



**Камчатский государственный
университет
имени Витуса Беринга**



**Камчатский государственный
технический университет**



**Институт космофизических явлений
и распространения радиоволн ДВО РАН**



**Институт вулканологии
и сейсмологии ДВО РАН**

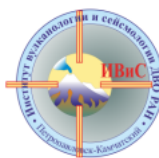


**Камчатский филиал
Федерального исследовательского центра
«Единая геофизическая служба» РАН**

МАТЕРИАЛЫ

**V Всероссийской
молодежной научной школы
«ГЕОСФЕРЫ И КОСМОС»**

2–3 октября 2023 года



ГЕОСФЕРЫ И КОСМОС

МАТЕРИАЛЫ

V Всероссийской молодежной научной школы

г. Петропавловск-Камчатский

2 – 3 октября 2023

г. Петропавловск-Камчатский,
2023

УДК 551.509.336 + 550.344.37

ББК 22.3+26.2

М 341

Материалы V Всероссийской молодежной научной школы «Геосферы и космос»: г. Петропавловск-Камчатский, 2–3 октября 2023 г. : сб. мат. – Паратунка: ИКИР ДВО РАН, 2023. – 21 с.

Научный редактор – Паровик Р.И., д-р физ.-мат. наук, доцент

В сборнике представлены материалы V Всероссийской молодежной научной школы «Геосферы и Космос». 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.

ISBN 978-5-6045275-3-5

© ИКИР ДВО РАН, 2023

© КФ ФИЦ ЕГС РАН, 2023

© ИВиС ДВО РАН, 2023

© КамГУ им. Витуса Беринга, 2023

© КГТУ, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Оргкомитет и научные направления V Всероссийской молодежной научной школы «Геосферы и космос» . .	5
Программа V Всероссийской молодежной научной школы «Геосферы и космос»	6
ЛЕКЦИИ	9
Семаков Н.Н. Изменение интегральных геомагнитных параметров вблизи сейсмоактивных зон по обсерваторским данным	9
Павлова В.Ю. Применение метода георадиолокации на Камчатке: интерпретация данных и их комплексный анализ	9
Шевцов Б.М. Свечение ночного неба над Камчаткой . . .	11
Водинчар Г.М. Каскадные модели турбулентности и их построение в системе Maple	11
ДОКЛАДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ	13
Исрапилов Д.И., Ляблин М.В., Красноперов А.М., Глаголев В.В., Кузькин А.М., Селецкий А.А., Плужников А.А., Ни Р.В., Клемешов Ю.В., Глухов В.Е., Паровик Р.И. Прецизионный лазерный инклинометр: первичные результаты работы на Камчатке	13
Казаков Е.А, Малкин Е.И., Чернева Н.В., Санников Д.В., Дружин Г.И. Статистическая связь между спрайтами и свистящими атмосфериками	13
Ким В.А. Математическая модель дробного осциллятора Дуффинга	14
Малкин Е.И., Чернева В.И., Махлай Д.О. Импульсное электромагнитное излучение при извержениях вулканов Шивелуч и Безымянный с 2017–2023 гг.	16
Полтавцева Е.В., Сагарьяров И.А., Титков Н.Н. Формирование двумерных карт полного электронного содержания ионосферы по данным ГНСС-сети, отражающих подготовку сильных камчатских землетрясений	16
Сергиенко Д.Ф., Паровик Р.И. Некоторые аспекты качественного анализа модели высокочастотной геоакустической эмиссии	17

Феофилактов С.О., Нуждаев И.А., Букатов Ю.Ю. Геофизические поля в областях гидротермально измененных пород на примере Паужетского геотермального района (Южная Камчатка)	18
Чемарёв А.С. Применение языков программирования JavaScript и Python в обработке сейсмологических данных	19
Шакирова А.А. График повторяемости тектонических и вулкано-тектонических землетрясений (значение b) .	20

**Организационный комитет
V Всероссийской молодежной научной школы
«Геосферы и космос»**

Председатель оргкомитета:

- *Марапулец Ю.В.*, д-р физ.-мат. наук, доцент, ИКИР ДВО РАН.

