



Министерство науки
и высшего образования
Российской Федерации
Камчатский государственный
университет имени Витуса Беринга



Российская академия наук
Дальневосточное отделение
Институт космических исследований
и распространения радиоволн ДВО РАН



МАТЕРИАЛЫ

III Всероссийской молодежной научной школы «ГЕОСФЕРЫ И КОСМОС»

в рамках IX Международной конференции
«СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ И ФИЗИКА
ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ»

22–23 октября 2018 года

УДК 551.509.336 + 550.344.37

ББК 22.3+26.2

М 341

Материалы III Всероссийской молодежной научной школы «Геосферы и Космос», посвященной 60-летию Камчатского государственного университета имени Витуса Беринга: г. Петропавловск-Камчатский, 22–23 октября 2018 г.: сб. мат. – Петропавловск-Камчатский: КамГУ имени Витуса Беринга, 2018. – 25 с.

ISBN 978-5-7968-0695-1

Научный редактор – Паровик Р.И., канд. физ.-мат. наук, доцент, декан физико-математического факультета КамГУ имени Витуса Беринга.

В сборнике представлены материалы III Всероссийской молодежной научной школы, посвященной 60-летию Камчатского государственного университета имени Витуса Беринга. Материалы представляют собой тезисы лекций и докладов ведущих специалистов и молодых ученых в области исследования геофизических полей, моделирования физических процессов в различных слоях атмосферы, околоземном космическом пространстве и твердой оболочке Земли. Представлены современные методы сбора, обработки, передачи и обмена геофизическими данными.

Материалы могут быть полезными студентам, аспирантам и научным сотрудникам, которым интересна данная проблематика.

Тезисы печатаются в авторской редакции.

Ключевые слова: физика атмосферы, магнитосфера, геофизические поля, предвестники землетрясений, обработка геофизических данных, моделирование.

УДК 551.509.336 + 550.344.37

ББК 22.3+26.2

© ИКИР ДВО РАН

© КамГУ им. Витуса Беринга

ISBN 978-5-7968-0695-1

Оглавление

Оргкомитет и научные направления III Всероссийской молодежной научной школы «Геосферы и космос»	5
Программа III Всероссийской молодежной научной школы «Геосферы и космос»	6

ЛЕКЦИИ

Водинчар Г.М. Гидромагнитное динамо в космосе	10
Макаров Е.О., Фирстов П.П. Радоновый мониторинг в связи с прогнозом сильных землетрясений южной Камчатки . . .	10
Паровик Р.И. Эффект стицк-слип с учетом памяти	12
Сенкевич Ю.И. Современные методы обработки нестационарных сигналов. Эмпирическая модовая декомпозиция	13
Фещенко Л.К. Регулярные инверсии в 6-струйной модели гео- динамо	14
Фирстов П.П. Акустика вулканических извержений	14
Шевцов Б.М. Сложные природные системы в примерах . . .	16
Шереметьева О.В. Взаимосвязи между событиями в дефор- мационном процессе	17

МОЛОДЫЕ УЧЕНЫЕ

Акбашев Р.Р. Регистрация градиент потенциала электрического поля атмосферы в центральной части полуострова Камчатка. Анализ суточной вариации	18
Будиллов Д.И., Акбашев Р.Р. Разработка программно-аппарат- ного комплекса регистрации потенциала электрического поля атмосферы для исследования атмосферно-электрических эффектов, возникающих при формировании и распространении газо-пепловых облаков от эксплозивных извержений вулканов	18

Гапеев М.И. Краткий обзор инструментов и библиотек для разработки приложений с графическим интерфейсом . . .	19
Годомская А.Н., Шереметьева О.В. Инверсии в маломодовой модели динамо с $\alpha\Omega$ -генераторами	19
Казаков Е.А. Маломодовая модель динамо с памятью	21
Ким А.А. Анализ геофизических сигналов методом согласованного преследования в режиме реального времени . . .	22
Липко О.Д. Исследование динамических режимов эредитарного осциллятора ФитцХью-Нагумо	23
Лобачева М.А., Будилов Д.И. Особенности инфразвуковых волн, зарегистрированных на станции ИС44, в период извержений вулканов Алаид (2015-2016 гг.) и Камбальный (2017 г.)	24
Мaurчев Е.А., Германенко А.В., Балабин Ю.В., Гвоздевский Б.В., Михалко Е.А. Ионизация атмосферы земли протонами галактических космических лучей: численное моделирование при помощи методов Монте-Карло	24
Солодчук А.А., Щербина А.О. К вопросу анализа направленных свойств сигналов высокочастотной геоакустической эмиссии на Камчатке	25

Организационный комитет
III Всероссийской молодежной научной школы
«Геосферы и космос»

Председатель оргкомитета

Хохлова И.Н., канд. филол. наук, проф., ректор КамГУ им. Витуса Беринга

Сопредседатель оргкомитета

Марапулец Ю.В., д-р физ.-мат. наук, проф., директор ИКИР ДВО РАН

Секретарь оргкомитета

Гнездилова Е.В., КамГУ им. Витуса Беринга

Члены оргкомитета:

- *Шевцов Б.М.*, д-р физ.-мат. наук, проф., ИКИР ДВО РАН;
- *Фирстов П.П.*, д-р физ.-мат. наук, КФ ФИЦ ЕГС РАН;
- *Сенкевич Ю.И.*, д-р техн. наук, доцент, ИКИР ДВО РАН;
- *Ефименко В.Н.*, канд. пед. наук, доц., КамГУ им. Витуса Беринга;
- *Макаров О.Е.*, канд. физ.-мат. наук, КФ ФИЦ ЕГС РАН;
- *Водинчар Г.М.*, канд. физ.-мат. наук, доцент, ИКИР ДВО РАН;
- *Паровик Р.И.*, канд. физ.-мат. наук, доцент, КамГУ им. Витуса Беринга;
- *Фещенко Л.К.*, канд. физ.-мат. наук, ИКИР ДВО РАН;
- *Шереметьева О.В.*, канд. техн. наук, КамГУ им. Витуса Беринга.

