



## 14-Геофизика: физика земной коры, физика океана, атмосферы

Балханов Василий Карлович, аспирант

Отдел физических проблем Бурятского научного центра Сибирского отделения РАН, отдел физических проблем

### **Масштабная инвариантность геоэлектрических параметров**

Научный руководитель: Башкуев Юрий Буддич, д.т.н., проф., зав. лаб, БНЦ СО РАН

Адрес: 670047 Улан-Удэ ул. Сахьяновой, 8

Телефон: (3012)43-32-10

E-Mail: lab@rgp.bsc.buryatia.ru                      стр. 882

Балханов Василий Карлович, аспирант

Отдел физических проблем Бурятского научного центра Сибирского отделения РАН, отдел физических проблем

### **Спектральная характеристика импеданса**

Научный руководитель: Башкуев Юрий Буддич, д.т.н., проф., зав. лаб, БНЦ СО РАН

Адрес: 670047 Улан-Удэ ул. Сахьяновой, 8

Телефон: (3012)43-32-10

E-Mail: lab@rgp.bsc.buryatia.ru                      стр. 884

Белов Дмитрий Михайлович, ассистент

Владимирский государственный университет, информатики и прикладной математики

### **Возмущения естественного электромагнитного поля Земли при землетрясениях**

Научный руководитель: Кунин Владимир Николаевич, д. ф.-м. н, профессор, Владимирский государственный университет

Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ВлГУ, кафедра ОиПФ

E-Mail: chudaki@mail.ru                      стр. 885

Борисевич Алексей Николаевич, научный сотрудник

Отдел приема и обработки космической информации ВНИИ ГОЧС, физический

### **Методы обработки данных глобального спутникового зондирования атмосферы в ультрафиолетовом диапазоне**

Научный руководитель: Границкий Лев Васильевич, к. ф.-м. н, Зам. дир. НИФТИ КГУ Минобразования РФ, зав. каф., НИФТИ КГУ Минобразования РФ, Красноярский Государственный Университет

Адрес: 660012, г. Красноярск, ул. Судостроительная, д. 95, кв. 122

Телефон: (3912) 54-40-72

E-Mail: alexey@lpoki.santa.krs.ru                      стр. 887

Борисевич Алексей Николаевич, научный сотрудник

Отдел приема и обработки космической информации ВНИИ ГОЧС, физический

### **Оценка составляющей метеорной материи в атмосферных аэрозолях по данным спектрометров TOMS**

Научный руководитель: Границкий Лев Васильевич, к. ф.-м. н, Зам. дир. НИФТИ КГУ Минобразования РФ, зав. каф., НИФТИ КГУ Минобразования РФ, Красноярский Государственный Университет

Адрес: 660012, г. Красноярск, ул. Судостроительная, д. 95, кв. 122

Телефон: (3912) 54-40-72

E-Mail: alexey@lpoki.santa.krs.ru                      стр. 889

Дубинина Валентина Александровна, аспирант

Нижегородский Государственный Технический Университет, Информационных Систем и Технологий

### **Моделирование трансформации краевых волн на шельфе моря**

Научный руководитель: Куркин Андрей Александрович, к. ф.-м. н, доцент, кафедра Прикладная математика НГТУ

Адрес: 603600, Нижний Новгород, ул. Минина, 24

Телефон: (8312)36-04-89

E-Mail: vdbna@land.ru                      стр. 891

Зайцев Андрей Иванович, аспирант  
Нижегородский Государственный Технический Университет, Информационных Систем и Технологий  
**Оценка цунамиопасности побережья Черного моря на основе численного моделирования**  
Научный руководитель: Куркин Андрей Александрович, к. ф.-м. н, доцент, кафедра Прикладная математика НГТУ  
Адрес: 603600, Нижний Новгород, ул. Минина, 24  
Телефон: (8312)36-04-89  
E-Mail: azaytsev@land.ru                      стр. 892

Киселев Алексей Владимирович, 2 курс  
Владимирский государственный университет, Радиофизики и электроники  
**Система многоканального мониторинга электромагнитного поля приземного слоя**  
Научный руководитель: Грунская Л.В., к. ф.-м. н, доцент, Владимирский государственный университет  
Адрес: 600000, Владимир, ул. Горького, 87, ВлГУ  
E-Mail: grunsk@vpti.vladimir.ru                      стр. 894

Козелков Андрей Сергеевич, аспирант  
Нижегородский Государственный Технический Университет, Информационных Систем и Технологий  
**Монтсерратское цунами 12 июля 2003 г.: наблюдения и моделирование**  
Научный руководитель: Куркин Андрей Александрович, к. ф.-м. н, доцент, кафедра Прикладная математика НГТУ  
Адрес: 603600, Нижний Новгород, ул. Минина, 24  
Телефон: (8312)36-04-89  
E-Mail: ask\_nnov@mail.ru                      стр. 896

Крупин Илья Викторович, магистрант  
УрГУ, физический  
**Аномалии в экспериментальных данных в методе переходных процессов при поиске колчеданных месторождений на Урале**  
Научный руководитель: Виноградов А.М., доктор геолого-минералогических наук, , институт геофизики УрО РАН  
Адрес: 620100, Екатеринбург, Большакова 16-93  
E-Mail: legals@mail.ru                      стр. 897

Култышев Александр Константинович, аспирант  
Тюменский Государственный Университет, физический  
**Поведение оторочки пластических систем в пористой среде**  
Научный руководитель: Федоров Константин Михайлович, д. ф.-м. н, зав кафедры, профессор, ФизФак ТюмГУ  
Адрес: 625051, ул. Пермякова, д 27, кв 29.  
Телефон: (3452)35-54-72  
E-Mail: wester@utmn.ru                      стр. 899

Ларюнин Олег Альбертович, 5 курс  
Иркутский государственный университет, физический  
**Радиофизический мониторинг тонкой структуры ионосферной плазмы над заданным регионом**  
Научный руководитель: Афанасьев Николай Тихонович, д. ф.-м. н, профессор кафедры радиофизики ИГУ, Иркутский государственный университет  
Адрес: 664017 г. Иркутск, ул.Левитана, д.14, кв.20  
E-Mail: laroleg@inbox.ru                      стр. 901

Мишин Василий Александрович, 3 курс  
Владимирский государственный университет, Радиофизики и электроники  
**Разработка метода обработки экспериментальной информации при многоканальном мониторинге электромагнитного поля приземного слоя**  
Научный руководитель: Грунская Л.В., к. ф.-м. н, доцент, Владимирский государственный университет  
Адрес: 600000, Владимир, ул. Горького, 87, ВлГУ  
E-Mail: grunsk@vpti.vladimir.ru                      стр. 903