Сопредседатели оргкомитета:

- *Ефименко В.Н.*, канд. пед. наук, доцент, КамГУ им. Витуса Беринга;
- *Паровик Р.И.*, д-р физ.-мат. наук, доцент, ИКИР ДВО РАН.

Секретарь оргкомитета

Солодчук А.А., канд. физ.-мат. наук, ИКИР ДВО РАН.

Члены оргкомитета:

- *Водинчар Г.М.*, канд. физ.-мат. наук, доцент, ИКИР ДВО РАН, КамчатГТУ;
- *Долгая А.А.*, канд. физ.-мат. наук, ИВиС ДВО РАН;
- *Ким В.А.*, канд. физ.-мат. наук, КамГУ им. Витуса Беринга;
- *Павлова В.Ю.*, канд. геол.-мин. наук, КамГУ им. Витуса Беринга;
- *Семаков Н.Н.*, канд. геол.-мин. наук, ИНГГ СО РАН;
- *Чебров Д.В.*, канд. физ.-мат. наук, КФ ФИЦ ЕГС РАН;
- *Чемарёв А.С.*, КФ ФИЦ ЕГС РАН;
- *Чермошенцева А.А.*, канд. тех. наук, КамчатГТУ;
- *Шевцов Б.М.*, д-р физ.-мат. наук, проф., ИКИР ДВО РАН.

Цели проведения школы:

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

Основные направления работы школы:

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

ПРОГРАММА
V Всероссийской молодежной научной школы
«Геосферы и космос»

2 октября, понедельник

*Место проведения: г. Петропавловск-Камчатский,
ул. Ленинская, 69, КамГУ им. Витуса Беринга,
конференц-зал (3 этаж)*

- 9⁰⁰ – 9⁰⁵ **Открытие школы. Приветственное слово.**

ЛЕКЦИИ

- 9⁰⁵ – 9³⁰ **Изменение интегральных геомагнитных параметров вблизи сейсмоактивных зон по обсерваторским данным**
Семаков Николай Николаевич, канд. геол.-мин. наук, старший научный сотрудник лаборатории (обсерватории) солнечно-земной физики, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск
- 9³⁵ – 10⁰⁰ **Применение метода георадиолокации на Камчатке: интерпретация данных и их комплексный анализ**
Павлова Вероника Юрьевна, канд. геол.-мин. наук, доцент кафедры биологии и наук о Земле, ведущий научный сотрудник международной интегративной научно-исследовательской лаборатории экстремальных явлений Камчатки, Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский
- 10⁰⁵ – 10³⁰ **Свечение ночного неба над Камчаткой**
Шевцов Борис Михайлович, д-р физ.-мат. наук, проф., главный научный сотрудник лаборатории электромагнитных излучений, Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с. Паратунка, Камчатский край

- 10³⁵ – 11⁰⁰ **Каскадные модели турбулентности и их построение в системе Maple**

Водинчар Глеб Михайлович, канд. физ.-мат. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории моделирования физических процессов, Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с. Паратунка, Камчатский край

ДОКЛАДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

- 11⁰⁵ – 11¹⁵ **Импульсное электромагнитное излучение при извержениях вулканов Шивелуч и Безымянный с 2017–2023 гг.**

Малкин Евгений Ильич, научный сотрудник лаборатории электромагнитных излучений, Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с. Паратунка, Камчатский край

- 11²⁰ – 11³⁰ **Статистическая связь между спрайтами и свистящими атмосфериками**

Казаков Евгений Анатольевич, младший научный сотрудник лаборатории электромагнитных излучений, Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с. Паратунка, Камчатский край

