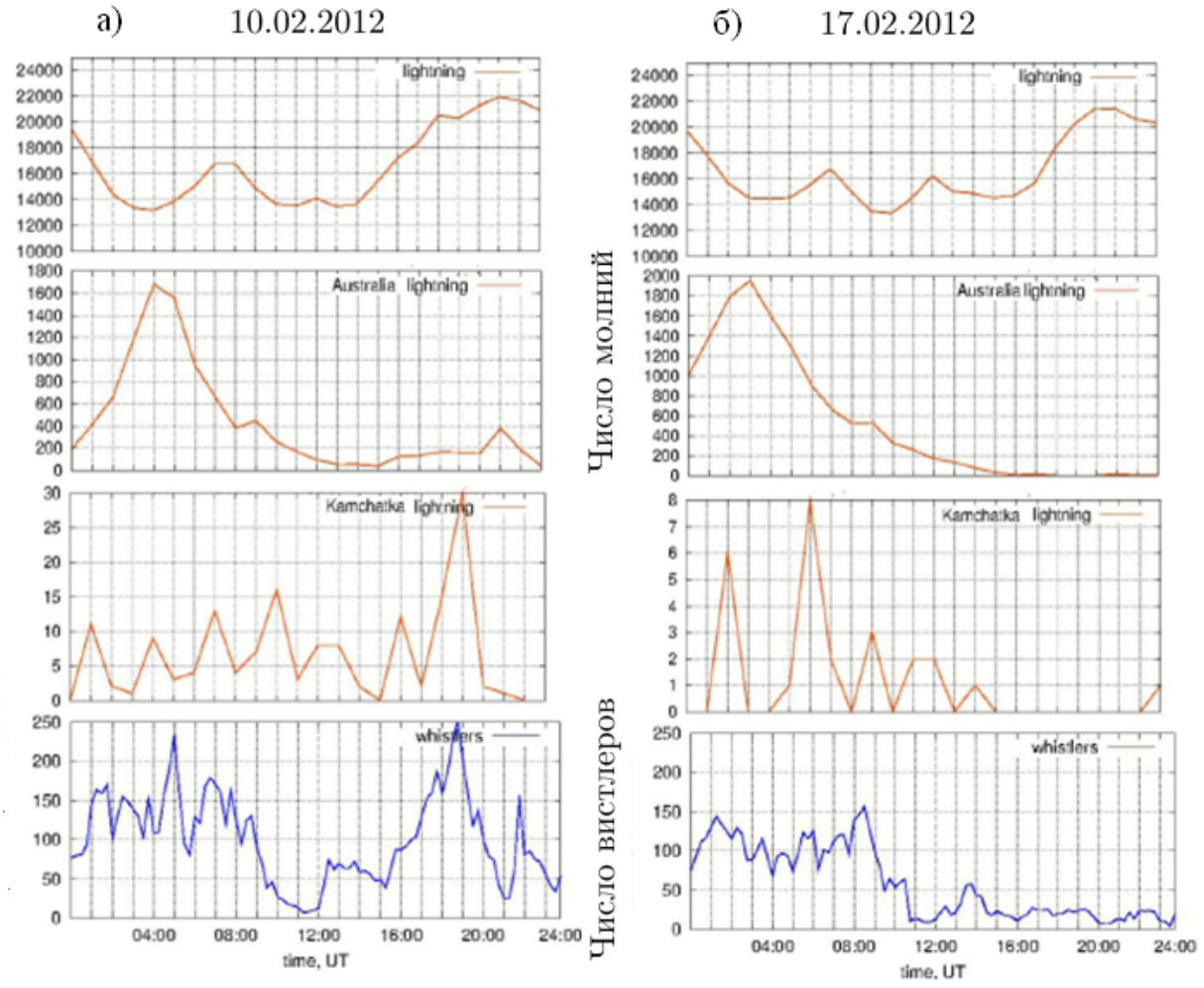

Рис. 3. Сравнение потока вистлеров (число вистлеров/15 минут) с мировой грозовой активностью (число атмосфериков/час) и грозовой активностью в сопряженных точках (Австралия, Камчатка) за 10.02.2012 и 17.02.2012

Принимая во внимание среду распространения вистлеров (ионосфера, магнитосфера, ионосфера) и их связь с грозовыми разрядами, можно предположить, что антропогенное воздействие на ионосферу также может повлечь за собой рост числа вистлеров. Поскольку активное воздействие на ионосферу оказывает американский нагревный стенд система HAARP (High Frequency Active Auroral Research Program), возникает гипотеза о связи результатов работы этой системы и динамики появления вистлеров.

Для проверки были сопоставлены спектрограмма процесса нагревания ионосферы антеннами HAARP с количеством вистлеров. Результаты представлены на рис. 4а.

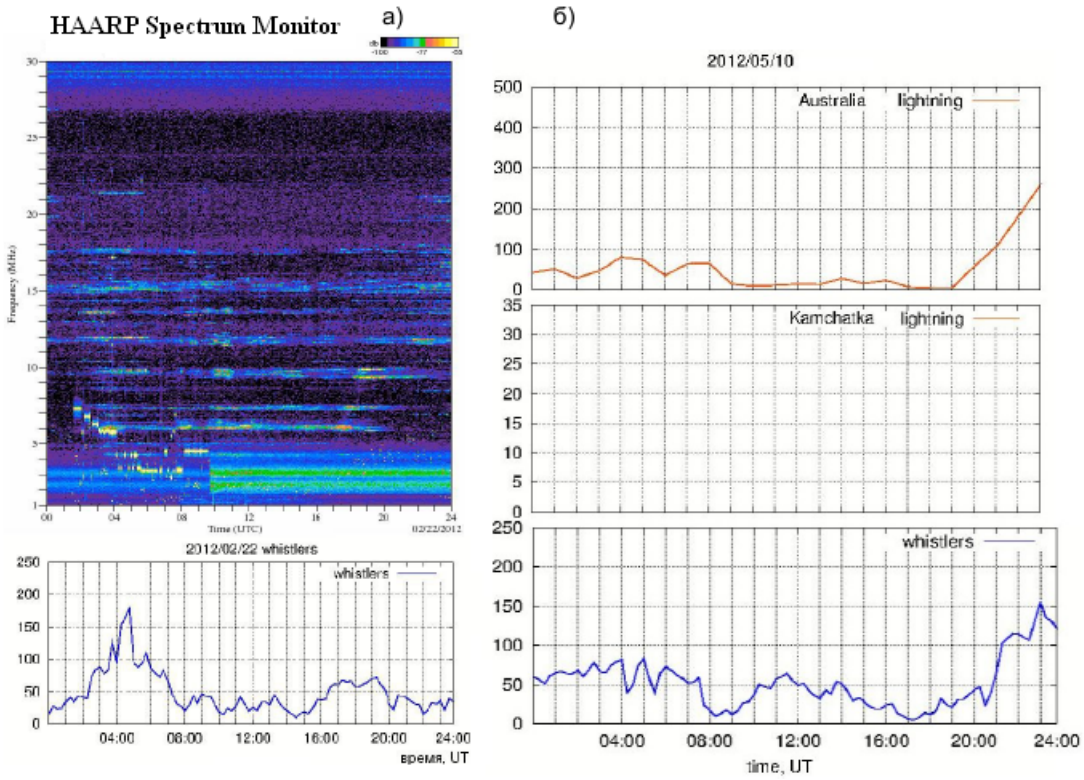

Рис. 4. Сопоставление спектрограммы нагревания ионосферы антеннами HAARP и изменение потока вистлеров (число вистлеров/15 минут) в течение 22.02.2012

Верхний график – спектрограмма процесса нагрева ионосферы в течение суток, нижний график – изменение числа вистлеров в течение суток. Заметна связь после длительного нагревного воздействия на ионосферу во время работы HAARP (с 01:30 до 08:12 UT 22.02.2012), наблюдается увеличение потока вистлеров (числа вистлеров за 15 минут). Однако для того чтобы более точно установить такую связь, необходимо обработать большой промежуток времени, провести анализ зависимости вистлеров в сопоставлении с изменением грозовой активности.

В целях дальнейших исследований проанализирован весь промежуток времени работы HAARP за 2012 год, и проведено сопоставление с грозовой активностью в сопряженных точках, а за февраль месяц и в сравнении с общемировой грозовой активностью. Обнаружено, что в большинстве случаев увеличение числа вистлеров, все таки, имеет прямую связь с увеличением грозовой активности (рис. 2а и рис. 2б). Но в некоторых случаях после длительного воздействия на ионосферу нагревными частотами эта зависимость перестает быть очевидной, а во время работы HAARP наблюдается резкое уменьшение регистрации числа вистлеров, не зависимо от грозовой активности. На рис. 4б представлено, как уменьшение в момент проведения экспериментов, так и прямая связь с увеличением грозовой активности в сопряженной точке.

Корреляционный анализ потоков грозовых разрядов и вистлеров

В целях проверки статистической значимости визуально наблюдаемых связей анализировались корреляционные связи двух точечных процессов – потока грозовых

разрядов (атмосфериков) по данным всемирной сети локации гроз WWLLN и потока вистлеров, регистрируемых на Камчатке в ИКИР в течение 1-11 марта 2013 г. Каждый поток был представлен интенсивностью – числом событий в 15 мин. интервале дискретизации.

Как уже упоминалось выше механизм формирования вистлеров позволяет ожидать на Камчатке регистрации двух типов этих сигналов. Это вистлеры, сгенерированные разрядами в магнитно-сопряженной точке в Австралии и пришедшие из нее через силовую трубку магнитного поля, и вистлеры, сгенерированные камчатскими грозами и прошедшие через эту трубку четное число раз. При этом вистлеры австралийского происхождения также могут неоднократно (нечетное число раз) проходить через трубку.

В связи с этим из базы данных сети WWLLN отбирались разряды, возникавшие в координатных прямоугольниках LAT 25S-45S, LON 140E-160E (Австралия) и LAT 43N-63N, LON 150E-170E (Камчатка). Рассматривалась корреляция потока вистлеров с потоками камчатских и австралийских грозовых разрядов по-отдельности и с объединенным потоком. Сопоставление потоков производилось визуально и с помощью расчета коэффициента корреляции в скользящем временном окне, длительностью 1 сут. Каждому положению окна при этом соответствуют 96 отсчетов времени. При оценке коэффициента корреляции ρ по такому числу отсчетов вывод о коррелированности при уровне значимости $\alpha = 0.05$ можно делать при $\rho \geq 0.25$ [5].

На рис. 5 приведены интенсивности потоков грозовых разрядов Австралии и зарегистрированных на Камчатке вистлеров и коэффициент корреляции между ними.