Цели проведения школы:

- ознакомление научной молодежи с современными знаниями в области физики геосфер, их взаимодействия между собой и с космосом;
- привлечение студентов к геофизическим исследованиям и профориентация школьников на получение физического образования.

Основные направления работы школы:

- моделирование физических процессов;
- геофизические поля и их взаимодействия;
- физика предвестников землетрясений.

Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга
Институт космofизических исследований и распространения
радиоволн ДВО РАН

ПРОГРАММА ЛЕКЦИЙ
III Всероссийской молодежной научной школы
«Геосферы и космос»

*Место проведения: Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 4,
КамГУ им. Витуса Беринга (уч. корпус № 1), актовый зал.*

22 октября, понедельник

Приветственное слово:

Ефименко Вероника Николаевна, канд. пед. наук, доцент, проектор по научной, инновационной и международной деятельности КамГУ им. Витуса Беринга.

Приветственное слово:

Шевцов Борис Михайлович, д-р физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник ИКИР ДВО РАН.

- 09⁰⁰ – 09²⁵ **Сложные природные системы в примерах**
Шевцов Б.М., д-р физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории электромагнитных излучений, Институт космofизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка, Камчатский край.
- 09³⁰ – 09⁵⁵ **Акустика вулканических извержений**
Фирстов П.П., д-р физ.-мат. наук, заведующий лабораторией акустического и радонового мониторинга, Камчатский филиал Федерального исследовательского центра Единая геофизическая служба РАН, г. Петропавловск-Камчатский.
- 10⁰⁰ – 10²⁵ **Современные методы обработки нестационарных сигналов. Эмпирическая модовая декомпозиция**
Сенкевич Ю.И., д-р тех. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории акустических исследований, Институт космofизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка, Камчатский край

- 10³⁰ – 10⁵⁵ **Гидромагнитное динамо в космосе**
Водинчар Г.М., канд. физ.-мат. наук, доцент, заведующий лабораторией моделирования физических процессов, Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка, Камчатский край.
- 11⁰⁰ – 11²⁵ **Радоновый мониторинг в связи с прогнозом сильных землетрясений на Камчатке**
Макаров Е.О., канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник лаборатории акустического и радонового мониторинга, Камчатский филиал Федерального исследовательского центра Единая геофизическая служба РАН, г. Петропавловск-Камчатский.
- 11³⁰ – 11⁵⁵ **Взаимосвязи между событиями в деформационном процессе**
Шереметьева О.В., канд. тех. наук, научный сотрудник лаборатории моделирования физических процессов, Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка, Камчатский край.
- 12⁰⁰ – 12²⁵ **Регулярные инверсии в 6-струйной модели геодинамо**
Фещенко Л.К., канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник лаборатории моделирования физических процессов, Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка, Камчатский край.
- 12³⁰ – 12⁵⁵ **Эффект stick-slip с учетом памяти**
Паровик Р.И., канд. физ.-мат. наук, доцент, декан физико-математического факультета, Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский.

13⁰⁰ – 14⁰⁰ Перерыв на обед.

ПРОГРАММА ДОКЛАДОВ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
III Всероссийской молодежной научной школы
«Геосферы и космос»

22 октября, понедельник

- **14⁰⁰ – 14¹⁰ Регистрация градиент потенциала электрического поля атмосферы в центральной части полуострова Камчатка. Анализ суточной вариации**
Акбашев Р.Р., научный сотрудник, лаборатория акустического и радонового мониторинга, Камчатский филиал Федерального исследовательского центра Единая геофизическая служба РАН, г. Петропавловск-Камчатский.
- **14¹⁵ – 14²⁵ Разработка программно-аппаратного комплекса регистрации потенциала электрического поля атмосферы для исследования атмосферно-электрических эффектов, возникающих при формировании и распространении газо-пепловых облаков от эксплозивных извержений вулканов**
Будилов Д.И., младший научный сотрудник, лаборатория акустического и радонового мониторинга, Камчатский филиал Федерального исследовательского центра Единая геофизическая служба РАН, г. Петропавловск-Камчатский.
- **14³⁰ – 14⁴⁰ Краткий обзор инструментов и библиотек для разработки приложений с графическим интерфейсом**
Гапеев М.И., магистрант 1-го года обучения, КамГУ имени Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский.
- **14⁴⁵ – 14⁵⁵ Инверсии в маломодовой модели динамо с $\alpha\Omega$ -генераторами**
Годомская А.Н. Муниципальное бюджетное учреждение дополнительного образования «Центр «Луч», г. Елизово, Камчатский край.
- **15⁰⁰ – 15¹⁰ Маломодовая модель динамо с памятью**
Казаков Е.А., аспирант 2 года обучения, КамчатГТУ, г. Петропавловск-Камчатский.
- **15¹⁵ – 15²⁵ Анализ геофизических сигналов методом согласованного преследования в режиме реального времени**
Ким А.А., программист лаборатории акустических исследований ИКИР ДВО РАН, с. Паратунка, Камчатский край.