Московченко Лариса Григорьевна, доцент  
Дальневосточный государственный университет, Институт физики и информационных технологий  
**Возмущения геомагнитного поля, индуцированные затухающим волновым пакетом с головной волной максимальной амплитуды.**  
Адрес: 690600, г. Владивосток, ул. Суханова, 8  
Телефон: (4232) 53-63-96  
E-Mail: lgmoskov@ifit.phys.dvgu.ru стр. 905

Муравьев Лев Анатольевич, 6 курс  
УГТУ-УПИ, физико-технический  
**Возможности магнитометров на базе POS при выполнении геомагнитных съемок с использованием спутниковой топопривязки**  
Научный руководитель: Уткин Владимир Иванович, Член-корреспондент РАН, Директор, Институт Геофизики УрО РАН  
стр. 907

Николаев Александр Витальевич, инженер  
Казанский государственный университет, физический  
**Экспериментальные высокоточные измерения температуры в кристаллическом фундаменте**  
Научный руководитель: Христофорова Наталья Николаевна, доктор геолого-минералогических наук, с.н.с., Казанский государственный университет  
Адрес: г. Казань, ул. Кремлевская 18, 420008  
E-Mail: 1anikola@ksu.ru стр. 909

Николкина Ирина Федоровна, 2 курс  
Нижегородский Государственный Технический Университет, Информационных Систем и Технологий  
**Исследование статистических характеристик активности циклонов в районе о. Гваделупа**  
Научный руководитель: Куркин Андрей Александрович, к. ф.-м. н, доцент, кафедра Прикладная математика НГТУ  
Адрес: 603600, Нижний Новгород, ул. Минина, 24  
Телефон: (8312)36-04-89  
E-Mail: Iri\_n@mail.ru стр. 910

Орлова Марфа Николаевна, стажер-преподаватель  
Якутский государственный университет, физико-технический институт, физический  
**Грозовые перенапряжения в линии передачи при разряде молнии между двумя облаками**  
Научный руководитель: Григорьев Юрий Михайлович, д. ф.-м. н, Зам. директора ФТИ ЯГУ, зав. каф. теор. физики, Якутский государственный университет, физико-технический институт  
Адрес: 677016, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Сергеляхская 2, корп. 12, ком 517  
E-Mail: omarfa@yandex.ru стр. 911

Примаков Сергей Сергеевич, аспирант  
Тюменский Государственный Университет, физический  
**Влияние сезонной динамики температур на тепловой расчёт заглублённых трубопроводов большого диаметра.**  
Научный руководитель: Даниэлян Ю.С., Профессор Д.Ф.М.Н., ГипроТюменНефтеГаз  
Адрес: 625062 Россия г.Тюмень а/я 3959  
Телефон: (3452)30-86-64  
E-Mail: primakovss@yandex.ru стр. 913

Ревунов Сергей Евгеньевич, 5 курс  
Нижегородский государственный педагогический университет, физический  
**Повышение эффективности прогнозирования критической частоты ионосферного слоя F2**  
Научный руководитель: Бархатов Николай Александрович, д. ф.-м. н, профессор, Нижегородский государственный педагогический университет  
Адрес: 603106 Н.Новгород, Б.Корнилова,4, 31  
Телефон: (8312)68-32-71  
E-Mail: Revunov@inbox.ru стр. 915

Самарина Наталья Михайловна, аспирант  
Нижегородский Государственный Технический Университет, Информационных Систем и Технологий  
**Моделирование локальных цунами, порожденных подводными оползнями**  
Научный руководитель: Куркин Андрей Александрович, к. ф.-м. н, доцент, кафедра Прикладная математика НГТУ  
Адрес: 603600, Нижний Новгород, ул. Минина, 24  
Телефон: (8312)36-04-89  
E-Mail: klmnat@land.ru стр. 917

Сапов Дмитрий Александрович, аспирант  
Институт Океанологии им.П.П. Ширшова РАН, Физический сектор  
**Опасность возникновения катастрофически интенсивных взвесенесущих потоков в каньонах Черного моря**  
Научный руководитель: Жмур Владимир Владимирович, д. ф.-м. н, заместитель директора, ИО РАН  
Адрес: г.Москва, Нахимовский проспект,36.  
Телефон: (095)124-63-83  
E-Mail: zhmur@ocean.ru стр. 918

Скрябина Ольга Евгеньевна, 5 курс  
Якутский Государственный университет, физико-технический институт  
**Математические проблемы моделирования направленного переноса внутренних масс Земли приливными деформациями**  
Научный руководитель: Григорьев Юрий Михайлович, д. ф.-м. н, зам. директора ФТИ по научной работе, Республика Саха(Якутия) г. Якутск ул. Кулаковского, 48 ФТИ ЯГУ  
Адрес: 677010 Республика Саха(Якутия), г. Якутск, ул. Лермонтова, 168, кв. 15  
Телефон: (4112)42-29-68  
E-Mail: dolya123@rambler.ru стр. 920

Соколов Константин Сергеевич, аспирант  
Тюменский государственный университет, физический  
**Экспресс методика определения минералогического состава пород**  
Адрес: 624048 г.Тюмень ул.Холодильная д.134 кв.39  
E-Mail: Falconov@yandex.ru стр. 922

Ткаченко Евгений Иванович, аспирант  
Тюменский государственный университет, физический  
**Численное решение нелинейного уравнения теплопроводности с фазовым переходом в спектре температур**  
Научный руководитель: Даниэлян Юрий сакович, д. ф.-м. н, , ГИПРОТЮМЕННЕФТЕГАЗ  
Адрес: 625023 г.Тюмень ул.Республики171 кв.55  
E-Mail: tkachenko\_e\_i@hotmail.ru стр. 924

Топтыгин Александр Юрьевич, аспирант  
Уральский Государственный Университет, физический  
**Восстановление относительного содержания НДО в атмосферном столбе с помощью нейронной сети**  
Научный руководитель: Грибанов Константин Геннадьевич, к. ф.-м. н, с.н.с., Уральский Государственный Университет  
Адрес: 620142 Екатеринбург Большакова 71 824  
E-Mail: malex@ngw.comprcent.usu.ru стр. 926

Умнова Олеся Валерьевна, 5 курс  
Ставропольский Государственный Университет, физико-математический  
**Одночастичная модель облакообразования**  
Научный руководитель: Самонов Виталий Евгеньевич, к. ф.-м. н, , СГУ  
Адрес: 355004 г. Ставрополь, пр. Б. Хмельницкого, 57  
E-Mail: alehiko@yandex.ru стр. 928