- 11³⁵ – 11⁴⁵ **Математическая модель дробного осциллятора Дуффинга**

Ким Валентин Александрович, канд. физ.-мат. наук, младший научный сотрудник международной интегративной научно-исследовательской лаборатории экстремальных явлений Камчатки, Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский

- 11⁵⁰ – 12⁰⁰ **Прецизионный лазерный инклинометр: первичные результаты работы на Камчатке**

Исрапилов Даниял Исрапилович, младший научный сотрудник международной интегративной научно-исследовательской лаборатории экстремальных явлений Камчатки, руководитель информационного центра Объединенного института ядерных исследований, Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский

- 12⁰⁵ – 12¹⁵ **Формирование двумерных карт полного электронного содержания ионосферы по данным ГНСС-сети, отражающих подготовку сильных камчатских землетрясений**
Сагарьяров Илья Александрович, старший лаборант-исследователь, Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, студент 3-го года обучения, Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский
- 12²⁰ – 12³⁰ **Некоторые аспекты качественного анализа модели высокочастотной геоакустической эмиссии**
Сергиенко Дарья Фаритовна, программист лаборатории акустических исследований, Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с. Паратунка, Камчатский край
- 12³⁵ – 12⁴⁵ **Геофизические поля в областях гидротермально измененных пород на примере Паужетского геотермального района (Южная Камчатка)**
Феофилакт Феофилактов Сергей Олегович, канд. геол.-минерал. наук, научный сотрудник лаборатории геотермии, Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский
- 12⁵⁰ – 13⁰⁰ **Применение языков программирования JavaScript и Python в обработке сейсмологических данных**
Чемарев Андрей Сергеевич, научный сотрудник лаборатории сводной обработки, Камчатский филиал ФГБУН Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», г. Петропавловск-Камчатский
- 13⁰⁵ – 13¹⁵ **График повторяемости тектонических и вулкано-тектонических землетрясений (значение b)**
Шакирова Александра Альбертовна, канд. геол.-минерал. наук, научный сотрудник лаборатории исследований дегазации литосферы, Камчатский филиал ФГБУН Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», г. Петропавловск-Камчатский

3 октября, вторник

- 9⁰⁰ – 11⁰⁰ Заседание организационного комитета

ЛЕКЦИИ

Изменение интегральных геомагнитных параметров вблизи сейсмоактивных зон по обсерваторским данным

Семаков Н.Н.^{1,2}

¹ *ИНГГ СО РАН*

² *НГУ*

Изменение величины локальной магнитной постоянной (G) зависит как от изменения магнитного момента эквивалентного диполя, так и от изменения расстояния (R) между ним и обсерваторией, но не зависит от изменения ориентации этого диполя (ввиду чего эта характеристика магнитного поля и получила свое название). Вследствие этого, по изменению величины G можно оценить не только характер и масштаб изменения магнитного момента эквивалентного диполя (при фиксированном значении R), но и масштаб смещения эквивалентного диполя относительно обсерватории (при фиксированном значении магнитного момента). Но в природе, скорее всего, происходит сочетание этих процессов: возможно одновременное изменение как энергии эквивалентной токовой системы, создающей магнитное поля Земли, так и изменение расстояния от этой токовой системы до точки наблюдения. Отмечено значительное повышение корреляции указанных выше параметров для разных магнитных обсерваторий после сейсмических событий февраля 2023 года в Турции.

Применение метода георадиолокации на Камчатке: интерпретация данных и их комплексный анализ

Павлова В.Ю.

*Камчатский государственный университет имени Витуса
Беринга*

Цель исследований: создание научно-методической основы метода георадиолокации применительно к Камчатке, включая методику обработки и интерпретации данных, с учетом практического опыта применения на различных объектах.

Актуальность исследований на Камчатке:

1. Для оптимизации методов малоглубинной геофизики необходимо сопоставление и анализ результатов геофизических наблюдений в различных геологических условиях.