- 15³⁰ – 15⁴⁰ **Исследование динамических режимов эрдитарного осциллятора ФитцХью-Нагумо**
Липко О.Д., магистрант 2 год обучения КамГУ имени Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский.
- 15⁴⁵ – 15⁵⁵ **Особенности инфразвуковых волн, зарегистрированных на станции IS44, в период извержений вулканов Алайд (2015-2016 гг.) и Камбальный (2017 г.)**
Лобачева М.А., магистрант 2-го года обучения, КамГУ имени Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский.
- 16⁰⁰ – 16¹⁰ **Ионизация атмосферы земли протонами галактических космических лучей: численное моделирование при помощи методов Монте-Карло**
Германенко А.В., младший научный сотрудник, сектор космических лучей, Полярный геофизический институт, г. Мурманск.
- 16¹⁵ – 16²⁵ **К вопросу анализа направленных свойств сигналов высокочастотной геоакустической эмиссии на Камчатке**
Солодчук А.А., канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник лаборатории акустических исследований ИКИР ДВО РАН, с. Паратунка, Камчатский край.

23 октября, вторник

14⁰⁰ - Обсуждение докладов, принятие решения по III Всероссийской молодежной научной школе «Геосферы и Космос»

ЛЕКЦИИ

Гидромагнитное динамо в космосе

Водинчар Г.М.

Институт космических исследований и распространения радиоволн

ДВО РАН, Паратунка, Россия

gvodinchar@yandex.ru

Крупномасштабные магнитные поля в космосе генерируются динамомеханизмом. Формирование этих полей происходит в результате взаимодействия дифференциального вращения небесного тела и мелкомасштабных гидродинамических и/или турбулентных пульсаций. Условия космического динамо невозможно воспроизвести в лабораторных установках, поэтому основной метод исследования - моделирование. Активно разрабатываются как модели, основанные на прямом расчете уравнений динамо на разностных сетках, так и упрощенные феноменологические модели. Модели первого типа обладают необходимой полнотой, однако требуют для изучения мощных вычислительных ресурсов и содержат много параметров, реальные значения которых неизвестны. Модели второго типа воспроизводят только феноменологию процесса и исключительно крупномасштабные структуры полей, но позволяют рассчитывать динамику плей на временных масштабах, сравнимых с временем существования небесного тела. Обязательное требование к современным моделям динамо - это воспроизведение инверсий (резких смен полярности поля). У реальных полей инверсии могут быть как вполне регулярными, так и крайне хаотическими, с большими разбросами времен ожидания инверсий.

Радоновый мониторинг в связи с прогнозом сильных землетрясений южной Камчатки

Макаров Е.О.^{1,2}, Фирстов П.П.¹

КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия

Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга,

Петропавловск-Камчатский, Россия

ice@emsd.ru

Радоновый мониторинг в мировой литературе признан перспективным методом с целью прогноза землетрясений. Успешность метода обусловлена свойствами радона и особенностями процесса его миграции.

Радон способен выступать как индикатор геодинамических процессов, наличия разломных зон или радиоактивных руд. Литературные данные с большой достоверностью дают основание для поиска в динамике подпочвенного радона предвестниковых аномалий для землетрясений с большим диапазоном магнитуд. Для радоновых предвестников характерна различная длительность и многообразие их форм. Они могут проявляться на значительных расстояниях от эпицентров землетрясений. На Камчатке метод непрерывного мониторинга радоновых эманаций используется с целью контроля изменения геодинамической обстановки в районе полуострова и прогноза сильных землетрясений.

Начиная с 1997 года на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне, проводятся работы по измерению объемной активности подпочвенного радона. Была организована сеть из пяти пунктов непрерывных наблюдений. За время работы сети достаточно убедительно продемонстрирована перспективность радонового метода для прогноза субдукционных землетрясений. В настоящее время сеть оснащена современными аппаратно-программными средствами и методами для сбора, обработки и хранения получаемых временных рядов с передачей данных в режиме, близком к реальному времени.

За время работы сети для 67% землетрясений с $5.5 < M < 6.9$ с эпицентрами в зоне субдукции на удалении более 100 км от пунктов регистрации Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона были выделены предвестниковые аномалии радона со временем упреждения от нескольких суток до нескольких часов. Впервые в мировой практике радоновых исследований зарегистрированы бухтообразные отрицательные возмущения подпочвенного радона перед глубоким Жупановским землетрясением 30 января 2016 г. с $M = 7.2$ и $H = 177$ км. По литературным данным предвестниковые аномалии в поле подпочвенного радона отрицательной полярности отмечались крайне редко, что характеризует данный случай как уникальный. На основе предвестниковых аномалий в поле подпочвенного радона, а также в концентрации молекулярного водорода и двуокиси углерода был дан краткосрочный прогноз Жупановского землетрясения, который частично оправдался. Кроме этого в динамике подпочвенного радона обнаружены краткосрочные, от полутора до сорока суток, «удаленные» предвестники перед двумя сильными землетрясениями северо-западной окраины Тихого океана: Симуширским землетрясением с $M=8.3$; землетрясением Тохоку с $M = 9.0$.

Анализ получаемых данных и сопоставление с сейсмичностью региона продолжают непрерывно, что позволяет выявлять аномальные изменения ОА Rn, предваряющие землетрясения.