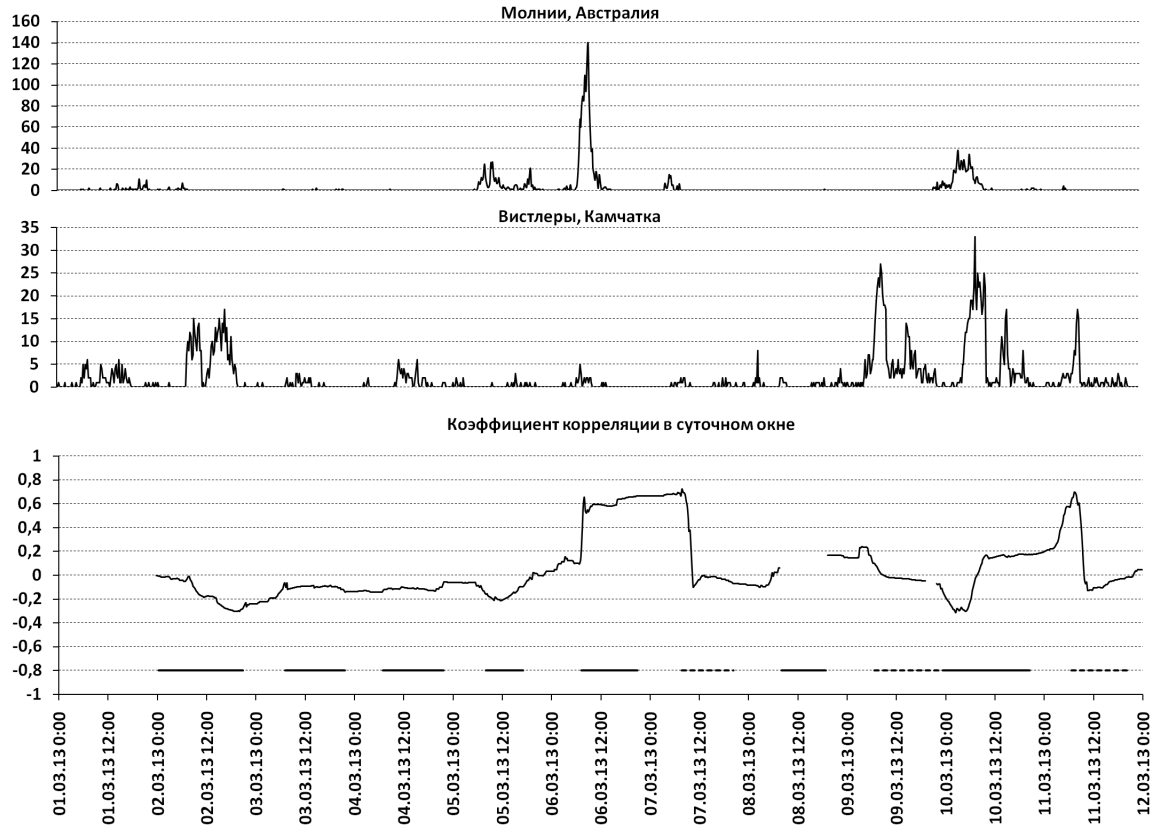

Рис. 5. Интенсивности атмосфериков Австралии и вистлеров Камчатки в период 1-12 марта 2013 г.

На графике корреляции отмечен критический уровень $\rho = 0.25$. На аналогичном рис. 6 представлены Камчатские атмосферики и вистлеры.

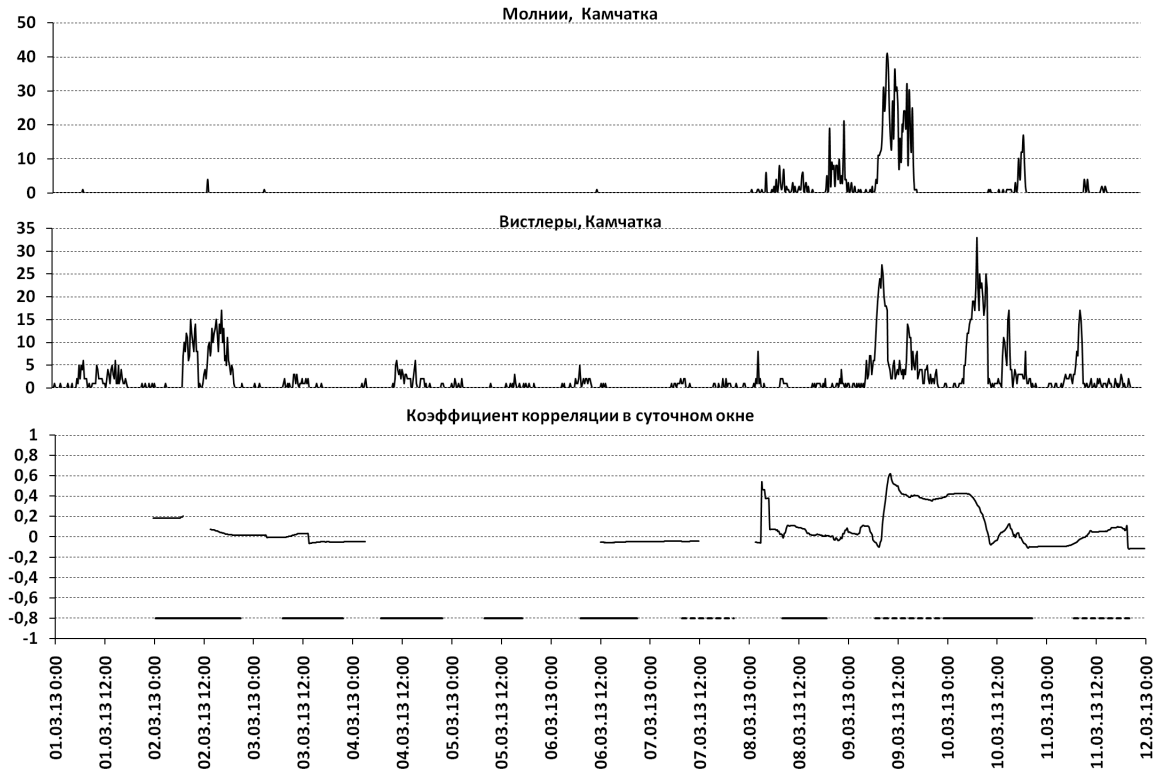

Рис. 6. Интенсивности атмосфериков и вистлеров Камчатки в период 1-12 марта 2013 г.

На графиках корреляции на рис. 5 и 6 отмечены периоды длительных непрерывных нагревов и «простоев» HAARP. На уровне -0.8 горизонтальными сплошными линиями отмечены промежутки непрерывного длительного (>10 часов) нагрева, а пунктирными — промежутки, когда HAARP не работал более 10 часов.

Из рисунков хорошо виден отклик потока вистлеров на сильную грозу в Австралии 6:00-12:00 UT 06.03.2013 и на более слабые 6:00-23:00 UT 05.06.2013, 6:00-12:00 UT 07.03.2013, 6:00-12:00 UT 10.03.2013. Виден и отклик на камчатские грозы 18:00-24:00 UT 08.03.2013, 8:00-19:00 UT 09.03.2013. Таким образом, в основном, вистлеры на Камчатке формируются грозовыми очагами в Австралии и Камчатскими грозами.

В то же время отметим всплеск вистлеров 6:00-10:00 UT 11.03.2013 произошедший несколько раньше слабой грозы на Камчатке (11:00 UT, рис. 3). Видимо его возникновение можно объяснить дрейфом вистлеров из других силовых трубок. Похожая ситуация была и со всплесками вистлеров 7:00-20:00 UT 02.03.2013, однако следует отметить, что это совпало с промежутком длительной работы HAARP. Поэтому возможно, что данный всплеск связан с работой нагревного стенда.

Заключение

Сильные увеличения коэффициента корреляции между потоками вистлеров и атмосфериков возникают, когда в пределы скользящего окна попадают резкие выбросы

либо в потоке вистлеров, либо в потоке гроз. Это можно объяснить большой чувствительностью этой статистической характеристики, как и любой другой, основанной на расчете средних значений, к сильным выбросам в данных. В целом, следует признать, что применение аппарата корреляционного анализа не дало статистически значимого подтверждения связи потока вистлеров на Камчатке с активностью грозового очага Австралии. Вероятно, потребуются статистические характеристики малочувствительные к выбросам, основанные на квантильных значениях.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН 12-I-П4-05 «Обнаружение изменений климатообразующих характеристик на основе мониторинга вариаций геофизических полей», программе ОФН РАН 12-I-ОФН-15 «Научное обоснование и разработка технологии комплексного мониторинга эффективности воздействия мощными радиоволнами на ионосферу и плазмосферу Земли» и Минобрнауки России по Программе стратегического развития КамГУ им. Витуса Беринга на 2012-2016 гг.

Библиографический список

1. Гершман Б.Н., Угаров В.А. Распространение и генерация низкочастотных электромагнитных волн в верхней атмосфере // Успехи физических наук. 1960. Т. 72. № 2. С. 235-271.

2. Lichtenberger J., Ferencz C., Bodnár L., Hamar D., Steinbach P. Automatic Whistler Detector and Analyzer system: Automatic Whistler Detector // Journal of Geophysical Research: Space Physics. 2008. Vol. 113 № A12. DOI:10.1029/2008JA013467. http://dx.doi.org/10.1029/2008JA013467

3. Lichtenberger J. A new whistler inversion method // Journal of Geophysical Research: Space Physics. 2009. Vol. 114. № A7. DOI:10.1029/2008JA013799. http://dx.doi.org/10.1029/2008JA013799

4. Чернева Н. В., Агранат И.В. Автоматическое детектирование свистящих атмосфериков и их сопоставление с грозовой активностью // VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству: сб. трудов, т. 2, г. Санкт-Петербург, 24-28 сентября 2012 г.; ГГО им. А.И. Воейкова. Санкт-Петербург, 2012. 49 с. С 45-46.

5. Cherneva N.V., Sivokon' V.P., Agranat I.V. Spectral characteristics of whistlers // Problems of Geocosmos: Proc. of the 9th Int. Conf., St. Petersburg, October 8-12, 2012.; St. Petersburg State University. SPb, 2012. 451 p. P.212-217.

6. http://nova.stanford.edu/vlf/research_topics/raytracing/raytracing.mp4

7. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Королюк и др. – М.: Наука, 1985. 640 с.

Поступила в редакцию / Original article submitted: 20.10.2013

Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2013. № 2(7). С. 68-73. ISSN 2079-6641

DOI: 10.18454/2079-6641-2013-7-2-68-73

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 519.622+519.633

МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ РАЗРЕЖЕННОЙ АППРОКСИМАЦИИ И КЛАСТЕРИЗАЦИИ

Афанасьева А.А., Луковенкова О.О.

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, 684034, Камчатский край, с. Паратунка, ул. Мирная, 7

E-mail: a.a.afanaseva@yandex.ru,o.o.lukovenkova@yandex.ru

Разреженная аппроксимация является мощным инструментом частотно-временного анализа сигналов. В данной публикации описывается использование алгоритма согласованного преследования для обнаружения импульсов геоакустической эмиссии. Спроектированный алгоритм был протестирован на реальных данных.

Ключевые слова: разреженная аппроксимация, геоакустическая эмиссия, согласованное преследование.

© Афанасьева А.А., Луковенкова О.О., 2013

INFORMATION AND COMPUTATION TECHNOLOGIES

MSC 65L12

METHODS FOR FINDING GEOACOUSTIC EMISSION IMPULSES BASED ON SPARSE APPROXIMATION AND CLUSTERIZATION ALGORITHMS

A.A. Afanas'eva, O.O. Lukovenkova

Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation Far-Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 684034, Kamchatskiy Kray, Paratunka, Mirnaya st., 7, Russia

E-mail: a.a.afanaseva@yandex.ru,o.o.lukovenkova@yandex.ru

The sparse approximation is a powerful instrument for time-and-frequency signal analysis. This publication outlines use of matching pursuit method for finding impulses in geoacoustic emission signals. Designed algorithm was tested on actual data.

Key words: sparse approximation, geoacoustic emission, matching pursuit

© Afanas'eva A.A., Lukovenkova O.O., 2013

Введение

С 1999 года на полуострове Камчатка проводится изучение геоакустической эмиссии на различных стадиях сейсмической активности. Регистрация осуществляется непрерывно с частотой 48 кГц, что в принципе не позволяет проводить ручную обработку. Анализ геоакустического сигнала показывает, что он состоит из серии релаксационных колебаний (импульсов) с ударным возбуждением, амплитудой 0.1 – 1 Па, длительностью, не превышающей 200 мс, частотным заполнением в единицы и первые десятки кГц [1].