## Масштабная инвариантность геоэлектрических параметров

*Балханов Василий Карлович*

*Баикуев Юрий Буддич*

*Отдел физических проблем Бурятского НЦ СО РАН, г. Улан-Удэ*

*Баикуев Юрий Буддич, д.т.н*

*[lab@rgp.bsc.buryatia.ru](mailto:lab@rgp.bsc.buryatia.ru)*

Земная кора представляет собой иерархическое строение из все уменьшающихся по своим размерам блоков, начиная от крупных мегаблоков и кончая различными региональными и местными нарушениями. Вместе со средой иерархическое строение демонстрирует и распределение электрических параметров (проводимость  $\sigma$  и диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon$ ). Экспериментально такое поведение для проводимости в виде степенной зависимости от размера области выявлено в работе Крылова и Любича [1]. Нет сомнения, что аналогичная степенная зависимость должна соблюдаться и для диэлектрической проницаемости. В докладе будет показано, как скейлинговую зависимость между физическими и геобметрическими величинами можно получить, исходя из масштабной инвариантности уравнений Максвелла.

При масштабном преобразовании траектории движения материальных тел, к которым относятся и фотоны, переходят в другие, подобные траектории. При этом координаты, описываемые радиус – вектором  $\vec{r}$  и временем  $t$ , переходят в новые значения  $\vec{r}'$  и  $t'$ , связанные следующим образом [2]:

$$\vec{r}' = \lambda \vec{r}, \quad t' = \lambda^h t. \quad (1)$$

Исключая параметр  $\lambda$ , можно получить

$$r \sim t^{1/h}. \quad (2)$$

Это одно из краеугольных соотношений фрактальной геометрии [3], где  $r$  представляет собой линейный размер области, заполняемый фрактальным объектом за время  $t$ . Показатель  $h$  носит название размерности блуждания. Впервые закон (2) с показателем  $h = 2$  получил Эйнштейн при объяснении броуновского движения. Затем Ричардсон [4] и Колмогоров [5] при описании турбулентности нашли  $h = 2/3$ . Структура полимерной цепи характеризуется  $h = 5/3$  (Флори, [6]).

Очевидно, что после масштабного преобразования (1) аналогичным степенным образом должны меняться и компоненты электромагнитного поля. Тогда из инвариантности уравнений Максвелла получаем следующие преобразования для электрических параметров:

$$\varepsilon' = \lambda^{2(h-1)} \varepsilon, \quad \sigma' = \lambda^{h-2} \sigma. \quad (3)$$

Например, комбинируя с (1), находим  $\sigma \sim r^{-(2-h)}$ . Сравнивая с результатами измерений, проведенными в [1], получаем  $h = 0.53$ .

Одной из характеристик полупроводящих сред является скин – слой  $H$ , описывающий глубину зондирования приповерхностного слоя земли переменным электромагнитным полем. Для нее из теории фрактального исчисления [7] и формул (1-3) следует скейлинговая зависимость:

$$H = C \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} \frac{1}{\sigma} \left( \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon \omega} \right)^{1/h}. \quad (4)$$

Этой формулой мы уточнили результат, полученный в [8] – ввели диэлектрические свойства среды. Обратим внимание, что проводимость  $\sigma$  и диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon$  представляют собой эффективные параметры, отражающие их иерархическое распределение в неоднородной среде. Неопределенный масштабный множитель  $C$ , типичный для фрактальной геометрии [3], для подобных траекторий преобразуется как  $C' = \frac{1}{\lambda} C$ . В другом докладе авторов “Спектральная характеристика импеданса” настоящего сборника будет рассмотрена подобие импеданса и другим способом получен результат (4).

Распространение электромагнитных волн вдоль земной поверхности принято описывать функцией ослабления  $W$  [9]. В докладе будет рассказано, что считая радиотрассу неоднородной, для функции ослабления можно получить

$$W = \left( \frac{i\sigma}{\varepsilon_0 \omega} \right)^{1-1/h} . \quad (5)$$

При  $h = 2$  получаем классический результат для модуля функции ослабления однородной радиотрассы:  $\ln|W| = const - \frac{1}{2} \ln \omega$ .

Таким образом, масштабная инвариантность позволяет в спектральной характеристике учесть зависимость величин от электрических параметров среды. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (03-05-96029 и 03-07-96104).

#### Список публикаций:

- [1] Крылов С.С., Любич В.А. Масштабная зависимость кажущегося сопротивления и фрактальная структура железистых кварцитов // Физика Земли, 2002. № 12. С. 14-21.
- [2] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика. – М.: Наука, 1973. 208 с.
- [3] Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Изд-во Институт компьютерных исследований, 2002. 656 с.
- [4] Richardson L.F. The problem of contiguity: an appendix of statistics of deadly quarrels. *General Systems Yearbook*, 1961. 6. P. 139-187.
- [5] Колмогоров А.Н. Локальная структура турбулентности в несжимаемой жидкости при больших числах Рейнольдса // ДАН СССР 30, 301 (1941). P.299-303.
- [6] Гросберг А.Ю., Хохлов А.Р. Статистическая физика макромолекул. – М.: Наука. 1989. 342 с.
- [7] Балханов В.К. Введение в теорию фрактального исчисления. - Улан-Удэ.: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2001. 58 с.
- [8] Балханов В.К., Баикуев Ю.Б. Скин - слой во фрактальной среде // Конф. ВНКСФ-9, Сб. тезисов. Екатеринбург-Красноярск: АСФ Россия. 2003. С. 53-54.
- [9] Фейнберг Е.А. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. 546 с.

## Спектральная характеристика импеданса

**Балханов Василий Карлович**

*Башкуев Юрий Буддич*

*Отдел физических проблем Бурятского НЦ СО РАН, г. Улан-Удэ*

*Башкуев Юрий Буддич, д.т.н*

*[lab@rgp.bsc.buryatia.ru](mailto:lab@rgp.bsc.buryatia.ru)*

Верхняя часть земной коры сложена кристаллическими породами и характеризуется сложным геоэлектрическим строением. Важным источником информации о строении и физических свойствах земной коры являются методы, основанные на регистрации компонент электромагнитных полей на поверхности земли. Отношение компонент называется импедансом  $\delta$ , который является комплексной величиной и зависит только от электрических свойств подстилающей среды. Применяя преобразования подобия, изложенные в нашем докладе “Масштабная инвариантность геоэлектрических параметров” настоящего сборника, к определению импеданса, находим его закон преобразования:

$$\delta' = \lambda^{1-h} \delta, \quad (1)$$

где  $h$  – размерность блуждания. Закон подобия для времени  $t' = \lambda^h t$ , исключая параметр  $\lambda$ , находим  $\delta \sim t^{\frac{1-h}{h}}$ . Характер проникновения электромагнитных полей в неоднородную по электрическим параметрам полупроводящую среду можно представить как блуждание по проводящим и диэлектрическим участкам. Тогда время блуждания будет обратно пропорционально частоте  $\omega$  электромагнитных полей. Заменяя  $t$  на  $1/\omega$ , находим спектральную характеристику модуля импеданса неоднородной среды:

$$|\delta| \sim \omega^{\frac{h-1}{h}}. \quad (2)$$

В статье [1] приведены результаты расчета частотной зависимости модуля импеданса для криогенных пород. Мы для двух пунктов наблюдения результаты [1], промоделированные трех – и четырехслойными моделями геоэлектрического разреза, приведем на (рис. 1).