Крайне важным для развития сетей наблюдений представляется поиск оптимальных методик способствующих уменьшению влияния метеорологических факторов и обеспечению надежной работы сети без потери данных при длительной непрерывной регистрации.

ЭФФЕКТ STICK-SLIP С УЧЕТОМ ПАМЯТИ

Паровик Р.И.^{1,2}

Институт космических исследований и распространения радиоволн

ДВО РАН, Паратунка, Россия

Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга,

Петропавловск-Камчатский, Россия

romanparovik@gmail.com

Эффект прилипания-скольжения (stick-slip) исследуется в задачах трибологии, например, при латеральном движении груза в атомном силовом микроскопе, а также используется при построении механической модели землетрясений в зоне субдукции литосферных плит (Scholts, 2001). В последнее время stick-slip эффекты проявляются в электромагнитных сигналах литосферного происхождения (Уваров, 2016). Поэтому целью работы является исследовать динамические режимы stick-slip эффекта с учетом другого, на наш взгляд, важного свойства геосреды – эредитарности (эффекта памяти), связанной с ее фрактальностью.

В работах автора (Паровик, 2015; Паровик, 2016; Паровик, 2017) была предложена математическая модель эредитарного stick-slip эффекта, получены численные решения модели, на основе которых были построены ее фазовые траектории. Однако качественного анализа динамических режимов этого эффекта не было проведено. В настоящей работе были исследованы динамические режимы, определены условия существования того или иного режима, построены фазовые траектории и показатели Ляпунова.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИГНАЛОВ. ЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДОВАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ

Сенкевич Ю.И.

*Институт космических исследований и распространения радиоволн
ДВО РАН, Паратунка, Россия
feshenko.lk@yandex.ru*

В основе большинства известных методов анализа ВР (корреляционный анализ, спектральный анализ, авторегрессия, метод скользящего среднего) лежит предположение о стационарности ВР. Однако результаты применения к реальным ВР известных критериев, позволяющих проверить статистику гипотезу о стационарности ВР (например, AFD-тест Дики-Фуллера, KPSS-тест Квятковски-Филлипса-Шмидта-Шина), показывают, что большинство из них оказывается нестационарными.

В этой связи разработка методов анализа данного вида ВР является актуальной задачей. Среди известных методов анализа нестационарных ВР следует отметить: метод мгновенного спектра (Д. Габор, Дж. Вилль и др.); вейвлет преобразование (И. Добеши, И. Мейер, Р. Коифман, Новиков И.Я. и др.); метод сингулярного спектрального анализа, в основе которого лежит преобразование Карунена-Лоэва (Элснер, Тсонис, Хасани, Данилов Д.Л., Жигляевский А.А., Голяндина Н.Э. и др.).

Как показывает анализ опыта их использования, каждый из них оказывается не свободным от собственных недостатков, проявляющихся, в частности, в том, что при анализе ВР обнаруживаются его составляющие, существование которых противоречит физическим представлениям о механизмах, порождающих данный ВР. Названные методы анализа ВР имеют один общий серьезный недостаток - качество получаемых результатов напрямую зависит от правильного выбора соответствующих параметров метода (типа использованного базисного вейвлета, размера окна анализа, масштаба, выбора функции окна для спектрограммы и т. д.). В этой ситуации возникает необходимость использовать для каждого конкретного случая априорную информацию об анализируемом ВР. Однако для нестационарных сигналов, существующих, зачастую, в единственном экземпляре, такая информация, как правило, отсутствует. Закономерно, что исследования в данной области продолжаются и сегодня.

В 1998 г. Н. Хуангом был предложен новый метод анализа ВР, получивший название преобразования Хуанга-Гильберта (Huang-Hilbert Transform - ННТ). Его достоинствами является возможность декомпозиции

ВР на компоненты (моды), которые можно истолковать с физической точки зрения, а также возможность вычислить значения функций, описывающих амплитудную модуляцию анализируемого ВР, а также значения функций, описывающих изменения мгновенной частоты анализируемого ВР от времени. В основе ННТ лежит разложение анализируемого ВР на компоненты, с дальнейшим получением характеристик для каждой из них, поэтому метод реализуется в два этапа – эмпирическая модовая декомпозиция (Empirical Mode Decomposition - EMD) и преобразование Гильберта. С позиций практической обработки нестационарных геофизических сигналов наиболее интересно рассмотреть метод EMD.

РЕГУЛЯРНЫЕ ИНВЕРСИИ В 6-СТРУЙНОЙ МОДЕЛИ ГЕОДИНАМО

Фещенко Л.К.

*Институт космических исследований и распространения радиоволн
ДВО РАН, Паратунка, Россия
feshenko.lk@yandex.ru*

Разработана маломодовая модель геодинамо, управляемая 6-струйной конвекцией в ядре Земли. Модель содержит только четыре моды, представляющие поля температуры, скорости и два поля магнитной индукции. Магнитные моды были выбраны путем объединения восьми магнитных мод. В модели есть два компонента шума. В модели были получены стабильные режимы генерации магнитного поля с инверсиями, имеющими регулярный характер. Эти инверсии не вызывают изменений в структуре конвекции.

АКУСТИКА ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ

Фирстов П.П.

*КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия
first41@mail.ru*

Изучение динамики вулканических извержений основывается на инструментальных дистанционных методах, одним из которых является

метод, условно названный «акустика вулканических извержений». Извержения с различными типами активности и большим диапазоном интенсивности сопровождаются большим разнообразием физических процессов, в результате которых в атмосфере возникают волновые возмущения широкого диапазона частот – от нескольких сотен герц до тысячных долей герца, что позволяет диагностировать характер вулканических извержений по параметрам ударно-волновых и акустических эффектов в атмосфере. Все акустические волновые возмущения в атмосфере, возникающие во время фрагментации (разрушения) и излияния лавы на дневную поверхность в результате её дегазации, а также за счет турбулентных процессов, обусловленных выносом раскаленного пирокластического материала в атмосферу, объединяются в «акустику вулканических извержений».

Приведены результаты исследований, базирующиеся на экспериментальном материале, полученном при регистрации акустических сигналов в широком диапазоне частот от сотен до тысячных герц, сопровождавших извержения вулканов Камчатки. На основе натурных наблюдений за многолетний период, и литературных данных рассмотрена феноменологическая классификация ударно-волновых и акустических эффектов в атмосфере от вулканических извержений. За основную характеристику классов приняты характерные частоты и физические процессы, в результате которых происходит генерация акустических сигналов (АС).

Из четырех выделенных классов АС, первые два связаны с процессом отделения летучих от поднимающегося по магматическому каналу силикатного расплава и обусловлены работой, которую он совершает при расширении. Этот процесс сопровождается фрагментацией расплава с образованием раскаленных обрывков лавы и вулканического пепла, при этом возникает аэродинамический шум звукового диапазона и импульсные АС, связанные с нестационарными процессами в кратере вулкана.

Различия в кинематических и динамических параметрах воздушных волн II типа позволили выделить шесть типов АС, порожденных различными физическими процессами, происходящими в кратере вулкана при дегазации магмы, поступающей на дневную поверхность; часть АС можно отнести к слабым воздушным ударным волнам. Акустические сигналы первых двух классов в той или иной мере присущи всем типам извержений. Два других класса АС связаны с турбулентными процессами в эруптивных облаках, возникающих при извержениях андезитовых вулканов. Во время эксплозивных извержений вулкана Безымянный регистрируются АС двух разновидностей: импульсные, связанные с отдельными эксплозиями и непрерывные инфразвуковые колебания. Последние, с ха-

рактерной частотой $f = 0.3-1$ Гц и длительностью несколько десятков секунд, генерируются крупномасштабными пульсациями в конвективной колонке, возникающей в атмосфере в результате тепловыделения с поверхности отложений пирокластических потоков (ПП). Частота этих сигналов связана с мощностью процесса и может служить контрольным параметром с целью мониторинга хода извержения. На примере трех катастрофических извержений типа «направленный взрыв» (Безымянный, 1956; Шивелуч, 1964; Сент-Хеленс, 1980) показано, во время таких извержений возникают акусто-гравитационные волны с периодом больше 300 с. Волновые возмущения в атмосфере, возникающие во время сильных катастрофических извержений, несут информацию о динамике извержения и количестве пепла, выброшенного в атмосферу.

На основе изучения извержений типа «направленный взрыв» показано, что они имеют обобщенный сценарий, но в зависимости от ряда причин далеко не все стадии сценария имеют место во время извержения того или иного вулкана, а энергетическое соотношение между стадиями определяется многими факторами.

СЛОЖНЫЕ ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ В ПРИМЕРАХ

Шевцов Б.М.

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн

ДВО РАН, Паратунка, Россия

bshev@ikir.ru

Рассматриваются флуктуации, нелинейные колебания и эффекты памяти в системах конвекции, магнитного динамо, резонансного распространения волн, предвестников землетрясений и биохимических реакций. Обсуждаются различные примеры нелинейных систем и необходимые условия возникновения в них хаотических колебаний.

ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ СОБЫТИЯМИ В ДЕФОРМАЦИОННОМ ПРОЦЕССЕ

Шереметьева О.В.

Институт космифизических исследований и распространения радиоволн

ДВО РАН, Паратунка, Россия

Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга,

Петропавловск-Камчатский, Россия

olga.v.sheremetieva@gmail.com

При исследовании деформационного процесса, в частности сейсмического, было определено, что каждое событие имеет область влияния, т. е. область в пространстве или во времени внутри которой может произойти событие, связанное с исходным. Используя имеющиеся закономерности для определения радиусов влияния событий, проводилось разложение сейсмических каталогов на кластеры, включающие события, связанные по пространственно-временным критериям и направлению вектора смещения. При исследовании характеристик кластеров обнаруживались следующие факты: при изменении начального события получались кластеры, отличные по структуре, т. е. последующее событие зависит не только от предыдущего, что означает наличие нелокальности или памяти процесса; распределения времён ожидания и расстояний между последовательными событиями в кластере имели большой разброс не подчиняющийся экспоненциальной зависимости. Эти факты говорят о том, что описание деформационного процесса с помощью простого процесса Пуассона возможно только в первом приближении и требует уточнения, учитывающего эффекты памяти (наличие длительных временных промежутков между последовательными связанными событиями) и нелокальности (наличие больших пространственных промежутков между последовательными связанными событиями). Одним из развитий этой теории является ETAS-модель, она учитывает эффекты ветвления (афтершоки). Следующим шагом по развитию модели является фрактальная модель, учитывающая историю процесса.

ДОКЛАДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

РЕГИСТРАЦИЯ ГРАДИЕНТ ПОТЕНЦИАЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ АТМОСФЕРЫ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА. АНАЛИЗ СУТОЧНОЙ ВАРИАЦИИ

Акбашев Р.Р.

*КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия
arr@emsd.ru*

В районе Центральной Камчатской депрессии в трех пунктах работают электростатические флюксометры для регистрации градиента потенциала электрического поля атмосферы ($\dot{V}$ ЭПА). Приведены результаты анализа суточного хода $\dot{V}$ ЭПА для этих пунктов за период регистрации с 2014 г. по 2018 г.

Работа выполнена при финансовой поддержки гранта РФФИ № 18-35-00175-18.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА РЕГИСТРАЦИИ ПОТЕНЦИАЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ И РАСПРОСТРАНЕНИИ ГАЗО-ПЕПЛОВЫХ ОБЛАКОВ ОТ ЭКСПЛОЗИВНЫХ ИЗВЕРЖЕНИЙ ВУЛКАНОВ

Будилов Д.И.¹, Акбашев Р.Р.^{1,2}

¹ *КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия*

² *КамГУ им. Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский, Россия
gm16493@gmail.com*

Для автоматизации процесса сбора и первичной обработки данных, полученных в процессе мониторинга градиента потенциала электрического поля атмосферы, КФ ФИЦ ЕГС РАН разрабатывается программно-аппаратный комплекс на основе флюксометров (ЭФ-4), АЦП L-Card E-24 и микрокомпьютеров серии Thiner Board фирмы Asus. Разработка комплекса с применением микрокомпьютеров позволяет иметь удаленный

доступ к программной части комплекса расположенной на отдаленных станциях и проводить настройку аппаратуры без необходимости физического доступа, что повышает оперативность работы.

КРАТКИЙ ОБЗОР ИНСТРУМЕНТОВ И БИБЛИОТЕК ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРИЛОЖЕНИЙ С ГРАФИЧЕСКИМ ИНТЕРФЕЙСОМ

Гапеев М.И.^{1,2}

¹ *КамГУ им. Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский, Россия*

² *ИКИР ДВО РАН, Паратунка, Россия*

gm16493@gmail.com

Доклад посвящен обзору существующих библиотек и инструментов, предназначенных для разработки приложений с графическим интерфейсом в операционных системах семейства Windows NT и в операционных системах на базе ядра Linux.

Большая часть доклада содержит анализ существующих технологий разработки, как «нативных» (Win32API, Xlib), так и высокоуровневых (Qt, JavaFx, Swing и др.), обзор их достоинств и недостатков.

ИНВЕРСИИ В МАЛОМОДОВОЙ МОДЕЛИ ДИНАМО С $\alpha\Omega$ -ГЕНЕРАТОРАМИ

Годомская А.Н.¹, Шереметьева О.В.^{2,3}

¹ *Муниципальное бюджетное учреждение дополнительного образования*

«Центр «Луч», Елизово, Россия

² *Институт космифизических исследований и распространения радиоволн*

ДВО РАН, Паратунка, Россия

³ *Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга,*

Петропавловск-Камчатский, Россия

anna_antonenko@mail.ru, olga.v.sheremetieva@gmail.com

При сильном дифференциальном вращении генерацию магнитного поля описывают с помощью $\alpha\Omega$ -динамо. Свойством динамо систем является наличие инверсии без существенной перестройки движения проводящей среды. В данной работе рассматривается модель $\alpha\Omega$ -динамо, исходя из следующих предположений: поле скорости v и магнитное поле

В аксиально симметричны в сферической оболочке вязкой несжимаемой жидкости, вращающейся вокруг оси OZ с постоянной угловой скоростью Ω ; поле скорости вязкой жидкости v нулевое на внутренней $r = r_1$ и внешней $r = r_2$ сферических границах оболочки; магнитная проницаемость внутреннего и внешнего ядра одинаковы, среда вне ядра ($r > r_2$) не проводящая. Полагаем, что среднее течение v носит характер дифференциального вращения, которому соответствуют моды $\mathbf{v}_{k,1,0}^T$ из линейной оболочки $\{\mathbf{v}_{k_1,1,0}^T, \mathbf{v}_{k_2,2,0}^P, \mathbf{v}_{k_3,3,0}^T, \mathbf{v}_{k_4,4,0}^P, \dots\}$ инвариантной относительно кориолисова сноса. Любая такая мода порождает остальные по цепочке. Поле скорости вязкой жидкости аппроксимируется следующей комбинацией:

Поле скорости вязкой жидкости будем аппроксимировать следующей линейной комбинацией:

$$\mathbf{v} = u(t)\mathbf{v}_0 = u(t)(\alpha_1\mathbf{v}_{0,1,0}^T + \alpha_2\mathbf{v}_{0,2,0}^P + \alpha_3\mathbf{v}_{0,3,0}^T + \alpha_{11}\mathbf{v}_{1,1,0}^T + \alpha_{13}\mathbf{v}_{1,3,0}^T), \quad (1)$$

где $\mathbf{v}_0$ - мода Пуанкаре, $|v_0| = 1$, $u(t)$ - амплитуда скорости, компоненты поля скорости считаются независимыми от времени. Магнитное поле представляется минимальным количеством низших собственных мод $\mathbf{B}_{0,1,0}^P, \mathbf{B}_{0,2,0}^T, \mathbf{B}_{0,3,0}^P$, достаточных для получения осциллирующего динамо

$$\mathbf{B} = B_2^T(t)\mathbf{B}_{0,2,0}^T(\mathbf{r}) + B_1^P(t)\mathbf{B}_{0,1,0}^P(\mathbf{r}) + B_3^P(t)\mathbf{B}_{0,3,0}^P(\mathbf{r}), \quad (2)$$

где компоненты магнитного поля считаются независимыми от времени и составляющая $\mathbf{B}_1^P(\mathbf{r})$ является дипольной. Физические параметры жидкости считаем неизменными, турбулентность в ядре изотропной и используем скалярную параметризацию α -эффекта в виде функции $\alpha(r, \theta) = \alpha(r) \cos\theta$, где $\max|\alpha(r, \theta)| \sim 1$. В работе используются два варианта представления радиальной части α -эффекта: $\alpha(r) = -\sin(\pi(r - r_1))$ и $\alpha(r) = r$.