2. Необходимость такого изучения проявляется в трех важных направлениях: 1) изучение грунтовых условий строительных площадок для обеспечения безопасности при дальнейшем проектировании инфраструктуры в районах с высокой сейсмической активностью; 2) исследование зон разгрузки гидротермальных систем для дальнейшего освоения геотермальных ресурсов; 3) оценка применимости и последующая адаптация метода георадиолокации для изучения вулканических областей и выделения георадарных фаций, затрагивающие процесс рельефообразования.

На основании исследований получены следующие результаты:

1. На основе применения георадарных исследований впервые в условиях Камчатки показано, что в естественном залегании грунты обладают контрастными электрофизическими свойствами, позволяющими уверенно расчленять разрез грунтов по их литологическим свойствам и степени обводненности. Эти данные повышают достоверность изучения инженерно-геологических (грунтовых) условий Камчатки, что важно для обеспечения безопасности при дальнейшем проектировании инфраструктуры в районах с высокой сейсмической активностью.

2. Впервые на основе комплексного анализа данных георадиолокации получена детальная информация о гидрогеологической обстановке районов исследований некоторых гидротермальных систем. Это важно для дальнейшего освоения геотермальных ресурсов, что рассматривается как один из путей инвестиционного развития территорий. Применяемый метод и анализ данных может быть использован для других районов с подобным геологическим строением.

3. Впервые выделены георадарные фации в районе некоторых вулканов. Это затрагивает актуальные вопросы о генезисе вулканических отложений, что помогает в выяснении характера вулканической деятельности исследуемой области.

Свечение ночного неба над Камчаткой

Шевцов Б.М.

ИКИР ДВО РАН, Паратунка, Россия

Лекция посвящена исследованию космической погоды. Рассматриваются комплексные методы наблюдений физических процессов в верхней атмосфере, и на примере результатов спектрального анализа свечения ночного неба над Камчаткой показано, как они работают. Обсуждаются аномальные проявления космической погоды.

Каскадные модели турбулентности и их построение в системе Maple

Водичар Г.М.

ИКИР ДВО РАН, Паратунка, Россия

Турбулентное движение является наиболее распространенной формой движения сплошных сред в космических объектах и системах различных масштабов. Для этой хаотической формы движения характерно наполненность не только временных, но и пространственных спектров, т.е. в среде присутствуют вложенные вихревые структуры различных масштабов. В турбулентных движениях происходит перераспределение энергии между структурами различных масштабов за счет нелинейности процесса.

Прямое численное моделирование турбулентных движений на разностных сетках затруднительно из-за необходимости выделять мелкомасштабные пульсации. Это приводит к очень малым шагам сеток как по пространству, так и по времени, т.е. к огромному количеству узлов. Такое моделирование в разумные сроки проблематично даже для лучших вычислительных систем. Поэтому часто используют упрощенные модели турбулентности, описывающие те или иные ее свойства.

Одним из таких классов моделей являются каскадные модели. Они применяются для изучения процессов передачи энергии между разными масштабами и не позволяют описывать геометрию движения. Для построения этих моделей пространство масштабов разбивается на расширяющиеся в геометрической прогрессии оболочки.

Для каждой оболочки и для каждого физического поля вводится действительная или комплексная переменная, модуль которой интерпретируется как суммарная энергия всех вихрей, масштабы которых попадают в оболочку. Такая переменная называется коллективной переменной. Все коллективные переменные зависят от времени. Для этих переменных составляются динамические уравнения, подобные исходным уравнениям турбулентной системы в пространстве масштабов. Это и есть каскадная модель.

Различные модели отличаются друг от друга коэффициентами нелинейных взаимодействий между оболочками. Расчет коэффициентов основан на требованиях, которым должна удовлетворять система каскадных уравнений при отсутствии внешних сил и диссипативных членов. Это существование некоторых квадратичных инвариантов, сохранение фазового объема, существование степенных по масштабам стационарных решений. Эти требования обусловлены тем, что такими свойствами обладают исходные уравнения системы.