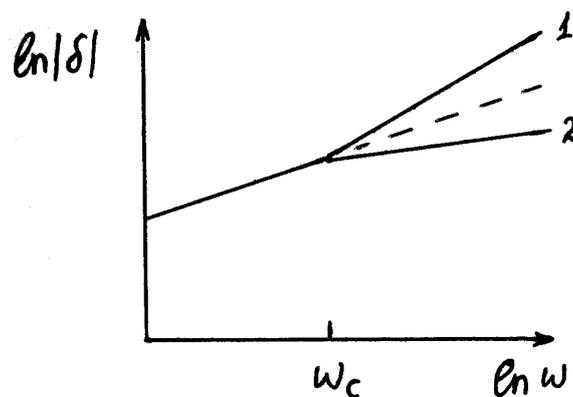


Рис. 1. Частотная зависимость модуля импеданса; 1 – трехслойный разрез, 2 – четырехслойный разрез.

Из анализа графиков следует, что на частотах, ниже  $\omega_c$ , среда представляется однородной с показателем  $h = 2$ . Выше  $\omega_c$  среда будет неоднородной, для случая 1  $h = 3.38$  и для случая 2  $h = 1.33$ .

Распределение, например, проводящих участков, в толще земной коры представляет собой канторовское множество с фрактальной размерностью  $D$  ( $0 < D < 1$ ). Можно показать, что размерность блуждания и фрактальная размерность связаны между собой следующим образом:

$$D = 1/h. \quad (3)$$

Таким образом, для однородного участка, ниже частоты  $\omega_c$ , значение  $D = 0.5$ . В случае 1  $D = 0.3$ , а в случае 2  $D = 0.75$ .

Поскольку скин слой  $H = \sqrt{2} \frac{C}{\omega} |\delta|$ , где  $C$  – скорость света, то из (2) следует результат, полученный в докладе авторов “Масштабная инвариантность геоэлектрических параметров” другим способом.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (03-05-96029 и 03-07-96104).

Список публикаций:

[1] Ангархаева Л.Х., Башкуев Ю.Б. Численные методы решения прямых и обратных задач радиоволновой электроразведки криогенных геоэлектрических сред // Труды Межд. Конф. “Математические методы в геофизике”. –Новосибирск, 2003. Ч. 1. С. 252-256.

## **О регистрации возмущений естественного электромагнитного поля Земли крайненизкочастотного радиодиапазона при землетрясениях**

**Белов Дмитрий Михайлович**

*Владимирский государственный университет*

*Кунин Владимир Николаевич, д.ф-м.н*

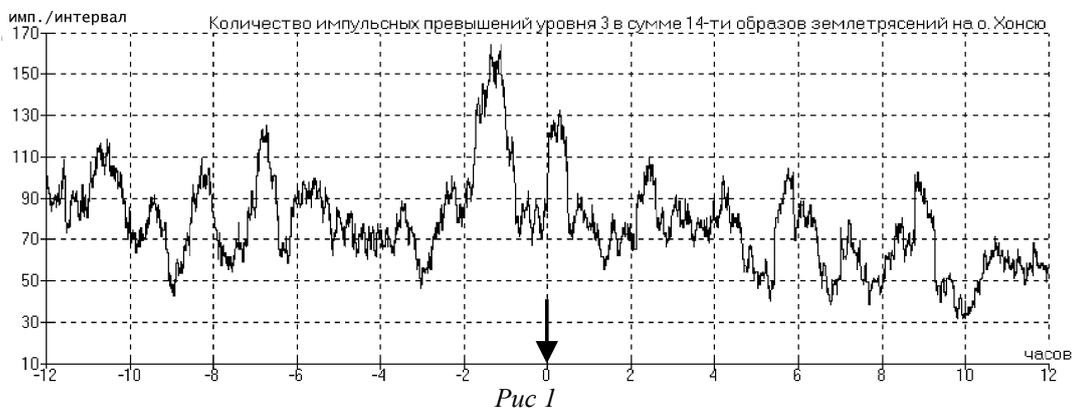
*chudaki@mail.ru*

Одним из методов оперативного прогноза землетрясений может служить интерферометрический способ регистрации электромагнитного предвестника предложенный в [1]. Метод предполагает мониторинг электромагнитного поля Земли с целью обнаружения изменения характеристик естественного электромагнитного поля Земли (ЭМПЗ), вызванного нарушением передаточной функции волновода Земля-ионосфера в регионе протекания сейсмического процесса. Возмущения в ионосферной плазме сейсмической природы изменяют параметры трассы распространения электромагнитных возмущений - волновода Земля-ионосфера. Свойства трассы распространения оказывают мультипликативное воздействие на распространяющийся сигнал, т.к. принимаемый сигнал является сверткой исходного сигнала с передаточной функцией трассы распространения. Поэтому ионосферные возмущения являются одним из источников наблюдаемых вариаций естественного электромагнитного поля Земли, и могут быть обнаружены по вариациям поля крайне низкочастотного(КНЧ) радиодиапазона (0.01 – 10 Гц).

Для выделения информации об аномалиях, возникающих на пути распространения электромагнитных волн, излучаемых многочисленными грозowymi

разрядами и иными источниками естественного КНЧ радишума, применяется многоканальная синхронная регистрация вариаций ЭМПЗ (с частотным и пространственным разнесением приемных каналов), и алгоритм совместной корреляционной обработки полученных реализаций. Вследствие различия амплитудно-частотных характеристик приемников, регистрируемые многоканальные реализации практически не коррелируют между собой. При возникновении глобальных возмущений в ионосфере её передаточная функция непрерывно изменяется на частотах возмущения, и все принимаемые реализации оказываются модулированными одной и той же частотой, т.е. становятся коррелированными между собой на этой частоте. Вычисляя глубину взаимной корреляции в эти моменты, можно тем самым получить сведения о частоте и интенсивности возмущения в ионосфере. Многомерный коэффициент корреляции можно оценить значением синхронного поточечного произведения центрированных и нормированных на дисперсию многоканальных реализаций, что является сутью метода произведений, адаптированного для выделения подшумовой информации из вариаций ЭМПЗ. Наличие в реализациях одновременной для большинства приемных каналов вариации, даже незначительной амплитуды, приводит к появлению в произведении импульсного всплеска, значительно превышающего по амплитуде стационарный уровень.