Одной из основных задач обработки сигналов геоакустической эмиссии является автоматическое выделение и частотно-временной анализ импульсов.

В данной статье предложен новый метод обнаружения импульсов геоакустической эмиссии, основанный на анализе разреженной аппроксимации сигнала [2].

Алгоритм построения модели сигнала

Под аппроксимацией сигнала по словарю понимается разложение вида:

$$\begin{aligned} &f(t) = \sum_{m=0}^{N-1} a_m g_m(t) + R_N, \\ &\|R_N\| \to \min, \end{aligned}$$

где $f(t)$ – исследуемый сигнал, $g_m(t)$ – элемент (атом словаря) словаря $D = g_m(t), ||g_m|| = 1$, a_m– коэффициенты разложения, N – количество элементов разложения, R_N – ошибка аппроксимации.

Разреженная аппроксимация предполагает построение модели сигнала, содержащей наименьшее число элементов и одновременно минимизирующей ошибку, т.е.

$$\begin{aligned} &f(t) = \sum_{m=0}^{N-1} a_m g_m(t) + R_N \\ &\|R_N\| \to \min \\ &\|a_m\|_0 \to \min \end{aligned},$$

где $\|\cdot\|_0$ – псевдонорма, равная числу ненулевых членов вектора.

Задача разреженной аппроксимации сигнала обладает большой вычислительной сложностью, и не существует известного алгоритма, способного решить её за полиномиальное время.

Существует два подхода, уменьшающих вычислительную сложность поставленной задачи: преследование базиса и согласованное преследование. При анализе сигналов геоакустической эмиссии лучшие результаты показал классический алгоритм согласованного преследования (Matching Pursuit), предложенный Mallat S. И Zhang Z. Суть алгоритма сводится к итеративному процессу поиска элементов словаря, минимизирующих на каждом шаге ошибку аппроксимации [3]

$$\begin{cases} R^0 f = f \\ R^n f = \left\langle R^n f, g_{\gamma_n} \right\rangle g_{\gamma_n} + R^{n+1} f \\ g_{\gamma_n} = \arg \left[\max_{g_{\gamma_i} \in D} \left| \left\langle R^n f, g_{\gamma_i} \right\rangle \right| \right] \end{cases}.$$

Для аппроксимации сигналов ГАЭ было решено использовать словарь, составленный из промодулированных функций Берлаге, обладающих схожей структурой с импульсами [4].

В ходе большого числа экспериментов выяснилось, что ошибка аппроксимации спадает быстрее для участков сигнала, содержащих импульсы, т.о. особая динамика спада ошибки аппроксимации является характерным признаком наличия импульса в сигнале.

Предобработка сигналов ГАЭ заключается в нормировании, центрировании и фильтрации сигнала в диапазоне 1-48 кГц. Фильтрация позволяет очистить сигнал от техногенных наводок и помех, имеющих место в регистрирующем тракте.

Следующим этапом является поиск правил для обнаружения импульсов. Признаковое пространство данной задачи классификации образовано значениями спада ошибки метода согласованного преследования при аппроксимации участков сигнала длительностью 8 мс 15 атомами словаря Берлаге. Рассмотрены сигналы, регистрируемые в разные дни, и сформирована обучающая выборка, состоящая из 1000 объектов класса «Импульс есть» и 1000 объектов класса «Импульса нет» (рис.1).

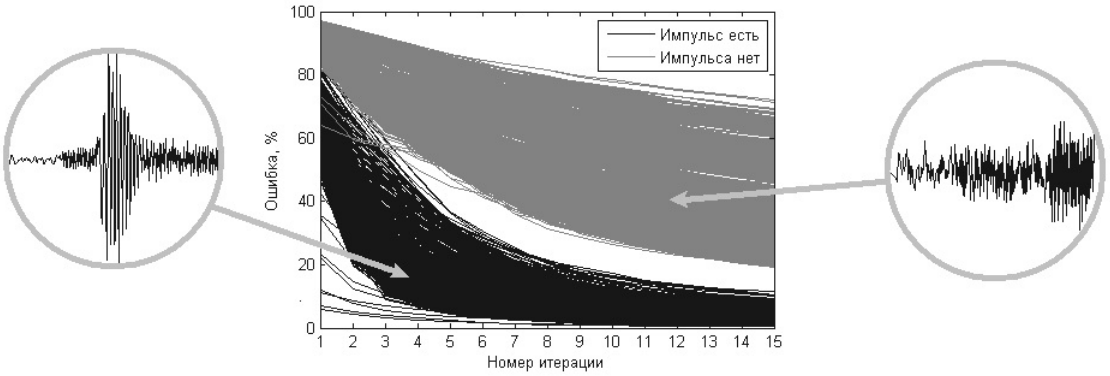

Рис. 1. Обучающая выборка

Следует отметить, что для построения выборки использовались наиболее явные импульсы, амплитуда которых превышала амплитуду шума не менее, чем в 3 раза. Поиск решающих правил осуществлялся двумя способами.

1) *Граница областей.*

Как видно из рис.1, графики спада ошибок объектов класса «Импульс есть» и объектов класса «Импульса нет» сгруппированы в различных областях координатной плоскости, следовательно, возможно построить линию, четко разграничивающую данные области, и классифицировать неизвестный объект по положению графика спада ошибки относительно полученной линии (рис.2).

1) *Центры классов.*

Если представить график спада ошибки каждого объекта обучающей выборки как пятнадцатимерную точку, то для каждого из множеств «Импульс есть» и «Импульса нет» можно рассчитать центральный элемент, и класс неизвестного объекта определять по степени близости его точки в пятнадцатимерном пространстве к центральным элементам (рис.2) Решающие правила были протестированы на 5023 неизвест-

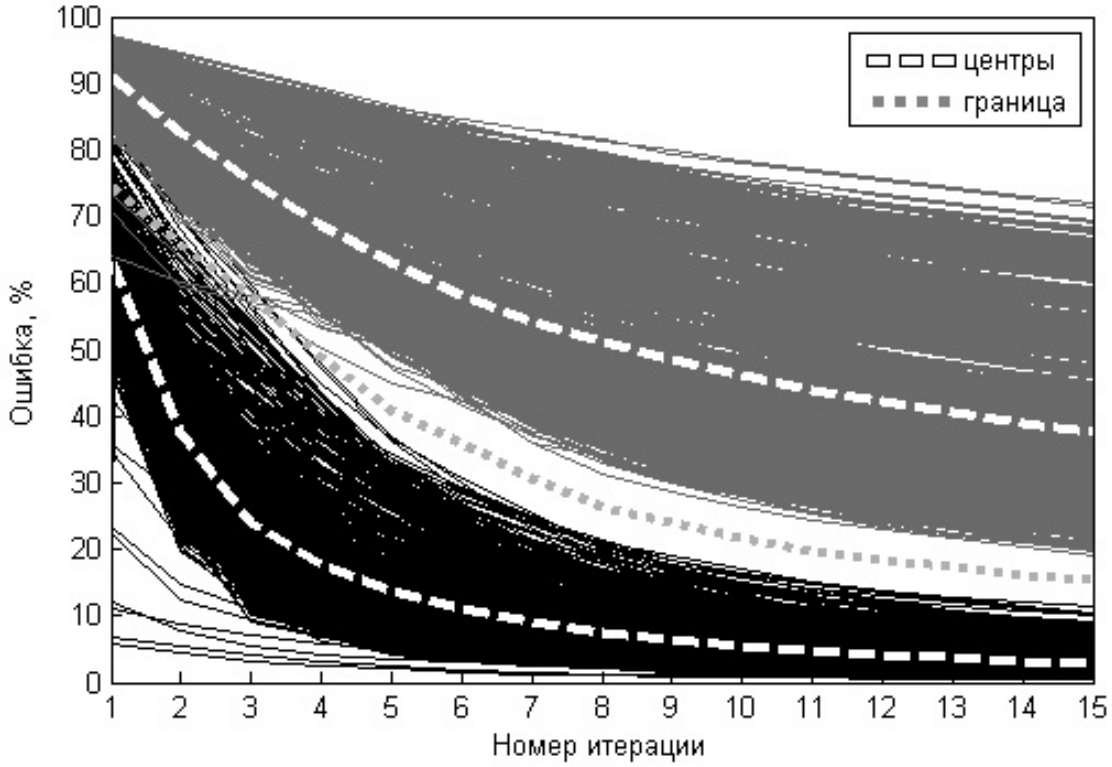

Рис. 2. Граница областей и центры классов

ных объектах (см. табл.). Наиболее эффективным по проценту корректно определенных объектов оказалось правило, полученное третьим способом.

Таблица

Результаты тестирования решающих правил.

Тип объекта	Всего	Кол-во неправильно определенных объектов	Процент правильно определенных объектов
Импульсы	3899	8	99,78%
Шум	1124	0	100%
Центры классов			
Импульсы	3899	6	99,85%
Шум	1124	0	100%

Для проверки робастности алгоритма обнаружения импульсов на основе метода согласованного преследования был проведен следующий эксперимент. Было отобрано 200 слабо зашумленных импульсов, не включенных в обучающую выборку, к каждому из них последовательно до тех пор, пока алгоритм не давал ложный результат,

прибавлялся белый шум все большей амплитуды. Эксперимент показал, что алгоритм дает ложный результат в среднем при соотношении сигнал – шум, равном 3.4 Дб. На рис.3 представлен график зависимости процента правильного распознавания от соотношения сигнал – шум (SNR).

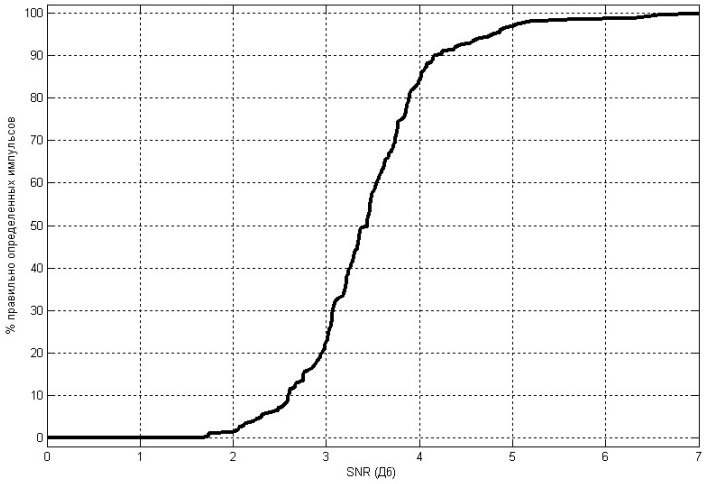

Рис. 3. График зависимости процента правильного распознавания от SNR

Заключение

Разработанный алгоритм был протестирован на сигнале длиной 10000 отсчетов. На вход алгоритма посылались участки, вырезанные скользящим окном длительностью 8 мс. Для участков, содержащих импульс, частотно-временное разложение сохранялось. В результате были выявлены все импульсы, присутствующие в сигнале, за исключением сильно зашумленных и искаженных (рис.4).