Вывод коэффициентов, удовлетворяющих таким свойствам, при учете нелокальных по масштабам взаимодействий, является трудоемкой аналитической задачей. Ее решение идейно простое, но требует очень громоздких преобразований алгебраических выражений. Поэтому велики шансы на ошибку и требуется много времени.

Однако процесс вывода формул для коэффициентов можно автоматизировать в системах символьных вычислений (компьютерной алгебры). Это специализированные математические пакеты, позволяющие выполнять не только вычисления, но и проводить алгебраические преобразования и точные вычисления в расширениях поля рациональных чисел.

В ИКИР ДВО РАН разработана вычислительная технология, позволяющая с помощью систем символьных вычислений генерировать параметрические классы каскадных моделей, обладающих различными комбинациями инвариантов, сохраняющих фазовые объемы, обладающих необходимыми стационарными решениями. Эта технология позволяет автоматизировать процесс вывода уравнений каскадных моделей турбулентности.

ДОКЛАДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Прецизионный лазерный инклинометр: первичные результаты работы на Камчатке

*Исрапилов Д.И.¹, Ляблин М.В.², Красноперов А.М.²,
Глаголев В.В.², Кузькин А.М.², Селецкий А.А.²,
Плужников А.А.², Ни Р.В.², Клемешов Ю.В.², Глухов В.Е.²,
Паровик Р.И.¹*

¹ ФГБОУ ВО «КамГУ им. Витуса Беринга»

² ОИЯИ

В данном докладе представлены результаты работы прецизионного лазерного инклинометра за 9 месяцев работы с начала декабря 2022 года по сентябрь 2023 года включительно в Камчатском крае. Также проведен анализ результатов и их сопоставление с сейсмической активностью в Камчатском крае за весь период наблюдений. Можно утверждать, что инклинометр фиксирует физический сигнал и работает стабильно.

Статистическая связь между спрайтами и свистящими атмосферами

*Казаков Е.А., Малкин Е.И., Чернева Н.В., Санников Д.В.,
Дружин Г.И.*

ИКИР ДВО РАН, Паратунка, Россия

Доклад посвящен подтверждению причинно-следственных связей между свистящими атмосферами, регистрируемыми в определенной точке земной поверхности, и инициирующими их ударами молнии в магнитосопряженной области. В анализе использовались данные из пунктов регистрации международной сети автоматического обнаружения вистлеров (AWDANET) и глобальной сети определения местоположения грозовых разрядов (WWLLN). По результатам анализа составлена карта распространения грозовых разрядов. Получено распределение количества совпадений по времени задержки между моментами записи свиста и удара молнии и выявлена однозначность причинно-следственной связи. Оказалось, что не все молнии в магнитосопряженной

области инициируют свисты. Только пары разрядов с временным интервалом менее 100 мс и расстоянием между ними 40 км. Последующий анализ с использованием маркера (расстояние и время задержки между разрядами) в данных WWLLN показал, что данные пары являются положительным разрядом облако-земля и спрайтом, причём именно второй разряд инициирует свист. Работа выполнена в рамках реализации государственного задания № АААА-А21-121011290003-0.

Математическая модель дробного осциллятора Дуффинга

Киш В.А.

ФГБОУ ВО «КамГУ им. Витуса Беринга»

Рассматривается нелинейное осцилляционное уравнение

$$\ddot{x}(t) + \lambda \Theta^{q(t)-1} D_{0t}^{q(t)} x(t) + \omega_0^2 x(t) + f(x, t) = 0, x(0) = x_0, \dot{x}(0) = y_0, \quad (1)$$

где λ - коэффициент вязкого трения, ω_0 - собственная частота системы, Θ - параметр, отвечающий за масштаб по времени. Оператор дробной производной в уравнении (1) берется в смысле Римана-Лиувилля:

$$D_{0t}^{q(t)} x(t) = \frac{1}{\Gamma(1 - q(t))} \frac{d}{dt} \int_0^t \frac{x(\tau) d\tau}{(t - \tau)^{q(t)}}, \quad (2)$$

где $x(t) \in C^2(0, T)$, $q(t) \in C(0, T)$, $0 < q(t) < 1$.