Метод произведений был успешно применен для обработки многоканальных реализаций вариаций ЭМПЗ, полученных в экспериментах 7-16 июля 2000 года на научно-исследовательском полигоне ВлГУ. Регистрирующий комплекс состоял из девяти частотно-разнесенных приемных каналов вертикальной составляющей ЭМПЗ КНЧ радиодиапазона. За время экспедиции, по информации с официального сайта геофизической службы Российской академии наук, пришлось не менее 70 сейсмических событий. Около 50% всех фиксированных в каталоге событий произошло в районе острова Хонсю. Наличие представительного ансамбля сейсмических событий, с близкими параметрами (одинаковая глубина – 33 км, магнитуды в 4.5-5.5 баллов), произошедших на одном и том же расстоянии  $10\,000 \pm 100$  км. от пункта регистрации, позволило не только качественно оценить характер электромагнитных возмущений, сопровождавших каждое событие в отдельности, но и выделить в них общее для всех событий. Для этого из графика поточечного произведения (результата математической обработки экспериментального цифрового материала) были выбраны фрагменты одинаковой длительности, содержащие одинаковые временные промежутки до и после момента главного удара (ГУ). То есть, создана библиотека образов возмущений ЭМПЗ, синхронизированных по моменту ГУ.



На рис.1 представлен график средневременного количества импульсных всплесков (СКИВ) превышающих тревожный порог в обобщенном образе землетрясений, полученном поточечным суммированием всех образов в библиотеке. В качестве порогового значения по критерию  $3\sigma$  выбрано 3 (произведение в каждом из образов предварительно нормировано на свое среднеквадратичное отклонение). Результат такой же обработки 14-ти случайно выбранных фрагментов произведения, позволяет оценить сверху СКИВ в условиях обычной помеховой обстановки величиной 110 ед. за 30 минут. Из рис.1 видно, что за 110-40 минут до момента главного удара, и непосредственно после него, СКИВ в произведении вариаций существенно (почти в два раза) выше такового для спокойной помеховой обстановки.

Выводы:

- СКИВ в синхронном произведении многоканальных реализаций однозначно связано с наличием и интенсивностью согласованных возмущений ЭМПЗ в КНЧ радиодиапазоне;

- факт увеличения интенсивности согласованных возмущений ЭМПЗ КНЧ радиодиапазона за десятки минут до землетрясения дает возможность сформировать оперативный электромагнитный предвестник землетрясения.

Список публикаций:

[1] V.N. Kunin, V.S. Pleshivtsev and E.V. Dmitrieva Registration of Large Scale Geophysical Phenomena at Global Distances By Variations of Electromagnetic Background in an Extremely Low Frequency Range // *Gravitation&Cosmology, Volume 5, №4(20), 1999, Moscow*

## **Методы обработки данных глобального спутникового зондирования атмосферы в ультрафиолетовом диапазоне**

**Борисевич Алексей Николаевич**

*Беляков Александр Валерьевич*

*Отдел приема и обработки космической информации*

*ФЦ ВНИИ ГОЧС г. Красноярск, Научно-исследовательский физико-технический институт КГУ Минобразования РФ*

*Границкий Лев Васильевич, к.ф.-м.н*

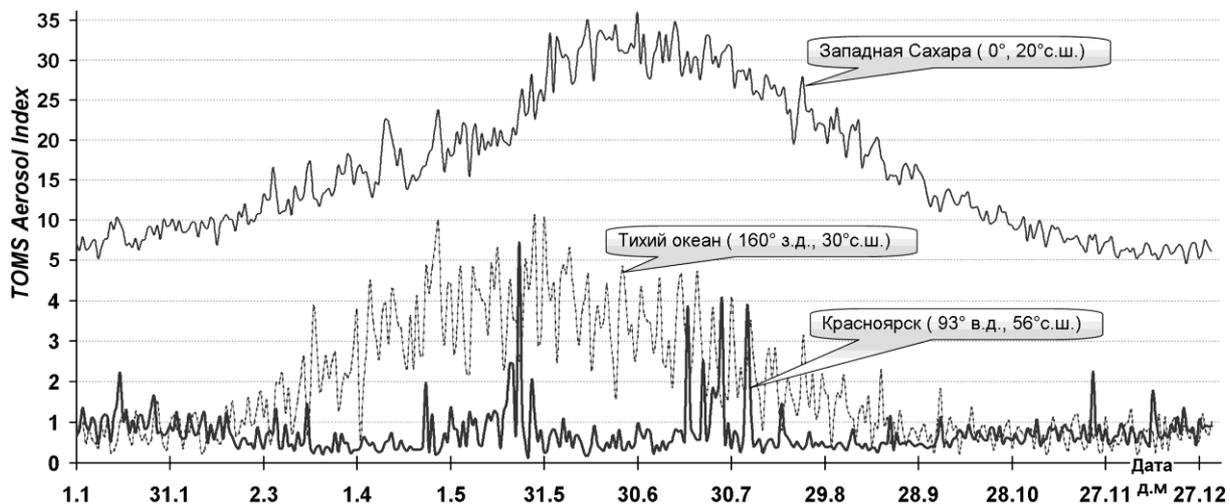
*[alexey@lpoki.santa.krs.ru](mailto:alexey@lpoki.santa.krs.ru)*

Для лучшего понимания роли атмосферных аэрозолей в радиационно-энергетическом балансе и климатообразовании необходимо всестороннее изучение климатологии и изменчивости аэрозолей в глобальном масштабе. Результаты спутникового зондирования атмосферы являются единственными доступными данными о глобальном распределении атмосферных частиц.

В данной работе изучалось содержание атмосферного аэрозоля, получаемое с помощью спектрометров TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer), которые с 1978 года устанавливаются на различных спутниках. Большую популярность этот прибор приобрел благодаря измерениям глобального распределения атмосферного озона

Информация о распределении аэрозоля, со спектрометра TOMS, представляется ежесуточными значениями аэрозольного индекса (AI), приведенными к регулярной прямоугольной геодезической сетке с ячейками  $1^\circ \times 1,25^\circ$  (51840 значений в сутки).