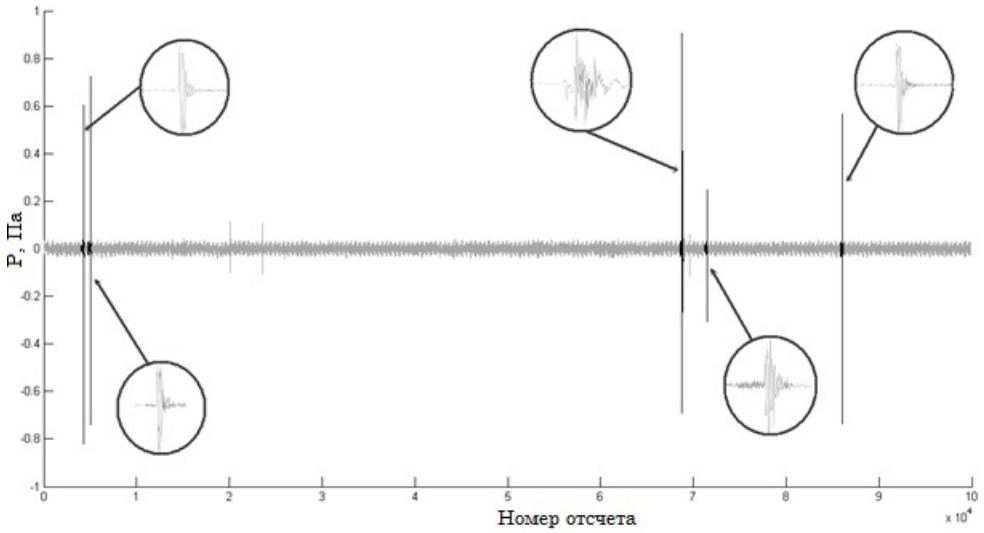

Рис. 4. Эксперимент на реальных данных

Библиографический список

1. Марапулец Ю.В., Шевцов Б.М. Мезомасштабная акустическая эмиссия. – Владивосток: Дальнаука, 2012.

2. Малла С. Вэйвлеты в обработке сигналов. М.: Мир, 2005. – 672 с.

3. Марапулец Ю.В., Тристанов А.Б. Применение метода разреженной аппроксимации в задачах анализа сигналов геоакустической эмиссии // Цифровая обработка сигналов. 2011. №2. С.13-17.

4. Марапулец Ю.В., Тристанов А.Б. Разреженная аппроксимация акустических временных рядов с использованием частотно-временного словаря Берлаге// Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова. Серия: Цифровая обработка сигналов и её применение. 2012. Выпуск: XIV; Том-1, С. 91-94.

Поступила в редакцию / Original article submitted: 19.11.2013

Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2013. № 2(7). С. 74-77. ISSN 2079-6641

DOI: 10.18454/2079-6641-2013-7-2-74-77

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ

УДК 371.30+51

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ НА УРОКАХ ГЕОМЕТРИИ С ЦЕЛЬЮ РАЗВИТИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ УМЕНИЙ И НАВЫКОВ УЧАЩИХСЯ

Х.А. Устатджаилова

Кокандский государственный педагогический университет им. Мукини, 113000, Узбекистан, Коканд, ул. Амира Темура, 37

E-mail: xurshida_ga@mail.ru

Данная статья посвящена обзору методики применения компьютерных средств обучения. Проведенная исследовательская работа показывает, что использование компьютера на уроке геометрии развивает умения и навыки учащихся, делая процесс обучения более эффективным.

Ключевые слова: обучение, умения и навыки, компьютерная программа, компьютерная презентация

© Устатджаилова Х.А., 2013

TEACHING OF MATHEMATICS

MSC 97D40

USE OF COMPUTER MEANS OF TEACHING THE LESSONS OF GEOMETRY WITH A VIEW TO THE DEVELOPMENT OF THE GEOMETRIC SKILLS OF STUDENTS

Kh. A. Ustadjalilova

Kokand State pedagogical Institute by Mukimi, 113000, Uzbekistan, Kokand, Amira Temura st. 37

E-mail: xurshida_ga@mail.ru

This article reviews the methods of application of learning software. Conduct research shows that using a computer on a geometry lesson develops skills of students, making the learning process more effective.

Key words: education and skills, computer software, computer presentationUstadjalilova Kh. A.

© Ustadjalilova Kh. A., 2013

Введение

Применение компьютера в процессе обучения, по существу, представляет формирующий эксперимент, направленный на изучение и развитие новых качеств личности. Важным для современного периода компьютеризации образования является осознание того факта, что использование компьютерных технологий позволит сделать процесс обучения более эффективным, если их применять как инструмент познания, а не передачи знаний. Рассмотрим использование компьютера на уроке геометрии с целью развития геометрических умений и навыков. Напомним принятые классификацию Н.А. Лошкаревой, которая выделила четыре группы общеучебных умений и навыков [1]

- учебно-организационные;
- учебно-интеллектуальные;
- учебно-коммуникативные;
- учебно-информационные.

С внедрением компьютера на уроках геометрии появляется необходимость добавления пятой группы умений - учебно-технологических умений, которая включает в себя следующие умения и навыки:

- набирать текст в среде текстового редактора;
- выполнять основные операции над текстом в среде текстового редактора;
- сохранять информацию на диске, загружать его с диска, выводить на печать;
- строить изображения в среде графического редактора;
- создавать расчетную электронную таблицу в среде табличного процессора;
- редактировать содержимое расчетной таблицы в среде табличного процессора;
- работать с гипертекстом, звуком, графикой в среде мультимедийных программ и т.д.

Указанные умения являются сложными по своему составу и включают в себя ряд простых умений и навыков, формирование которых необходимо производить поэтапно.

Как одним из первых этапов, предлагаем использование осуществления контроля знаний используя тематические тесты (тестирующие программы). Как правило, источником тестов могут служить мультимедиа компакт-диски с обучающими программами типа электронный учебник-справочник «Планиметрия» [2].

Помимо этого, существуют специализированные компьютерные программы (приложения), так называемые генераторы тестов, которые позволяют создавать тестирующие программы. В этом случае учитель самостоятельно программирует ход тестирования и вопросы теста. В этой работе учитель на уроке геометрии может опираться на помощь учителя информатики.

Следующим этапом предлагаем использование компьютера как средства моделирования различных пространственных фигур и преобразований плоскости, тем самым развивая конструктивные умения и навыки. При этом можно использовать современные информационные технологии для иллюстрирования учебного материала, (например, так называемые, анимированные слайд-фильмы).

Как известно, наиболее часто применяем компьютерные средства в обучении, используя их для аудиторных, аудиторно-самостоятельных и самостоятельных занятий. Отметим, что при проведении лекционных занятий до сих пор самым распространенным средством для визуализации новой информации являются доска и мел. Иногда используются дополнительные средства, а именно, плакаты, изданные типографским способом или, что чаще бывает, подготовленные самостоятельно преподавателем или студентами, используется кинопроекционная аппаратура, слайд-проекторы и другие технические средства обучения. Следует, однако, заметить, что все вышеперечисленные способы наглядной демонстрации, несмотря на ряд преимуществ, имеют также серьезные недостатки. Во-первых, при чтении лекции в большой аудитории, в конце аудитории некоторые изобразительные и текстовые элементы становятся не видны. Во-вторых, тиражирование плакатов, фильмов и пр. занимает продолжительное время и имеет высокую себестоимость. Поэтому в связи с вышесказанным, обновление дидактических материалов, которое периодически необходимо выполнять, в связи с развитием науки или при изменении учебной программы, вызывает определенные трудности. Применение компьютерных презентаций решает данные проблемы.

Особый практический интерес представляет роль компьютерных средств в обучении геометрии в связи с тем, что их использование способно не только повысить эффективность обучения за счет наглядного представления информации, оказывающего положительное влияние на формирование и развитие гибкого геометрического мышления, но и создает представление о профессиональной деятельности, связанной с проектированием, конструированием и другой обработкой визуальной информации.

Компьютер может быть использован на самых различных этапах обучения геометрии, и это применение основано, прежде всего, на его графических и вычислительных возможностях. Решая проблему развития геометрических умений и навыков учащихся академического лицея, с применением компьютера в процессе обучения геометрии, следует исходить не столько из функциональных возможностей компьютера и желания использовать его в учебном процессе, сколько из методической системы обучения геометрии, предлагаемой нами. А именно, системы методики решения задач с использованием метода геометрических преобразований и показать при этом одно из основных назначений компьютера в обучении геометрии - исследование геометрических моделей. Это в свою очередь развивает пространственное представление и компьютер выступает в роли эффективного средства для наглядной иллюстрации понятий, демонстрирования чертежей и рисунков.Возможность компьютера представлять динамику графических изображений как никакая другая изменяет характер преподавания геометрии: геометрические фигуры могут описываться с помощью процедур, а не только уравнений.

Компьютер может сыграть роль средства активного диалога в работе учащихся с моделями геометрических фигур, их развертками, средства развития у учащихся конструктивных умений. Компьютер является эффективным средством формирования у учащихся умений и навыков графического конструирования. Большое значение имеет компьютер в обучении доказательству теорем.

В учебниках геометрии все теоремы предлагаются учащимся в готовом виде.

Компьютер же позволяет поставить каждого учащегося в условия первооткрывателя теоремы. Это можно сделать в форме «компьютерного эксперимента» [3]. Компьютер позволяет организовать эффективную работу учащихся над формулировкой теоремы. Одна из сложностей в работе над теоремой состоит в том, что учащимся трудно дается перевод ее словесной формулировки в символическую запись по обозначениям соответствующего чертежа. Компьютер может значительно облегчить эту работу.

Библиографический список

1. Лошкарева Н.А. Рекомендации о развитии общих умений и навыков школьников. Киев: 1984. с.17.

2. http://education.kudits.ru/homeandschool. Дистанционный курс. Электронный учебник-справочник «СТЕРЕОМЕТРИЯ» наглядно и доступно.

3. Султанова Х. Методика развития геометрических умений и навыков учащихся академических лицеев // Узлуксиз таълим. 2004. № 6. С. 57-65.

Поступила в редакцию / Original article submitted: 24.11.2013

Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2013. № 2(7). С. 78-83. ISSN 2079-6641

DOI: 10.18454/2079-6641-2013-7-2-78-83

УДК 371.30+51

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИЁМЫ ТВОРЧЕСКОГО ПОДХОДА В ОБУЧЕНИИ ТЕОРИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

М.М. Эсонов

Кокандский государственный педагогический университет им. Мукини, 113000, Узбекистан, Коканд, ул. Амира Темура, 37

E-mail: xurshida_ga@mail.ru

В статье раскрываются некоторые аспекты творческого подхода в обучении теории изображений.

Ключевые слова: обучение, методические приемы, теория изображений

© Эсонов М.М., 2013

MSC 97D40

INSTRUCTIONAL TECHNIQUES CREATIVE APPROACH IN TEACHING THEORY IMAGES

M. M. Esonov

Kokand State pedagogical Institute by Mukimi, 113000, Uzbekistan, Kokand, Amira Temura st. 37

E-mail: xurshida_ga@mail.ru

The article describes some aspects of a creative approach to teaching the theory of images.

Key words: training, instructional techniques, theory of image

© Esonov M. M., 2013

Ведение

Обучение будущих учителей математики теории изображений отличается ярко выраженной спецификой. Оно имеет целью не только обеспечивать соответствующую базовую подготовку, но и несёт профессионально-педагогическую нагрузку. При этом базовая подготовка включает два основных компонента: формирование знаний о различных методах изображений и их теоретическое обосновании, а также умения применять эти методы для решения различных задач. Профессионально – педагогическая направленность изучения предмета накладывает отпечаток на оба названные компонента: будущему учителю математики необходимо:

- знание метода изображений, которые можно использовать в школьной практике;
- умение выбирать в конкретной ситуации наиболее подходящий метод;
- умение использовать чертёж, выполняемый в условиях школьного преподавания.