Решения задачи (1) ищется с помощью конечно-разностных схем.

В работах [1] - [3] были подробно исследованы нелокальная явная и неявная конечно-разностные схемы для задачи Коши (1). Были строго обоснованы вопросы устойчивости и сходимости конечно-разностных схем. Теоретические результаты были проверены тестовыми примерами.

На примере дробного осциллятора Дуффинга, когда $f(x, t) = bx^3(t) - \delta \cos(\omega t)$, где b - коэффициент нелинейности, δ и ω - амплитуда и частота внешней силы, были построены осциллограммы

и фазовые траектории, выходящие на предельные циклы. С помощью спектра максимальных показателей Ляпунова и метода сечений Пуанкаре были исследованы хаотические и регулярные режимы, а также вынужденные колебания дробного осциллятора Дуффинга, построены амплитудно-частотные, фазо-частотные характеристики (АЧХ и ФЧХ) и поверхности добротности. С помощью таблиц вычислительной точности, построенных по правилу Рунге, проведены тестовые примеры.

Для качественного и количественного анализа предложенной модели в среде Maple разработан комплекс программ, представляющий собой пользовательскую библиотеку.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МД-758.2022.1.1. Автор выражает благодарность своему научному руководителю Роману Ивановичу Паровику за ценные советы и замечания, которые способствовали улучшению результатов.

Список литературы

- [1] Kim, V.A.; Parovik, R.I., Rakhmonov Z.R. Implicit Finite-Difference Scheme for a Duffing Oscillator with a Derivative of Variable Fractional Order of the Riemann-Liouville Type Mathematical model of fractional Duffing oscillator with variable memory. *Mathematics* **2023**, Vol. 11, No. 3, 1–17.
- [2] Ким В.А., Паровик, Р.И. *Некоторые аспекты математического моделирования дробного осциллятора Дуффинга: монография*; Претропавловск-Камчатский: КамГУ им Витуса Беринга, 2022, 94 с.
- [3] Паровик, Р.И. *Хаотические и регулярные режимы дробных осцилляторов: монография*; Претропавловск-Камчатский: КамГУ им Витуса Беринга, 2019, 132 с.

**Импульсное электромагнитное излучение при
извержениях вулканов Шивелуч и Безымянный с
2017–2023 гг.**

Малкин Е.И.¹, Чернева В.И.², Махлай Д.О.²

¹ *Институт космofизических исследований и распространения
радиоволн ДВО РАН*

² *Национальный исследовательский университет ИТМО*

В работе представлен анализ мониторинга импульсного электромагнитного излучения естественного происхождения (ИЭИ) в ОНЧ диапазоне (3–30 кГц), сопутствующего «грязным» грозам, возникшим при извержении вулканов Шивелуч и Безымянный. Наличие грозовой активности в пепло-газовом облаке при извержении вулкана отслеживается при помощи радиотехнических средств мониторинга, расположенных в районе р. Карымшина. В проведенных исследованиях за период накопленных данных с 2017 по 2023 гг. было проанализировано 153 извержения вулканов Шивелуч и Безымянный, 75% из которых привели к образованию гроз при извержении.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания № АААА-А21-121011290003-0.