Ежедневно обеспечивается 85% покрытие Земного шара, за исключением полярных областей, неосвещаемых Солнцем, и экваториальных участков, непостоянно покрываемых последовательными проходами спутников. Значения AI - есть отношение контраста обратно рассеянного излучения для 340 и 380 нм относительно контраста чистой Релеевской атмосферы [1]. Теоретические модели представляют связь AI с аэрозольной оптической толщиной (АОТ). Многочисленные подспутниковые эксперименты показывают линейность зависимости значений AI и АОТ [2].



*Рис. 1. Примеры среднегодового хода Аэрозольного Индекса по данным спутникового зондирования 1978 - 1993 гг.*

В ходе работы рассмотрены два ряда наблюдений: IX.1978 – V.1993 (спутник Nimbus-7) и VI.1996 – VIII.2003 (EarthProbe). Объем исходных данных составил 1,2 Гб. Обработка производилась в электронной таблице Excel с помощью набора макросов, позволяющих оптимально использовать ресурсы вычислительной техники при работе с большими массивами данных. По 14,5-летнему ряду измерений (Nimbus-7) вычислены и построены следующие глобальные карты: среднемноголетнее значение AI, средний годовой ход суточных значений AI, параметры межгодовых вариаций, линейные тренды в течение периода наблюдений. Выявлены постоянно действующие источники поступления частиц в атмосферу: Афро-Азиатские пустыни, круглогодичные пожары тропических лесов и поверхности океанов. Наибольшие межгодовые вариации AI вызваны пожарами Бореальных лесов и вулканической деятельностью. На основании данных TOMS и спутниковых методов мониторинга лесных пожаров, разработанных и оперативно используемых в ОПОКИ ВНИИ ГОЧС, возможно детальное изучение связи дымовых аэрозолей с горением биомассы на обширных территориях.

Среднегодовые ходы AI сильно различаются в зависимости от географического местоположения (Рис. 1.) и не могут быть описаны одной унифицированной математической моделью. Построение моделей фонового состояния АОТ по значениям AI осложняется мощными непериодическими всплесками от таких источников, как очаги лесных пожаров. В этих случаях становятся неприемлемыми традиционные методы разложения на периодические составляющие и аппроксимации методом наименьших квадратов. В ходе исследования, для аппроксимирования показана целесообразность использования минимизации норм ошибок в степени меньшей 1. В результате разработан алгоритм выявления экстремальных значений AI с помощью нормирования относительно плавающего значения стандартного отклонения (Рис. 2.)

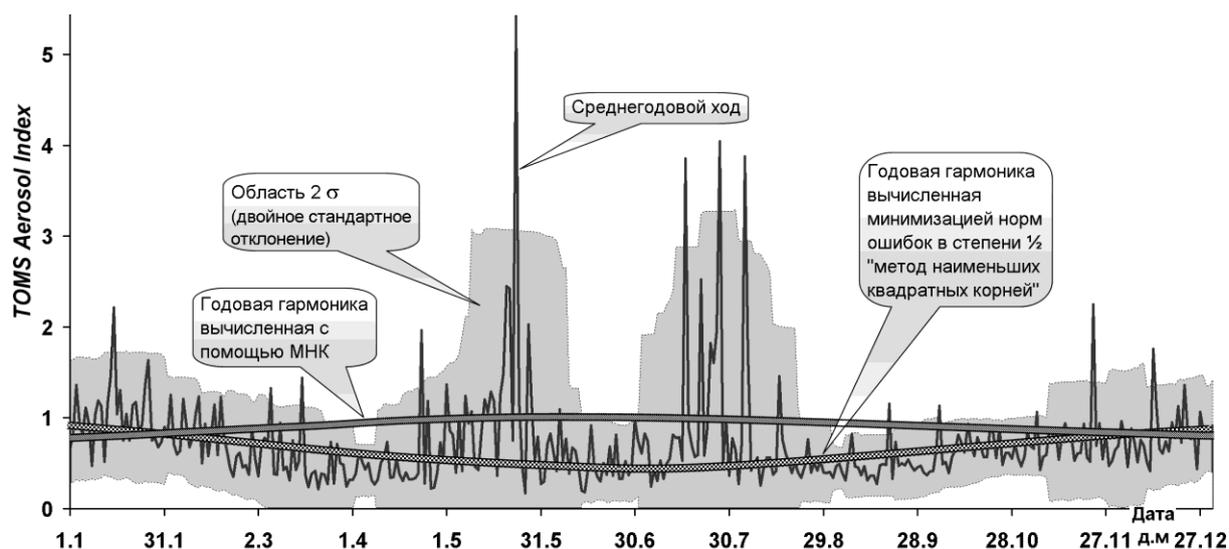


Рис. 2. Выявление экстремальных значений AI с помощью плавающей нормировки  
Сравнение аппроксимации методом МНК с минимизацией норм ошибок в степени 0,5

Список публикаций:

- [1] R. D. McPeters, P. K. Bhartia, A. J. Krueger, J. R. Herman, 1998, "Earth Probe Total Ozone Map Spectrometer (TOMS) data products user's guide", NASA Technical Publication
- [2] N. C. Hsu, J. R. Herman, O. Torres, 1999, "Comparisons of the TOMS aerosol index with Sun-photometer aerosol optical thickness: Result and applications", J. Geophys. Res., Vol. 104, 6269 – 6279
- [3] J. R. Herman, P. K. Bhartia, O. Torres, C. Hsu, C. Seftor, 1997, "Global distribution of UV-absorbing aerosols from Nimbus 7/TOMS data", J. Geophys. Res., Vol. 102, 169111 - 16922

## Оценка составляющей метеорной материи в атмосферных аэрозолях по данным спектрометров TOMS

**Борисевич Алексей Николаевич**

Беляков Александр Валерьевич

Отдел приема и обработки космической информации

ФЦ ВНИИ ГОЧС г. Красноярск, Научно-исследовательский физико-  
технический институт КГУ Минобразования РФ

Границкий Лев Васильевич, к.ф.-м.н

[alexey@lpoki.santa.krs.ru](mailto:alexey@lpoki.santa.krs.ru)