При задании радиальной части линейной функцией в области изменения параметров Re_m , R_α были получены режимы динамо как с инверсиями: затухание поля, выход на стационарный режим, регулярный режим, динамо-всплеск, так и без инверсий.

В рамках крупномасштабной модели $\alpha\Omega$ -динамо с изменяющейся интенсивностью α -генератора удаётся воспроизвести различные режимы динамо, которые наблюдаются в реальных динамо-системах. Достоинством предложенной модели является то, что источником регулярных и квазирегулярных инверсий служит её внутренняя динамика.

МАЛОМОДОВАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМО С ПАМЯТЬЮ

Казаков Е. А.^{1,2}

¹КамГУ им. Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский, Россия;

²ИКИР ДВО РАН, Паратунка, Россия;

mifistjohn@gmail.com

Существование крупномасштабных магнитных полей небесных тел успешно объясняется в рамках теории динамо. Для моделирования космических динамо-систем на характерных временах их существования ($\sim 10^9$ лет) используются малоразмерные динамические системы. Эти модели описывают на феноменологическом уровне основные свойства реальных динамо-систем, такие как квадратичная нелинейность, взаимная генерация тороидальных и полоидальных полей с помощью α - и ω -эффектов, омическая диссипация поля, подавление α -эффекта спиральностью поля.

В простейшем виде для $\alpha\omega$ -динамо подобная модель сводится к классической системе Лоренца. При этом интенсивность α -эффекта определяется текущим значением спиральности поля. Однако, есть данные о том, что этот механизм обладает пространственно-временной нелокальностью. Также нет и единого мнения о необходимости ненулевой спиральности поля для работы механизма динамо.

В настоящей работе предлагается и исследуется модель, которая дает возможность учесть эредитарность механизма подавления, а также охватывает не только $\alpha\omega$ -динамо, но и α^2 - и $\alpha^2\omega$ -динамо, важные для динамо звезд.

Математически, модель записывается в виде следующей системы:

$$\begin{aligned}\frac{dB^T}{dt} &= (\omega + \xi(\alpha_0 - \alpha)) B^P - \sigma B^T, \\ \frac{dB^P}{dt} &= (\alpha_0 - \alpha) B^T - B^P, \\ \alpha(t) &= \int_0^t J(t - \tau) Q(B^T(\tau), B^P(\tau)) d\tau,\end{aligned}\tag{1}$$

где $B^T(t)$ и $B^P(t)$ – величина тороидальной и полоидальной компонент поля, $\alpha(t)$ – динамическая часть α -генератора, $J(\cdot)$ – ядро оператора подавления, $Q(\cdot, \cdot)$. Варьирование вида ядра и квадратичной формы, позволяет моделировать различные виды эредитарности и подавления α -эффекта не только спиральность, но и, например, энергией.

В работе изучены методами теории устойчивости и вычислительно-го эксперимента динамические режимы, возникающие в системе (1) при

различных видах ядра, квадратичной формы и значениях параметров. Установлено, что в этой модели могут воспроизводиться динамические режимы, характерные для реальных динамо-систем: устойчивая генерация, регулярные и хаотические инверсии, динамо-всплески и т.п. Для некоторых частных случаев аналитически установлены области в пространстве параметров, соответствующие различным режимам генерации.

**АНАЛИЗ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ МЕТОДОМ
СОГЛАСОВАННОГО ПРЕСЛЕДОВАНИЯ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО
ВРЕМЕНИ**

Ким А.А.^{1,2}

¹*КамГУ им. Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский, Россия*

²*ИКИР ДВО РАН, Паратунка, Россия*

a.a.afanaseva@yandex.ru

Возмущения сигналов геоакустической эмиссии представляют большой интерес для исследований и часто могут выступать в качестве оперативных предвестников землетрясений. Геоакустические импульсы характеризуются сложной внутренней структурой, большим разнообразием временных форм, сильной зашумленностью и короткой длительностью. Такие особенности в совокупности с огромным объемом поступающих данных исключают ручную обработку и требуют эффективный способ выявления и анализа импульсных аномалий в автоматическом режиме. В работе рассмотрена разработка системы автоматического анализа геоакустических импульсов, состоящей из двух основных частей: подсистемы выделения импульсов геоакустической эмиссии и подсистемы анализа импульсов методом согласованного преследования.

В основе алгоритма выделения импульсов лежит использование адаптивного порога, автоматически подстраиваемого под уровень шума в сигнале. Рассмотрены механизмы для обнаружения различных аномалий импульсной природы. Описан способ определения границ выделяемых событий. Полученный алгоритм протестирован на реальных сигналах с различной степенью зашумленности.

Для частотно-временного анализа импульсов, отобранных на первом этапе работы системы, используется разреженная аппроксимация, а

именно адаптивный метод согласованного преследования. Главным недостатком согласованного преследования является его высокая вычислительная сложность. Наиболее практичным и экономически выгодным способом наращивания вычислительной мощности является организация параллельных вычислений. В работе рассмотрена параллельная реализация алгоритма адаптивного согласованного преследования с применением программно-аппаратной платформы CUDA, используемой для организации параллельных вычислений на графических процессорах.