**Формирование двумерных карт полного электронного
содержания ионосферы по данным ГНСС-сети,
отражающих подготовку сильных камчатских
землетрясений**

Полтавцева Е.В.¹, Сагарьяров И.А.^{1,2}, Титков Н.Н.³

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

² *Камчатский государственный университет имени Витуса
Беринга*

³ *Камчатский филиал Геофизической службы РАН*

В докладе представлены результаты работы по созданию программного обеспечения, реализующего алгоритм построения и анализа двумерных карт вариаций полного электронного содержания ионосферы по данным Камчатской сети ГНСС наблюдений перед

сильными сейсмическими событиями. Целесообразность использования для краткосрочного прогнозирования сильных камчатских землетрясений данных мониторинга состояния ионосферы связывается с тем, что значимые изменения параметров ионосферы происходят, в основном, за 1-5 суток до камчатских землетрясений. При этом отмечается высокая коррелированность изменений удельного электрического сопротивления геосреды в районе Петропавловского геодинамического полигона (измерения с подземными электрическими антеннами) с изменениями полного электронного содержания (ТЕС) ионосферы над этим районом, получаемых с использованием данных Камчатской ГНСС сети.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (Проект № 23-27-00352).

Некоторые аспекты качественного анализа модели высокочастотной геоакустической эмиссии

Сергиенко Д.Ф.^{1,2}, Паровик Р.И.^{1,2}

¹ *Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга*

² *ИКИР ДВО РАН ДВО РАН*

Геоакустическая эмиссия является индикатором напряженно-деформированного состояния геосферы, поэтому исследование высокочастотной (до первых десятков килогерц) геоакустической эмиссии играет важную роль в разработке методики прогнозирования сильных землетрясений в сейсмоактивных регионах, таких как Камчатка. В работе был использован подход, основанный на построении математической модели высокочастотной геоакустической эмиссии. Математическая модель представляет собой систему из двух линейных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка с непостоянными коэффициентами. Каждое дифференциальное уравнение представляет собой импульс высокочастотной геоакустической эмиссии с определенными характеристиками, а взаимодействие между импульсами осуществляется с помощью коэффициента линейной связи.

В настоящей работе мы продолжаем дальше исследовать качественные свойства решения математической модели высокочастотной геоакустической эмиссии. Для рассматриваемой модели дано

обоснование существования и единственности решения на основе методов функционального анализа, исследована устойчивость нулевого решения математической модели, а также исследована ее устойчивость при больших временах с помощью критерия Рауса-Гурвица. Проведено исследование на жесткость, выявлено влияние параметров модели на жесткость исследуемой системы дифференциальных уравнений, приведена визуализация исследований зависимости жесткости от времени. Средствами компьютерной математики Maple, численным методом Розенброка, построены осциллограммы и фазовые траектории при различных условиях: наличия жесткости, неустойчивости и т.д. Сформулированы результаты исследования в виде теорем, а также даны направления дальнейшего исследования математической модели высокочастотной геоакустической эмиссии.

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента РФ № МД-758.2022.1.1.

Геофизические поля в областях гидротермально измененных пород на примере Паужетского геотермального района (Южная Камчатка)

Феофилактос С.О., Нуждаев И.А., Букатов Ю.Ю.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

Современные гидротермальные системы вулканических островных дуг представляют большой научный и практический интерес в связи с приуроченностью к глубинным разломам и зонам сочленения региональных тектонических структур. Во многих странах мира разведаны и эксплуатируются геотермальные месторождения с установленной мощностью ГеоЭС более 100 МВт. В отдельных случаях мощность геотермальных электрических станций достигает 1500 МВт (Гейзерс, США). На Камчатке выделены и изучены различными методами, в том числе геофизическими, более двадцати высоко- и низкотемпературных гидротермальных систем и геотермальных месторождений. Геофизические методы успешно применяются для поисков и разведки геотермальных месторождений, однако это не полный перечень возможностей современной геофизики. Рассмотрим возможности геофизических