Названная особенность в преподавании теории изображений в педвузе обусловливает необходимость, наряду с изложением её на базе курса проективной и аффинной геометрии рассматривать основные вопросы с точки зрения элементарной геометрии; применять изучаемые методы для изображения фигур и их комбинаций, встречающихся в школьной практике.

Другая особенность, которую необходимо учесть при организации изучения теории изображений, обусловлена спецификой предмета начертательной геометрии. В него входит, в частности, разработка методов построения изображений пространственных фигур на плоскости; рассмотрение способов графического решения задач на пространственные фигуры с помощью их двухмерного изображения; изучения геометрических свойств фигур по их изображениям. Поэтому в процесс изучения предмета студенты сталкиваются с необходимостью выделять, дифференцировать аффинные и метрические свойства фигур, сопоставлять и противопоставлять их. В преподавании теории изображений должна быть отражена взаимосвязь двухмерных и трёхмерных объектов. Это, в свою очередь влечёт необходимость совместного изучения изображений плоских и пространственных объектов в геометрии.

Специфика содержания теории изображений обусловливает определённые особенности её усвоения. Это требует определения конкретного содержания приёмов. Для полноценной её реализации в обучении теории изображений определим их сущность и роль в формировании целостного представления о предмете изучения и общих приёмов решения, связанных с ним задач, обозначим влияние каждого приёма на усвоение тех или иных укрупнённых единиц учебного материала.

Творческий подход

В обучение геометрии приём совместности и одновременности изучения родственных единиц содержания выполняет основную функциональную нагрузку по реализации укрупнённого подхода к учебному материалу. Этот приём творческого подхода направлена на сближение (пространственное и временное) в изучении взаимосвязанных элементов укрупнённой единицы содержание предмета, способствующее увеличению количества существенных связей и отношений, которые воспринимаются, осознаются и усваиваются студентами, с целью достижения целостных знаний.

Реализация этого приёма в соответствии со спецификой содержания теории изображений предусматривает:

- сближение в изучении различных методов изображений;
- применение на одном занятии нескольких методов для изображения, данного геометрического объекта;
- одновременное рассмотрение отдельных вопросов на основе фактов проективной и элементарной геометрии.

Рассмотрим названные выше пути конкретизации приёма совместного и одновременного изучения родственных единиц содержания теории изображений.

Так, процесс творческий подход в обучении теории изображений предусматривает сближение в изучении различных методов изображений, традиционно рассматривающихся в линейной последовательности. При этом под временным сочинением методов изображений понимается соблюдение принципа минимального временного интервала при изучении родственных единиц содержания предмета, который способствует формированию прочных, связей в кратковременной памяти. Являясь основной для понимания и запоминания изучаемого материала, такие связи переходят затем в долговременную память [1].

Между тем как в условиях более длинных временных интервалов связи в кратковременной памяти не образуются. То есть для более быстрого и прочного усвоения связей в учебном материале суммарный временной интервал между изучением родственных единиц содержания должен быть минимальным. Пространственное совмещение материала осуществляется путём использования средств ёмкого и обзорного выражения информации (схемы, матрицы), обеспечивающих более лёгкое по сравнению с линейным предъявлением её восприятие и формирование целостного представления о предмете изучения.

Временное и пространственное сближение методов изображений удаётся достичь посредством рассмотрения их на основе единой модели-схемы, приведённой ниже в виде таблицы.

Таблица

Модель-схема методов изображений

На плоскости	В пространстве	
	Чаще	Реже
Точка	Точка	прямая
Прямая	Плоскость	Цилиндрическая поверхность
Окружность	Сфера	шар
Круг	Шар	-
Параллельные прямые	Параллельные плоскости	-
Треугольник	Тетраэдр	-
Многоугольник	Многогранник	-
Сторона многоугольника	Грань многогранника	Ребро многогранника

С помощью матрицы целесообразно представить информацию о различных видах аксонометрических проекций.

Как приём творческий анализ при изучении теории изображений мы рассматриваем также одновременное применение нескольких методов для изображения, данного геометрического объекта: например, выполнение изображения в параллельной проекции и по методу Монжа или аксонометрии и на эпюре. Такой приём позволит в процессе сравнительного анализа нескольких методов, применённых в одной задаче, развивать пространственные представления студентов, умения находить адекватное расположение фигуры относительно плоскостей проекций, выбирать метод изображения, в наибольшей степени отвечающей целям использования чертежа.

Увеличению количества существенных связей и отношений, которые усваивают студентами при изучении методов изображений, способствует одновременное рассмотрение отдельных вопросов на основе фактов аффинной, проективной и элементарной геометрии. Например, хотя доказательство основных свойств параллельного проектирования опирается на соответствующий материал курса аффинной геометрии, целесообразно рассмотреть и элементарное доказательство этих свойств.

Необходимо также применять на практических занятиях и те методы решения основных позиционных и метрических задач, которые непосредственно используются в школьном курсе геометрии. При отборе содержания лекционных и практических занятий следует обращаться к школьным учебникам за примерами, иллюстрирующими излагаемые положения теории изображений.

Всестороннее изложение учебного материала на такой основе, показ различных способов введения одного и того же понятия, решения задачи, обоснования утверждения способствуют более глубокому и прочному усвоению теории изображений. При этом осознают и усваивают связи между различными разделами курса геометрии педвуза. Кроме того, рассмотренный приём творческий подход при изучении методов изображений способствует реализации профессиональной направленности обучения, поскольку позволяет показать будущему учителю математики, как связан изучаемый в педвузе материал с тем, который предстоит преподавать в школе, где в своей дальнейшей деятельности можно использовать полученные знания.

Таким образом, в результате организации учебного материала теории изображений посредством рассмотренных приёмов творческий подход восприятие студентов направленно в первую очередь на связи между единицами изучаемого содержания, что способствует лучшему усвоению большого объёма информации при одновременном сокращении расхода учебного времени и более длительному сохранению этой информации в памяти.

Соотнося приём изучения противоположных объектов (явлений) как диалектических частей целого с содержанием теории изображений плоских и пространственных фигур; составления и решения взаимообратных задач.

Тезис о целесообразности сближения в обучении планиметрии и стереометрии был, выдвинут и логически обоснован более века назад Н.И.Лобачевским и Ф.Клейном. Однако до сих пор эта линия остаётся не до конца реализованной ни в школе, ни в педвузе.

Необходимость одновременного рассмотрения родственных вопросов планиметрии и стереометрии в их сопоставлении и противопоставлении обусловлена спецификой содержания теории изображений. В процессе её изучения рассматриваются отображения трёхмерных объектов на плоскости и создание по двухмерному изображению представления о пространственном объекте. Поэтому представляется целесообразным рассматривать изображения плоских и пространственных фигур в параллельной проекции одновременно.

Укрупнение единиц содержания предмета посредством обращения суждений приводит, в частности, к совместному рассмотрению взаимно обратных задач.

Задачей, обратной для данной называют такую, требованием которой является одно из условий данной, а условием – остальные условия данной задачи и её требование. Такое толкование задачи, обратной данной, как конкретизация понятия взаимообратных связей в задаче с точки зрения её структуры, мы находим в работах П.Э.Эрдниева.

Составление и решение задач, обратной данной, способствует установлению разнообразных связей, заключённых в решении данной задачи, то есть позволяет извлечь дополнительную информацию, а именно информацию связи.

Можно выделить следующие особенности составления и решения задач, обратной данной:

1) В процесс составления задачи, обратной данной, студенты выявляют и используют взаимообратные связи между величинами задачи.

2) Одно и тоже понятие, фигура, величина, отношение входит в несколько различных суждений и находится существенно иными способами рассуждения.

3) Решая задачу, обратную данной, студенты самостоятельно перестраивают суждения и умозаключения, используемые при решении прямой задачи. При этом они устанавливают новые связи между ранее известными фактами.

Таким образом, совместное рассмотрение прямой и обратной задачи требует использования взаимно обратных действий, противоположных ходов мысли, что обеспечивает развитие гибкости мыслительных процессов студентов.

Вообще, составление и решение задач – процессы взаимосвязанные и диалектически противоположные. Решающий задачу, исходя из данного и требуемого, восстанавливает структуру задачи. Составляющий исходит из этой структуры, разрывая данное и требуемое. Конструирование задач студентами заставляет применять рассуждения, обратные применяемым при обычном решении задач. Тем самым обеспечивается развитие у студентов способности осуществлять и мышление в противоположных направлениях.

Использовании аналогии как приема творческого подхода в обучении геометрии представляется целесообразным потому, что она является основной логической систематизации и интеграции математических знаний, а также мощным средством развития творческого мышления студентов.

Такая роль аналогии связана с закономерностями человеческого мышления, «Каждый данный момент в нашем мозгу происходит сканирование впечатлений, сопоставление наблюдений с уже сформировавшимися образами, что, в конечном счёте, приводит к некоторому предварительному заключению. Одна из отличных особенностей этой процедуры состоит в широком использовании аналогий и прототипов» [2].

Аналогия – это сходство предметов, явлений в каких – либо свойствах, признаках или отношениях, причём таких предметов, которые в целом различны [3]. При умозаключениях по аналогии знание, полученное из рассмотрения какого-либо объекта, переносится на другой, менее изученный (или менее доступный для исследования, менее наглядный и т.п.) в каком-либо смысле объект. По отношению к конкретным объектам заключения, получаемые по аналогии, носят как правило, лишь правдоподобный характер и подлежат исследованию и доказательству.

Существуют различные типы выводов по аналогии. Согласно А.И. Уемову [1], общим для них является то, что во всех случаях непосредственному исследованию подвергается один предмет, а вывод делается о другом предмете. Поэтому вывод по аналогии в самом общем смысле слова определяется как перенос информации с одного предмета на другой. Предмет, который является непосредственным объектом исследования, называется моделью, а предмет, на который переносится информация, добытая в результате изучения модели, называется оригиналом (образцом, прототипом). Исходя из этого, аналогия определяется, как отношение между любой моделью и её оригиналом (прототипом).

Творческий подход с помощью аналогии в решении математических задач помогает находить заимосвязь понятий, теорем, задач и возможности их совместного и одновременного изучения. Сходные свойства, признаки или отношения между объектами сближаются посредством умозаключений по аналогии.

Заключение

Так, специфика содержания темы «Методы изображений» создаёт основу для использования аналогии свойств плоских и пространственных структур как приёма творческого подхода, обеспечивающего совместное и одновременное изучение изображений двухмерных и трёхмерных объектов.

Библиографический список

1. Орлов В.В. Построение основного курса геометрии общеобразовательной школы в концепции личностно ориентированного обучения: автореф. дис. ...д-ра. пед. наук. Спб. 2000. 42 с.

2. Рахмонов И.Я. Методическая подготовка преподавателя математики в республике Узбекистан // Молодой учёный. 2011. №6. С. 158-160.

3. Лужников И.Д. Профессиональная адаптация выпускников педагогических вузов. М.: Просвещение, 1991. 205 с.

Поступила в редакцию / Original article submitted: 16.11.2013

IV МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ«НЕЛОКАЛЬНЫЕ КРАЕВЫЕ ЗАДАЧИ И РОДСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ БИОЛОГИИ, ИНФОРМАТИКИ И ФИЗИКИ» 4–8 декабря 2013 г. Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик – пос. Терскол (Приэльбрусье)

Информационное письмо

Глубокоуважаемые коллеги!