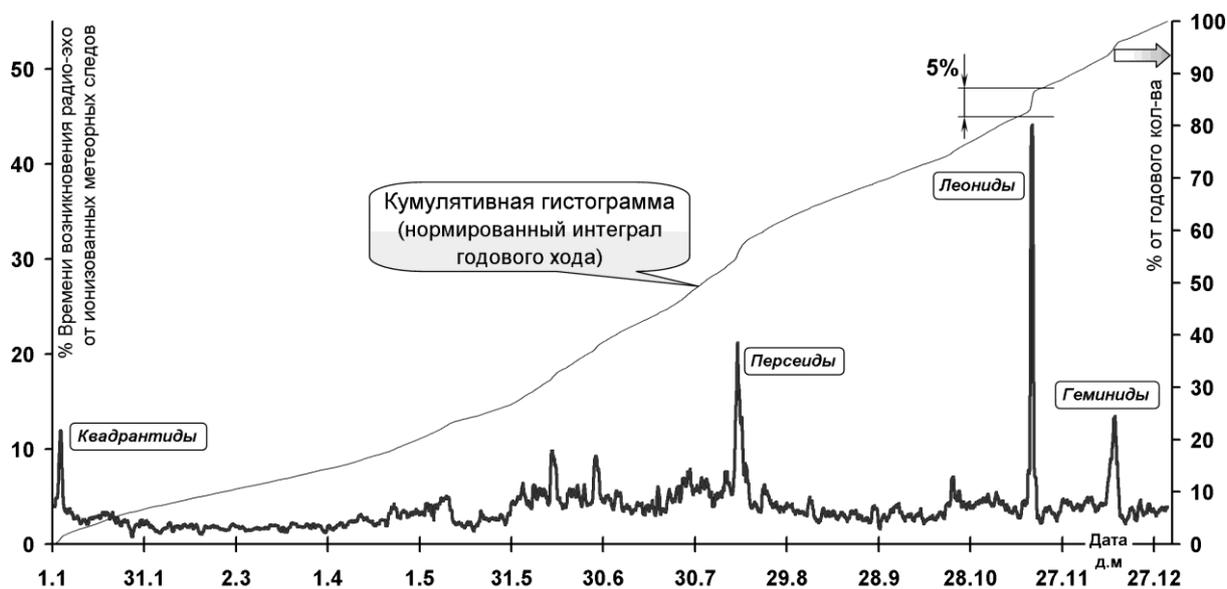
По современным оценкам ежегодно на Землю попадает  $1 - 5 \cdot 10^4$  тонн метеорной материи. Метеорные частицы при движении в космическом пространстве образуют метеорные потоки регулярные и спорадические. Большинство регулярных потоков в настоящее время хорошо изучены, вычислены параметры их орбит и отождествлены прародители метеорных потоков – кометы. Это даёт возможность с большой точностью прогнозировать время встречи Земли с космическими частицами и давать количественную оценку ожидаемой мощности потоков. В связи с периодическими прохождением родительских комет вблизи Солнца, потоки в некоторые годы способны давать резкое увеличение активности, сопровождаемое явлениями «метеорных дождей». Поток Леонид, известный более 2000 лет, с периодичностью 33

года даёт самые мощные всплески активности. Последняя вспышка его активности наблюдалась с 1998 по 2002 годы.

При вторжении в атмосферу метеорные частицы претерпевают разогрев со сложными процессами абляции (процесс механического дробления и «сдувания» плавящегося поверхностного слоя), плавлением и испарением вещества. Эти процессы сопровождаются свечением и ионизацией газов вдоль траектории движения. Затормозившиеся и аблировавшие пылевые частицы, а также реконденсированная и коагулирующая ранее испарившаяся метеорная материя под воздействием гравитации, фотофореза, диффузии и переноса адвективными потоками образуют спорадические аэрозольные облачные слои на высотах 50 – 80 км [2]. С процессом образования метеорными частицами аэрозольных слоев возможно связаны явления Серебристых (высоты ~ 80 км) и Полярных Стратосферных (~ 20-25 км) облаков [1].

Благодаря эффекту ионизации стало возможно наблюдение метеоров в радиодиапазоне, что делает доступным круглосуточные наблюдения вне зависимости от погодных условий. В настоящее время в мире действует сеть радио-наблюдателей метеоров по методу загоризонтных радио-эхо отражений. На основании самого продолжительного ряда регулярных наблюдений Гентской радиообсерватории построен среднегодовой ход метеорной активности в период максимума метеорного потока Леонид (Рис. 1.)

По методу обнаружения экстремальных значений Аэрозольного Индекса («Методы обработки данных глобального спутникового зондирования атмосферы в ультрафиолетовом диапазоне») в годы активности метеорного потока Леонид выявлены когерентные пики экстремальных значений глобального распределения AI, соответствующие максимумам метеорной активности (17-18 ноября). В годы стандартной активности Леонид этих пиковых значений не обнаружено.

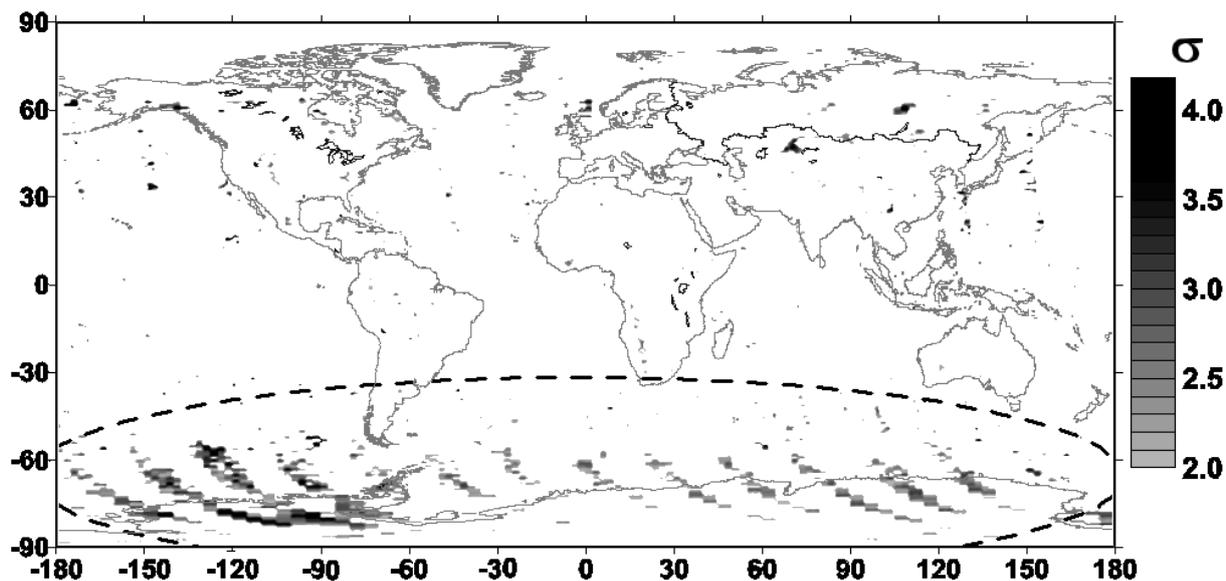


**Рис. 1. Годовой ход мощности метеорных потоков**

по данным радио-эхо наблюдений 1997 - 2002 гг., University of Ghent, Belgium

Сопоставление величин пиков экстремальных значений аэрозоля и вклада потока Леонид в годовой ход притока метеорной материи, дает возможность оценки вклада

аэрозольных частиц внеземного происхождения в аэрозольную оптическую толщину. Полученное значение составило 5%.