методов на примере наиболее изученного Паужетского геотермального района Южной Камчатки. Он включает в себя три крупных структурных единицы: Кошелевкое геотермальное месторождение (одноименный вулканический массив), Паужетское геотермальное месторождение и Камбальный вулканический хребет. Рассмотрим возможности геофизических методов применительно к этому району на основании большого массива данных полученных коллективом авторов с коллегами за период полевых работ с 2008 по 2023 гг. Выполнены работы методами магниторазведки, гравиразведки, термометрии, сейсморазведки, электроразведки. В докладе будут рассмотрены возможности каждого из методов, однако их комплексирование с учетом геологических данных позволяет определять строение и физические характеристики зон разгрузки парогидротерм, выделять системы блоков пород, контролирующих разгрузку теплового потока, определить глубинный источник тепла, что было сделано для Паужетского геотермального месторождения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 22-27-00019.

Применение языков программирования JavaScript и Python в обработке сейсмологических данных

Чемарёв А.С.

КФ ФИЦ ЕГС РАН

На данный момент JavaScript и Python являются одними из самых популярных языков программирования. Это обусловлено сценариями их использования. JavaScript не имеет альтернатив при решении задачи взаимодействия пользователя с веб-страницей. Стремительное развитие интернета в последнее десятилетие привело к развитию как самого JavaScript, так и появлению большого количества библиотек, позволяющих создавать технически сложные, но одновременно удобные веб-интерфейсы. Python является универсальным языком программирования. Несмотря на то, что написанные на нем программы считаются не самыми быстрыми, а также на довольно большую конкуренцию в виде языков C/C++, C#, Java, Go, Matlab и др., простота синтаксиса и большое количество бесплатных библиотек позволяют тратить

меньше времени на разработку и расширяют спектр решаемых задач. Его можно использовать как для автоматизации процессов и разработки веб-сервисов, так и для обработки данных, в том числе популярными в последнее время методами машинного обучения.

Работа посвящена применению JavaScript и Python в лаборатории сводной обработки Камчатского филиала Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба” РАН.

Рассматриваются созданные лабораторией веб-сервисы “Интерактивная карта землетрясений” (<https://sdis.emsd.ru/map/>) и “SDIS FDSNWS”, а также обработка сейсмологических данных на примере выделения групп повторяющихся вулканических землетрясений.

График повторяемости тектонических и вулкано-тектонических землетрясений (значение b)

Шакирова А.А.

Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН

Рассматриваются вариации наклона графика повторяемости (значение b) тектонических и вулкано-тектонических землетрясений (закон повторяемости землетрясений Гутенберга-Рихтера) на примере сейсмичности, зарегистрированной в зоне субдукции Тонга и в районе вулкана Кизимен. Закон Гутенберга-Рихтера является одним из фундаментальных законов сейсмического режима, отражающим, в частности, соотношение числа слабых и сильных землетрясений в заданном временном интервале на фиксированной территории. Обычно значение b рассматривается как функция пространства или как функция времени.

Вариации значения b могут сопровождать изменение напряженно-деформированного состояния геологической среды в течение нескольких лет или месяцев. Среднемировое значение b , наблюдаемое в сейсмогенной коре в течение длительных периодов наблюдений, обычно близко к 1. Для более коротких интервалов времени и ограниченных территорий наблюдаются статистически значимые изменения. Основным фактором вариаций значения b в зонах субдукции является напряжение, возникающее в разломной зоне и окружающих породах. Также на вариации может влиять тектоническая обстановка, поровое давление, геотермический

градиент, кластеризация землетрясений, метод расчета значения b и неполные данные из каталога.

В вулканических районах в ряде случаев фиксируются высокие значения, вплоть до $b=2$. Наиболее распространенное объяснение аномально высокого значения b в вулканических регионах связано с увеличением градиента температуры, что связано с наличием активных магматических очагов. Пониженное значение b указывает на увеличение напряжения пород.

Также отмечены вариации значения b с глубиной. Изменение значения b отражает изменение физических свойств внутри погружающейся тектонической плиты в зависимости от глубины.



ISBN 978-5-6045275-3-5



9 785604 527535