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-исследовательский институт прикладной математики и автоматизации Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук (НИИ ПМА КБНЦ РАН), Международный институт математики, нано- и информационных технологий Адыгской (Черкесской) Международной академии наук (МИМНИТ АМАН) с 4–8 декабря 2013 года проводят IV Международную конференцию «Нелокальные краевые задачи и родственные проблемы математической биологии, информатики и физики» и XI Школу молодых ученых «Нелокальные краевые задачи и проблемы современного анализа и информатики».

Мероприятия приурочены к 75-летию доктора физико-математических наук, профессора; заслуженного деятеля науки Российской Федерации, Кабардино-Балкарской Республики, Карачаево-Черкесской Республики и Республики Адыгея; основателя и Президента Адыгской (Черкесской) Международной академии наук; действительного члена Адыгской (Черкесской) Международной академии наук, Российской академии естественных наук, Петровской академии наук и искусств; почетного академика Академии наук Абхазии, Испанской академии наук, технологии и профессионального образования; дважды лауреата государственной премии Кабардино-Балкарской Республики в области науки и техники А.М. Нахушева.

Рабочие языки конференции – русский и английский.

Оргкомитет конференции

Председатель: Нахушев А.М. (НИИ ПМА КБНЦ РАН, МИМНИТ АМАН, Россия, Нальчик).

Члены оргкомитета: Алероев Т.С. (Россия, Москва), Гварамия А.А. (Абхазия, Сухум), Дженалиев М.Т. (Казахстан, Алматы), Жегалов В.И. (Россия, Казань), Зарубин А.Н. (Россия, Орел), Иванов П.М. (Россия, Нальчик), Кальменов Т.Ш. (Казахстан, Алматы), Кожанов А.И. (Россия, Новосибирск), Кусраев А.Г. (Россия, Владикавказ), Мейланов Р.П. (Россия, Махачкала), Моисеев Е.И. (Россия, Москва), Нахушева В.А. (Россия, Нальчик), Озтюрк И. (Турция, Кайсери), Петров И.Б. (Россия, Москва), Попиванов Н.И. (Болгария, София), Прилепко А.И. (Россия, Москва), Псху А.В. (Россия, Нальчик), Пулькина Л.С. (Россия, Самара), Раджабов Н.Р. (Таджикистан, Душанбе), Радойков А. (Македония, Штип), Репин О.А. (Россия, Самара), Руткаускас С. (Литва, Вильнюс), Сабитов К.Б. (Россия, Стерлитамак), Салахитдинов М.С. (Узбекистан, Ташкент), Салихов К.М. (Россия, Казань), Сербина Л.И. (Россия, Нальчик), Солдатов А.П. (Россия, Белгород), Сухинов А.И. (Россия, Таганрог), Учайкин В.В. (Россия, Ульяновск), Шхануков-Лафишев М.Х. (Россия, Нальчик).

Ученый секретарь: Энеева Л.М. (Россия, Нальчик)

Основные направления работв конференции

В ходе работы конференции будут рассмотрены актуальные проблемы и современное состояние научных исследований в области обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных, локальных и нелокальных краевых задач, дробного исчисления, теории фракталов, моделирования нелокальных процессов и сред с памятью, уравнений состояния вещества и наносистем; оптимального управления, интеллектуальных систем и систем информационной безопасности.

Будут работать следующие секции:

1. Краевые задачи для дифференциальных уравнений, родственные проблемы теории функций и функционального анализа.

2. Дробное исчисление и анализ на фракталах.

3. Математическое моделирование нелокальных физических, биологических и социально-экономических процессов, явлений самоорганизации в средах с фрактальной структурой и памятью.

4. Теория обучения машин и интеллектуального анализа данных и знаний. Открытие конференции состоится в г. Нальчике 5 декабря 2013 г. Проведение конференции планируется в Приэльбрусье – пос. Терскол.

Заявка на участие

Зарегистрироваться для участия в конференции можно на сайте конференции или отправить заявку по электронной почте на адрес конференции vkmy@niipma.ru.

Регистрация открыта до 28.10.2013 г.

Заявка включает следующие поля: 1. Фамилия, имя, отчество.

2. Название организации (полное и сокращенное).

3. Должность, ученая степень, ученое звание.

4. Дата рождения.

5. Почтовый адрес организации.

6. Телефон, факс.

7. E-mail.

8. Название доклада.

9. Вид доклада (пленарный – 30 мин., секционный – 15 мин., стендовый).

10. Номер секции.

11. Форма участия (очное с докладом, очное без доклада в качестве слушателя, стендовый доклад, заочное с публикацией доклада в сборнике материалов, участие в web-конференции).

Регистрация будет признана успешной в случае обязательного заполнения всех полей.

Правила оформления материалов доклада

Объём доклада – не более 4 страниц формата A5, 11 pt, набранных с использованием пакета LaTeX с заголовком формата:

```
\documentclass[11pt]{article}
\textwidth=108mm
```

```
\textheight=165mm
\begin{document}
УДК
\begin{center}
{\bf Фамилия И.О.}\\
{\bf Название}\\
Название организации (страна, город)\\
e-mail: электронный адрес почты
\end{center}

Текст материалов

\smallskip
\centerline{\bf Литература}
\begin{enumerate}
\item {\it Фамилия1 И.О., Фамилия2 И.О.} Название книги.
 Город: Изд-во, год. Кол-во страниц с. \\
\item {\it Фамилия1 И.О., Фамилия2 И.О.} Название статьи
 // Название журнала. Год. Т. Номер тома, № Номер журнала. С. - ...
\end{enumerate}
\end{document}
```

Автоматические ссылки на формулы и список литературы не допускаются. Электронный вариант шаблона оформления материалов можно найти на сайте конференции.

Электронный вариант заявки и материалов доклада (tex-файл, jpg или pdf-файл, содержа-щий отсканированный бумажный вариант статьи с подписями авторов на первой странице) следует направлять по адресу vkmy@niipma.ru до 28.10.2013 г. В случае наличия соавторов статьи необходимо представить акт о разграничении авторских прав (форму акта о разграничении авторских прав можно найти на сайте конференции).

Имя файла должно состоять из фамилии автора и инициалов, написанных латинскими буквами, например если автор статьи Иванов Иван Петрович, то файл должен называться IvanovIP.tex, IvanovIP.pdf, IvanovIP.jpg, IvanovIP.zip, IvanovIP.rar.

Включение доклада в программу работы конференции будет проводиться на основании решения экспертной комиссии Оргкомитета. После заключения о возможности опубликования материалов доклада автору будет выслано промежуточное информационное сообщение.

Условия публикации:

1. Положительное решение экспертной комиссии.

2. Оплата публи-кационного взноса для участия в конференции в размере 500 руб., для участия в школе в размере 300 руб. (в стоимость входят почтовые расходы по пересылке).

Сборники материалов IV Международной конференции «Нелокальные краевые задачи и родственные проблемы математической биологии, информатики и физики» и XI Школы молодых ученых «Нелокальные краевые задачи и проблемы современного анализа и информатики» планируется издать к началу конференции. Рассылка сборника заочным участникам будет проведена после окончания конференции.

Контактная информация

Почтовый адрес: 360000, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89А, НИИ ПМА КБНЦ РАН, IV Международная конференция «Нелокальные краевые задачи и родственные проблемы математической биологии, информатики и физики» и XI Школа молодых ученых «Нелокальные краевые задачи и проблемы современного анализа и информатики»

E-mail: niipma@mail333.com; vkmy@niipma.ru

Телефоны: (8662)42-38-76, (8662)42-20-29

8(988)921-22-23 – ученый секретарь Энеева Лиана Магомедовна

Факс: 8(8662)42-70-06

Адрес сайта конференции: www.vkmy.niipma.ru

Адрес сайта НИИ ПМА КБНЦ РАН: www.niipma.ru

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С УЧАСТИЕМ УЧЕНЫХ ИЗ СТРАН СНГ «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ» 21–23 НОЯБРЯ 2013 Г. Г. ТАШКЕНТ

Первое информационное сообщение

Институт математики совместно с механико-математическим факультетом Национального университета Узбекистана организуют республиканскую научную конференцию с участием ученых из стран СНГ "Современные проблемы дифференциальных уравнений и их приложения". Конференция будет проходит в г. Ташкенте с 21 по 23 ноября 2013 года.

Организационный комитет

Мухамедов Г.И. – председатель;
Аюпов Ш.А. – сопредседатель;
Салахитдинов М.С. – сопредседатель;
Алимов Ш.А. – сопредседатель;
Шоимкулов Б.А. – зам. председателя;
Ашуров Р.Р. – зам. председателя.

Члены оргкомитета

Азамов А. (Ташкент, Узбекистан), Арипов М.М. (Ташкент, Узбекистан), Бердышев А.С. (Алматы, Казахстан) , Дженалиев М.Т. (Алматы, Казахстан), Дурдиев Д. (Бухара, Узбекистан), Егоров И.Е. (Якутск, Россия), Зикиров О.С. (Ташкент, Узбекистан), Ильин В.А. (Москва, Россия), Исломов Б. (Ташкент, Узбекистан), Кальменов Т.Ш. (Алматы, Казахстан), Кожанов А.И. (Новосибирск, Россия), Мирсабуров М. (Термез, Узбекистан), Моисеев Е.И. (Москва, Россия), Нахушев А.М. (Нальчик, Россия) , Отелбаев М. (Алматы, Казахстан), Псху А.В. (Нальчик, Россия), Пулькина Л.С. (Самара, Россия), Репин О.А. (Самара, Россия), Сабитов К.Б. (Стерлитамак, Россия), Садуллаев А. (Ташкент, Узбекистан), Сербина Л.И. (Нальчик, Россия), Солдатов А.П. (Новгород, Россия), Тахиров Ж.О. (Ташкент, Узбекистан), Уринов А.К. (Фергана, Узбекистан), Фармонов Ш.К. (Ташкент, Узбекистан),

Хасанов А. (Ташкент, Узбекистан), Хасанов А.Б. (Ургенч, Узбекистан) , Халмухамедов О.Р. (Ташкент, Узбекистан), Шодиметов Х. (Ташкент, Узбекистан).

Программный комитет

Азамов А. (Ташкент, Узбекистан),
Арипов М.М. (Ташкент, Узбекистан),
Зикиров О.С. (Ташкент, Узбекистан),
Исломов Б. (Ташкент, Узбекистан),
Садыбеков М.А. (Алматы, Казахстан),
Касимов Ш.Г. (Ташкент, Узбекистан),
Мирсабуров М. (Ташкент, Узбекистан),
Нахушева В.А. (Нальчик, Россия),
Омиров Б.А. (Ташкент, Узбекистан),
Худойберганов Г. (Ташкент, Узбекистан),
Фаёзов К.С. (Ташкент, Узбекистан),
Шарипов О.Ш. (Ташкент, Узбекистан),
Шодиметов Х. (Ташкент, Узбекистан).

Секретариат

Исломов Б.,
Исамухамедов С.,
Мамадалиев Н.К.,
Рузиев М.Х.,
Кадиркулов Б.Ж.,
Курбонов О.,
Абдуллаев О.Х.,
Каримов Э.Т.,
Абдукодиров А.Т.,
Мадрахимова З.С.

Научная программа конференции

Научная программа конференции охватывает следующие направления: обыкновенные дифференциальные уравнения, уравнения с частными производными, уравнения математической физики, теория операторов, спектральная теория, функциональные пространства, теоремы вложения, теория приближений, математическое моделирование, а также другие направления, связанные с теорией дифференциальных уравнений.