Использование разработанной системы позволило значительно ускорить процесс анализа импульсов геоакустической эмиссии, а при наличии мощных графических процессоров обработку данных стало возможно производить в режиме реального времени.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭРЕДИТАРНОГО ОСЦИЛЛЯТОРА ФИТЦХЬЮ-НАГУМО

Липко О.Д.

*КамГУ им. Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский, Россия
olgalipko95@mail.ru*

Классическая модель осциллятора ФитцХью-Нагумо (ФН) была предложена Джин-Ичи Нагумо, Сугуру Аримото и Сюдзи Йошизава в 1962 году, а годом ранее – Ричардом ФитцХью для математического описания в биофизике распространения нервного импульса в мембране. Математическая модель осциллятора ФХН является разновидностью осциллятора Ван дер Поля-Дуффинга и поэтому эта система обладает устойчивыми колебаниями (предельными циклами) и хаотической динамикой. Так как осциллятор ФН описывает предельные циклы, то он может быть использован при моделировании циклических процессов. Например, временной динамики сейсмической активности. В случае эффекта наследственности (эредитарности) классическая модель ФХН имеет обобщение, согласно которому текущее состояние системы зависит от конечного числа предыдущих состояний. Такой эффект распространен во фрактальных средах и изучается в рамках наследственной механики. Эта работа имеет целью установить условия существования хаотических и регулярных режимов ЭФН.

**ОСОБЕННОСТИ ИНФРАЗВУКОВЫХ ВОЛН, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ
НА СТАНЦИИ IS44, В ПЕРИОД ИЗВЕРЖЕНИЙ ВУЛКАНОВ АЛАИД
(2015-2016 гг.) и КАМБАЛЬНЫЙ (2017 г.)**

Лобачева М.А.^{1,2}, Будилов Д.И.¹

¹ КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия

² КамГУ им. Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский
budilovdmi@gmail.com

Рассмотрены особенности извержения стромболианского типа вулкана Алаид в 2015 – 2016 гг. и гидротермальное извержение вулкана Камбальный в 2017 г. на полуострове Камчатка.

**ИОНИЗАЦИЯ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ПРОТОНАМИ
ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ: ЧИСЛЕННОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДОВ МОНТЕ-КАРЛО**

**Маурчев Е.А., Германенко А.В., Балабин Ю.В., Гвоздевский
Б.В., Михалко Е.А.**

Полярный геофизический институт, г. Мурманск, Россия
alex.germanenko@gmail.com

Первичные галактические космические лучи (ГКЛ) состоят из разного вида частиц, таких как электроны, ядра различных элементов, а также протонов, причем процентная доля последних находится в диапазоне от 85 % до 90 %. Достигая атмосферы Земли, эти частицы взаимодействуют с ее веществом, передавая ему свою энергию через последовательные процессы. При этом если в верхних слоях (от 80 км до 10-15 км над уровнем моря), где плотность воздуха относительно мала, преобладает ионизация, то в приземной области превалирующими становятся ядерные взаимодействия, в результате которых образуются каскады вторичных КЛ. Одной из важнейших задач физики КЛ является исследование характеристик потоков этих частиц, таких как энергетические спектры, суммарный счет в зависимости от высоты, угловые распределения, скорость ионообразования. С развитием информационных технологий, к традиционным экспериментальным методам добавилась возможность проводить подобные исследования при помощи метода Монте-Карло. Это позволяет в значительной мере расширить возможности ин-

терпретации получаемых результатов. В этой работе представлены результаты расчетов прохождения протонов ГКЛ во время минимума солнечной активности при помощи программного комплекса RUSCOSMICS. Приводятся как значения начальных параметров, так и характеристики потоков вторичных КЛ, а также оценка их вклада в образование пар ионов. Наряду с этим проводится валидация значений путем их сравнения с экспериментальными данными.

**К ВОПРОСУ АНАЛИЗА НАПРАВЛЕННЫХ СВОЙСТВ СИГНАЛОВ
ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ НА
КАМЧАТКЕ**

Солодчук А.А., Щербина А.О.

*Институт Космофизических исследований и распространения радиоволн
ДВО РАН, Россия
aleksandra@ikir.ru, albert_pkam@mail.ru*

На Камчатке в ИКИР ДВО РАН более десяти лет проводятся исследования сигналов геоакустической эмиссии, представляющих собой последовательность релаксационных импульсов различной амплитуды и длительности, с ударным возбуждением и частой заполнения от сотен герц до десяти килогерц. Для их регистрации у дна озера Микижа установлен комбинированный гидроакустический приемник, позволяющий синхронно измерять акустическое давление и три взаимно ортогональных компоненты его градиента. Применение векторно-фазовых методов позволяет решать задачу определения направления прихода звуковой волны.

В докладе рассмотрены особенности регистрации геоакустических импульсов, предложены методы определения направлений на их источники, а также оценки расстояния до источников. Приведены примеры распределения импульсов по направлениям в сейсмически спокойный периоды и при активизации деформационного процесса, связанного с землетрясениями.

В результате анализа направленных свойств сигналов установлено, что периоды подготовки и протекания заметных сейсмических событий характеризуются неравномерностью азимутального распределения потока геоакустических импульсов. При этом регистрируются как прямые сигналы, так и соответствующие им отражения от поверхности воды или нижней кромки льда, благодаря чему становится возможной локализация источников геоакустических сигналов.