Программа конференции будет включать пленарные доклады, секционные и стендовые доклады.

Основные секции конференции

1) краевые задачи для вырождающихся уравнений и уравнений смешанного типа;
2) неклассические задачи математической физики;
3) спектральная теория операторов и родственные проблемы анализа;
4) динамические системы, оптимальные управления и теория игр;
5) теория операторных алгебр.

Рабочие языки конференции – узбекский и русский.

Регистрация

Для регистрации следует заполнить прилагаемую ниже регистрационную форму, которую после заполнения следует прислать по адресу conf.tashkent@gmail.com.

Окончание регистрации участников: **15 сентября 2013 г.**

Регистрационный взнос для участников конференции из Узбекистана установлен в размере 40000 сум, а для участников конференции из России и стран СНГ установлен в размере 50 долларов США (оплата принимается в сумах по официальному курсу доллара центр. банка РУз на день оплаты). Информация о сроках и способах оплаты регистрационного взноса будет размещен на сайте конференции.

Тезисы

К началу конференции планируется опубликовать сборник тезисов. Объем тезиса не более двух страниц по шаблону:

```
\documentclass[a4paper,12pt]{article}
\usepackage{amsmath, amsfonts, amssymb}
\usepackage[english, russian]{babel}
\textheight = 230mm \textwidth = 160mm \topmargin = -2mm
\oddsidemargin=6mm \evensidemargin=6mm \makeindex
\begin{document}
\textit{УДК 517.xxx}
\begin{center}\textbf{Название тезиса}
\medskip
\textbf{\verb"Авторы"}
\smallskip
\textit{noname@mail.ru}
\end{center}
Текст доклада
Например: Рассмотрим уравнение
$$
Lu = f(x,y)\eqno (1)
$$
в области $\Omega$. Это уравнение изучен в работе [1].
\textbf{Задача.} Найти решение уравнения (1), удовлетворяющее ...
\begin{center}
\textbf{Литература}
\end{center}
1. \textbf{Автор.} \emph{Название статьи} //
Журнал.-год.-No *.- С.11-12.
\end{document}
```

Срок представления тезисов до **1 октября 2013 г.**

РЕГИСТРАЦИОННАЯ ФОРМА

Личные данные		
Фамилия *		
Имя *		
Отчество *		
Фамилия * (латинскими буквами)		
Имя * (латинскими буквами)		
Место работы * (полное название организации)		
Должность *		
Ученая степень *		
Информация о планируемом докладе		
Планируете ли выступить с докладом? *	да ?	нет ?
Пожалуйста, укажите вид доклада *	пленарный доклад ? секционный доклад ?	стендовый доклад ?
Пожалуйста, укажите одну из секций *	1. Краевые задачи для вырождающихся . . . ? 2. Неклассические задачи . . . ? 3. Спектральная теория . . . ? 4. Динамические системы . . . ? 5.Теория операторных . . . ?	
Предполагаемое название доклада *		
Адрес для корреспонденции (рабочий или домашний)		
Индекс		
Страна *		
Город *		
Улица		
Номер дома		
Номер квартиры (для домашнего адреса)		
Название организации (для рабочего адреса)		
Телефон		
Факс		
E-mail *		

* отмечены обязательные для заполнения пункты

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / ABOUT THE AUTHORS

Афанасьева Алина Александровна – ассистент кафедры информатика Камчатского государственного университета им. Витуса Беринга, аспирант Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН.

Afanas'eva Alina Alexandrovna – Assistent of Dept. Informatics, Vitus Bering Kamchatka State University, Postgraduate Student, Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS.

Богданов Вадим Васильевич – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией физика атмосферы Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН.

Bogdanov Vadim Vasil'evich – Dr. Sci. (Phys & Math), Head of Lab. Atmosphere Physics, Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS.

Водинчар Глеб Михайлович — кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией моделирования физических процессов Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, доцент, доцент кафедры математики и физики Камчатского государственного университета им. Витуса Беринга.

Vodinchar Gleb Mikhailovich – Ph.D. (Phys. Math.), Head of Lab. Modeling of physical processes, Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS, Associate Professor, Dept. Mathematics & Physics, Vitus Bering Kamchatka State University.

Ильин Игорь Александрович – кандидат физико-математических наук, доцент, профессор кафедры математики и физики Камчатского государственного университета им. Витуса Беринга, старший научный сотрудник лаборатории моделирования физических процессов Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН.

Iljin Igor Alexandrovich – Ph.D. (Phys. & Math.), Prof. of Dept. of Mathematics & Physics, Vitus Bering Kamchatka State University, Leading Research Scientist of Lab. Modeling of physical processes, Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS.

Кайсин Александр Владимирович – научный сотрудник лаборатории физика атмосферы Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН.

Kaisin Alexandr Vladimirovich – Scientist of Lab. Atmosphere Physics, Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS.

Луковенкова Ольга Олеговна – ассистент кафедры информатика Камчатского государственного университета им. Витуса Беринга, аспирант Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН.

Lukovenkova Olga Olegovna – Assistent of Dept. Informatics, Vitus Bering Kamchatka State University, Postgraduate Student, Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS.

Мельников Александр Николаевич – научный сотрудник лаборатории электромагнитных излучений Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН.

Melnikov Alexandr Nikolaevich – Researcher of Lab. Electromagnetic Radiation of the Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS.

Непомнящий Юрий Александрович – младший научный сотрудник лаборатории акустических исследований Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН.

Nepomnyashchiy Yuriy Aleksandrovich – Junior Researcher of Lab. Acoustic Research, Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS.

Нощенко Дмитрий Сергеевич – студент, Камчатского государственного университета им. Витуса Беринга.

Noshenko Dmitriy Sergeevich – Student, Vitus Bering Kamchatka State University.

Паровик Роман Иванович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории моделирования физических процессов Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, доцент филиала Дальневосточного федерального университета в г. Петропавловске-Камчатском.

Parovik Roman Ivanovich – Ph.D. (Phys. & Math.), Leading Research Scientist of Lab. Modeling of physical processes, Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS., Associate Professor of Branch of Far-Eastern Federal University in Petropavlovsk-Kamchatskiy.

Пережогин Андрей Сергеевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории моделирования физических процессов Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, доцент кафедры информатика Камчатского государственного университета им. Витуса Беринга.

Perezhogin Andrey Sergeevich – Ph.D. (Phys. & Math.), Leading Research Scientist of Lab. Modeling of physical processes, Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS., Associate Professor of Dept. Informatics, Vitus Bering Kamchatka State University.

Попова Ася Владимировна – научный сотрудник лаборатории математического моделирования Камчатского государственного университета им. Витуса Беринга, аспирант Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН.

Popova Asya Vladimirovna – Researcher of Lab. Mathematical Modeling Vitus Bering Kamchatka State University, Postgraduate Student, Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS.

Санников Дмитрий Викторович – научный сотрудник лаборатории электромагнитных излучений Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН.

Sannikov Dmitriy Viktorovich – Researcher of Lab. Electromagnetic Radiation of the Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS.

Сероветников Андрей Сергеевич – аспирант Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН.

Serovetnikov Andrey Sergeevich – Postgraduate Student, Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS.

Сивоконь Владимир Павлович – доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории электромагнитных излучений Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН.

Sivokon' Vladimir Pavlovich – Dr. Sci. (Tech.), Chief Researcher of the Lab. of Electromagnetic Radiation of the Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS.

Устатджалилова Хуршида Алиевна – кандидат педагогических наук, заведующая кафедрой математики Кокандского педагогического института им. Мукимий , Республика Узбекистан.

Ustadjalilova Khurshida Aliyevna – Ph.D. (Ped.), Head of Dept. Matematics, Kokand State pedagogical Institute, Republic of Uzbekistan.

Чернева Нина Володаровна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории электромагнитных излучений Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН.

Cherneva Nina Volodarovna – Ph.D. (Phys. & Math.), Leading Research Scientist of Lab. of Electromagnetic Radiation of the Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS.

Шевцов Борис Михайлович – доктор физико-математических наук, профессор, директор Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН.

Shevtsov Boris Mikhailovich – Dr. Sci. (Phys & Math), Head of Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS.

Шереметьева Ольга Владимировна – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории моделирования физических процессов Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, доцент кафедры математики и физики Камчатского государственного университета имени Витуса Беринга.

Sheremetyeva Olga Vladimirovna – Ph.D. (Tech.), Researcher of Lab. Modeling of physical processes, Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS., Associate Professor, Dept. of Mathematics and Physics, Vitus Bering Kamchatka State University.

Эсонов Минаввар Мукимжанович – старший преподователь кафедры математики Кокандского педагогического института им. Мукимий , Республика Узбекистан.

Esonov Minavvar Mukimzhanovich – Lecturer of Dept. Matematics, Kokand State pedagogical Institute, Republic of Uzbekistan.

ТЕМАТИКА ЖУРНАЛА И ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

В журнале «Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки» публикуются результаты фундаментальных и прикладных исследований в области физико-математических наук (математическое моделирование в естествознании и социально-гуманитарных системах, математическая физика, информационные и вычислительные технологии, нанотехнологии, математика и методика ее преподавания), в том числе результаты диссертационных исследований на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. В журнале также публикуются рецензии, информационные сообщения, сведения о научных мероприятиях, конгрессах, конфеенциях, симпозиумах, семинарах и т.д.

Журнал основан в августе 2010 г., зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия (свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-41501 от 04.08.2010 г.).

Журнал выходит 2 раза в год в печатной и электронной версиях (http://mfit.ikir.ru), включен в российский индекс научного цитирования (http://www.elibrary.ru). Полнотекстовая версия журнала размещается в электронной библиотеке КамГУ им. Витуса Беринга (http://bibl.kamgpu.ru).

Рассылка обязательных экземпляров журнала осуществляется согласно федеральному закону от 26.03.2008 г. № 28-ФЗ.

Рукописи аспирантов публикуются бесплатно.

На журнал можно оформить подписку по каталогу российской прессы «Почта России»: годовой подписной индекс – 83736, полугодовой – 83735.

Рецензирование

Журнал является рецензируемым. Для экспертной оценки рукописи привлекаются ведущие специалисты в области физико-математических наук. Все изменения (редакторская правка) согласовываются с автором рукописи. В случае признанения рукописи не соответсвующей правилам о представлении рукописей и / или отрицательной оценки экспертов (рецензентов), автор оповещается о необходимости в переработке рукописи или об отказе в ее публикации. В последнем случае редакция направляет автору мотивированный отказ.

Общие требования

1. В структуру статьи должны входить: на русском и английском языках название статьи, ФИО авторов, название учреждения, где выполнена работа, аннотация (резюме), ключевые слова, а также индексы статьи УДК и MSC. Далее введение, цель исследования, материал и методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, выводы или заключение, список литературы.

2. Таблицы должны содержать только необходимые данные и представлять собой обобщенные и статистически обработанные материалы. Каждая таблица снабжается заголовком и вставляется в текст после абзаца с первой ссылкой на нее.

3. Каждый рисунок должен иметь подпись (под рисунком), в которой дается объяснение всех его элементов. Рисунки можно предоставлять в форматах: jpg, png, eps.

4. Библиографические ссылки в тексте статьи следует давать в квадратных скобках в соответствии с упоминанием их в тексте. Список литературы для оригинальной статьи – не менее 5 и не более 25 источников. Для научного обзора – не более 50 источников. Список литературы составляется в алфавитном порядке – сначала отечественные, затем зарубежные авторы и оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 2008.

5. Объем статьи не должен превышать 15 страниц формата А4. Статья принимается в форматах tex или doc. Для статьи, подготовленной в издательской системе Latex необходимо воспользоваться журнальным классом mfitjournal.cls. Скачать его можно на сайте журнала http:/mfit.ikir.ru, а также поясняющий пример. Для статьи, набранной в Word необходимо придерживаться следующих требований: шрифт 14 pt, Times New Roman, интервал – 1.5, поля: слева, справа, верх, низ – 2см, включая таблицы, схемы, рисунки и список литературы.

6. К статье необходимо приложить на русском и английском языках информацию об авторах работы. Место работы, должность, степень, звания, адрес электронной почты.

7. Редакция оставляет за собой право на сокращение и редактирование статей.

8. Статьи, подписанные автором (авторами), отправляются по электронной почте секретарю журнала: romanparovik@gmail.com. Помимо статьи необходимо приложить следующие документы:

– сведения об авторах;

– две копии рецензии (по специальности работы);

– сканированная копия сопроводительного письма, подписанного руководителем учреждения, которое содержит информацию о тех документах, высылаемых автором (куда и с какой целью);

– копия экспертного заключения, содержащая информацию о том, что работа автора может быть опубликована в открытой печати и не имеет секретной информации, с подписью руководителя учреждения.

9. Оригиналы запрашиваются редакцией при необходимости на следующий адрес: 683032, Камчатский край, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, д. 4, Издательский центр КамГУ им. Витуса Беринга.

10. После списка литературы указываются сведения о рецензентах: ФИО, ученая степень, звание, должность, место работы, город, рабочий телефон.

11. Представляя текст работы для публикации в журнале, автор гарантирует правильность всех сведений о себе, отсутствие плагиата и других форм неправоверного заимствования в рукописи произведения, надлежащее оформление всех заимствований текста, таблиц, схем, иллюстраций.

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, статистических данных и прочих сведений.

Редакция не несет ответственности за достоверность информации, приводимой авторами. Автор, направляя рукопись в редакцию, принимает личную ответственность за оригинальность исследования.

12. Направление материалов в редакцию для публикации означает согласие автора с приведенными выше требованиями.

Правила оформления сопроводительного письма

Сопроводительное письмо к научной статье оформляется на бланке учреждения, где выполнялась работа, за подписью руководителя учреждения.

Если сопроводительное письмо оформляется не на бланке учреждения и не подписывается руководителем учреждения, оно должно быть обязательно подписано всеми авторами научной статьи.

Сопроводительное письмо обязательно (!) должно содержать следующий текст:

«Настоящим письмом гарантируем, что опубликование научной статьи в журнале «Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки» не нарушает ничьих авторских прав. Автор (авторы) передает на неограниченный срок учредителю журнала неисключительные права на использование научной статьи путем размещения полнотекстовых сетевых версий номеров на Интернет-сайте журнала.

Автор (авторы) несет ответственность за неправомерное использование в научной статье объектов интеллектуальной собственности, объектов авторского права в полном объеме в соответствии с действующим законодательством РФ.

Автор (авторы) подтверждает, что направляемая статья нигде ранее не была опубликована, не направлялась, и не будет направляться для опубликования в другие научные издания.

Также удостоверяем, что автор (авторы) согласен с правилами подготовки рукописи к изданию, утвержденными редакцией журнала «Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки», опубликованными и размещенными на официальном сайте журнала».

Единый формат оформления пристатейных библиографических ссылок в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 2008 «Библиографическая ссылка»

Статьи из журналов и сборников:

Адорно Т.В. К логике социальных наук // Вопр. философии. 1992. № 10. С. 76-86.

Crawford P.J. The reference librarian and the business professor: a strategic alliance that works / P.J. Crawford, T. P. Barrett // Ref. Libr. 1997. Vol. 3. № 58. P. 75-85.

Заголовок записи в ссылке может содержать имена одного, двух или трех авторов документа. Имена авторов, указанные в заголовке, могут не повторяться в сведениях об ответственности.

Crawford P.J., Barrett T.P. The reference librarian and the business professor: a strategic alliance that works // Ref. Libr. 1997. Vol. 3. № 58. P. 75-85.

Если авторов четыре и более, то заголовок не применяют (ГОСТ 7.80-2000).

Корнилов В.И. Турбулентный пограничный слой на теле вращения при периодическом вдуве-отсосе // Теплофизика и аэромеханика. 2006. Т. 13. № 3. С. 369-385.

Кузнецов А.Ю. Консорциум — механизм организации подписки на электронные ресурсы // Российский фонд фундаментальных исследований: десять лет служения российской науке. М.: Науч. мир, 2003. С. 340-342.

Монографии:

Тарасова В.И. Политическая история Латинской Америки : учеб. для вузов. 2-е изд. М.: Проспект, 2006. С. 305-412

Допускается предписанный знак точку и тире, разделяющий области библиографического описания, заменять точкой.

Философия культуры и философия науки: проблемы и гипотезы: межвуз. сб. науч. тр. / Сарат. гос. ун-т; [под ред. С. Ф. Мартыновича]. Саратов: Сарат. ун-т, 1999. 199 с.

Допускается не использовать квадратные скобки для сведений, заимствованных не из предписанного источника информации.

Райзберг Б.А. Современный экономический словарь / Б.А. Райзберг, Л.Б. Лозовский, Е.Б. Стародубцева. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Инфра-М, 2006. 494 с.

Заголовок записи в ссылке может содержать имена одного, двух или трех авторов документа. Имена авторов, указанные в заголовке, не повторяются в сведениях об ответственности, поэтому:

Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. Современный экономический словарь. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Инфра-М, 2006. 494 с.

Если авторов четыре и более, то заголовок не применяют (ГОСТ 7.80-2000).

Авторефераты:

Глухов В.А. Исследование, разработка и построение системы электронной доставки документов в библиотеке: автореф. дис. канд. техн. наук. Новосибирск, 2000. 18 с.

Диссертации:

Фенухин В.И. Этнополитические конфликты в современной России: на примере Северокавказского региона: дис. ... канд. полит. наук. М., 2002. С. 54-55.

Аналитические обзоры:

Экономика и политика России и государств ближнего зарубежья : аналит. обзор, апр. 2007 / Рос. акад. наук, Ин-т мировой экономики и междунар. отношений. М. : ИМЭМО, 2007. 39 с.

Патенты:

Патент РФ № 2000130511/28, 04.12.2000. Еськов Д.Н., Бонштедт Б.Э., Корешев С.Н., Лебедева Г.И., Серегин А.Г. Оптико-электронный аппарат // Патент России № 2122745. 1998. Бюл. № 33.

Материалы конференций:

Археология: история и перспективы: сб. ст. Первой межрегион. конф. Ярославль, 2003. 350 с.

Марьинских Д.М. Разработка ландшафтного плана как необходимое условие устойчивого развития города (на примере Тюмени) // Экология ландшафта и планирование землепользования: тез. докл. Всерос. конф., Иркутск, 11-12 сент. 2000 г. Новосибирск, 2000. С. 125-128.

Интернет-документы:

Официальные периодические издания :

Электронный путеводитель / Рос. нац. б-ка, Центр правовой информации. [СПб.], 2007. URL: http://www.nlr.ru/lawcenter/izd/index.html (дата обращения: 18.01.2007).

Логинова Л.Г. Сущность результата дополнительного образования детей // Образование: исследовано в мире: междунар. науч. пед. интернет-журн. URL: http://www.oim.ru/reader.asp7nomers 366 (дата обращения: 17.04.07).

Рынок тренингов Новосибирска: своя игра [Электронный ресурс]. URL: http://nsk.adme.ru/news/2006/07/03/2121 .html (дата обращения: 17.10.08).

Литчфорд Е.У. С Белой Армией по Сибири [Электронный ресурс] // Восточный фронт Армии Генерала А.В. Колчака [сайт]. URL: http://east-front.narod.ru/memo/latchford.htm (дата обращения: 23.08.2007).

Контакты

Адрес редакции: 683032, г. Петропавловск-Камчатский,ул. Пограничная, 4, тел./факс: 8(415-2) 43-37-43, e-mail: romanparovik@gmail.com

TOPICS OF THE JOURNAL AND RULES FOR AUTHORS

The journal publishes results of fundamental and applied research in physics and mathematics (mathematical modeling of physical processes, mathematical physics, information and computing technology, mathematics). The journal is a peer-reviewed. Publication of manuscripts is free. The editors asked the authors of the journal follow the rules set out below:

1. Articles must be accompanied by a letter and an act of expertise, which was accomplished. At the end of the article put the signatures of all authors. For the article, sent to the editor, must be attached on a separate page the author's background in Russian and English languages: surname, name, degree, title, position, place of employment, exact postal address, phone, fax, e-mail (if any) of each author. You must specify the name of the author responsible for the passage of articles in the editorial.

2. The paper should not exceed (including figures, tables and references) 10 printed pages.

3. Articles submitted to the editor printed in the form of the manuscript in Russian language in two copies on one-sided sheet of A4. The text of the manuscript is typed in the LaTeX according to the rules below and print out a pdf-file created by the system after the final assembly of the document. Printout of the manuscript should be clear, the contrast and easily readable. In the paper version of the manuscript, you must provide an electronic version of an article in a separate file whose name must match the name of the first author. This file should contain files with extensions article tex, pdf, as well as drawings.

4. In Russian and English languages attached page with the article title, author, abstract (200-300 characters) and keywords. In electronic form in the file of the manuscript that the page is placed at the end.

5. Materials are sent to the address: 683032, Russia, Kamchatka krai, Petropavlovsk-Kamchatsky, Pogranichnaya, st. 4, Kamchatka State University by Vitus Bering, Department of Applied Mathematics. The electronic version of the manuscript should be sent by e-mail: fmit@mail.ru.

All journal published on the website of the Institute of Space Physics Research and Radio Wave Propagation FEB RAS, `http://mfit.ikir.ru`.

6. The editors asked the authors carefully prepared texts of articles and illustrations.

7. The Editors reserve the right to shorten the article and expose them, if necessary literary revision.

8. In the event of a return to the author of article to further refine the date of receipt is the receipt of the final edited text.

9. The manuscripts which, without these rules, shall be returned to authors without review.

ВЕСТНИК КРАУНЦ
(Камчатской региональной ассоциации «Учебно-научный центр»)
Физико-математические науки
2013 № 2 (7)

Главный редактор Б. М. Шевцов
Технический редактор Р. И. Паровик

Издательский центр
Камчатского государственного университета имени Витуса Беринга
683032, Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 4
Тел. (4152) 427-078 www.kamgu.ru

Подписано в печать 14.12.2013. Формат 60x84/8
Бумага офсетная. Печать цифровая. Гарнитура «Times New Roman»
Усл. печ. л. 12,90. Уч.-изд. л. 10,45. Тираж 500 экз. Заказ № 3052

Отпечатано
в Камчатском государственном университете имени Витуса Беринга

JOURNAL COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS OF KRASEC
(Kamchatka Regional Association «Scientific-Educational Centre»)
Physico-Mathematical Sciences
2013 № 2 (7)

Editor-in-Chief B. M. Shevtsov
Technical Editor R. I. Parovik

Publishing Centre
of Vitus Bering Kamchatka State University
683032, Petropavlovsk-Kamchatskiy, Pogranichnaya Str., 4
Tel. (4152) 427-078, www.kamgu.ru

Signed to print 14.12.2013. Format 60x84/8
Offset paper. Digital printing. Set «Times New Roman»
Conv. printer's sheet 12,90. Editions 500 copies. Order № 3052

Printed
in Vitus Bering Kamchatka State University