*Рис. 2. Проявление метеорного потока Леонид 18.11.2001 в экстремальных значениях Аэрозольного Индекса (в единицах стандартного отклонения)*

Список публикаций:

- [1] Лебединец В. Н. Аэрозоль в верхней атмосфере и космическая пыль. –Л.: Гидрометеоиздат, 1981  
[2] Г. М. Креков, С. Г. Звенигородский. Оптическая модель средней атмосферы. – Новосибирск: Наука, 1990

## **Моделирование трансформации краевых волн на шельфе моря**

**Дубинина Валентина Александровна**

*Куркин Андрей Александрович*

*Полухина Оксана Евгеньевна*

*Зайцев Андрей Иванович*

*Нижегородский Государственный Технический Университет*

*Куркин Андрей Александрович, к.ф.-м.н*

*[kurkin1@rol.ru](mailto:kurkin1@rol.ru)*

Краевые волны относятся к волнам захваченного типа, это длинные волны, которые распространяются вдоль берега и достигают максимальной амплитуды на границе с сушей, быстро спадая с удалением от берега. Такие волны в последние годы являются предметом многочисленных научных исследований в области гидродинамики, гидротехники и берегового строительства.

Эксперименты в волновых лотках и натурные измерения на океанских пляжах [1] продемонстрировали, что воздействие этих волн на побережье проявляется в образовании специфических форм рельефа, когда береговая линия представляет собой ритмическую последовательность дугообразных кривых («beach cusps») (рис. 1).



*рис. 1*

В [2] показано, что краевые волны существенны для динамики и для процессов отложений в ближней прибрежной зоне вследствие их взаимодействия с волнами зыби и прибоем, в результате чего образуется картина разрывных течений («rip currents»).

В данной работе исследован процесс пространственно-временной фокусировки краевых волн для различных профилей шельфов («шельф-ступенька», наклонный шельф конечной ширины, выпуклый экспоненциальный шельф). Обсуждаются свойства волновых пакетов в зависимости от профиля шельфа. Получены зависимости максимального волнового числа и максимума амплитуды волнового пакета от удаления от берега для различных моментов времени. Показано, что суперпозиция краевых волн для всех профилей шельфов представляет собой очень узкий импульс, вся энергия которого сосредоточена около берега и не передается в открытый океан.

#### Список публикаций

- [1] Komar P. *Beach processes and sedimentation*. 1998. Prentice-Hall Inc.  
[2] Bowen A. J., *J. Geophys. Res.*, 74, 23, 5467-5478 (1969).

## **Оценка цунамиопасности побережья Чёрного моря на основе численного моделирования**

***Зайцев Андрей Иванович***

*Куркин Андрей Александрович*

*Нижегородский Государственный Технический Университет*

*Куркин Андрей Александрович, к.ф.-м.н*

*azaytsev@land.ru*

В последние годы существенно возросло число хозяйственных объектов, располагающихся на берегах морей и океанов, и, следовательно, подверженных катастрофическому воздействию волн цунами (длинных гравитационных волн на поверхности воды, вызванных крупномасштабными непродолжительными возмущениями типа землетрясений, оползней, извержений подводных вулканов, изменений метеоусловий). Значительная часть этих объектов характеризуется высокой степенью риска, как в период их возведения так и, главным образом, в период эксплуатации. Сюда можно отнести водозаборные устройства прибрежных атомных электростанций (АЭС),

платформы шельфовой нефте- и газодобычи, порты и гавани, используемые для стоянки гражданского и военного флота, в том числе флота с ядерными энергетическими установками, а так же расположенные в прибрежной зоне предприятия химической и биологической промышленности.

Все вышесказанное в равной мере относится и к побережью Черного моря. Район Чёрного моря не отличается большой сейсмической активностью, но иногда здесь наблюдаются сильные землетрясения, которые могут сопровождаться волнами цунами. Волны цунами проявлялись на побережье практически всех стран Черноморского бассейна. Хотя общее число цунами невелико (22 события), однако только в последнем столетии было зафиксировано шесть цунами, что свидетельствует о высокой частоте повторяемости цунами (менее 20 лет). Учитывая, что с последнего цунами в 1968 году уже прошло 36 лет, то можно утверждать, что вероятность нового события достаточно высока. Именно поэтому исследованию проблемы цунами в Черном море в последние годы уделяется много внимания. В то же время, имеющиеся данные весьма неполны и не могут быть использованы прямо для оценок цунами риска даже больших участков побережья. В этих условиях сильно возрастает роль численного моделирования, позволяющего рассчитать высоты цунами во всех пунктах побережья, и тем самым увеличить объем имеющейся информации. Эта идея уже реализована для Японского моря, что позволило оценить цунамиопасность Российского и Корейского побережий.

В данной работе приводятся результаты оценки цунамиопасности побережья стран Черноморского бассейна. Выявлены участки повышенной опасности для каждой черноморской страны. Моделирование распространения цунами проводилось в рамках нелинейной теории мелкой воды (1) – (3), записанной в декартовых координатах.

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{k}{2D^2} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{k}{2D^2} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0. \quad (3)$$

Здесь  $\eta$  – смещение водной поверхности;  $t$  – время;  $x$  и  $y$  – горизонтальные координаты;  $M$  и  $N$  – потоки вдоль осей  $x$  и  $y$ ;  $D = h(x, y) + \eta$  – полная глубина, а  $h(x, y)$  – невозмущенная глубина воды;  $g$  – гравитационное ускорение;  $k = 0.0025$  – коэффициент турбулентного трения о дно. Имея в виду малые размеры расчетной области, сила Кориолиса не учитывалась.

Результаты проведенного моделирования помогают восполнить недостающую историческую и натурную информацию, обеспечивают наполнение баз данных для последующей обработки и формирования достоверного прогноза цунамиопасности прибрежной зоны Черного моря.

## **Система многоканального мониторинга электромагнитного поля приземного слоя**

***Киселев Алексей Владимирович***

*Фатеев Валерий Сергеевич*

*Грачев Андрей Александрович*

*Паухлеб Юлия Викторовна*

*Хисматова Светлана Нажиповна*

*Владимирский государственный университет*

*Грунская Любовь Валентиновна, к.ф.-м.н*

*[grunsk@vpti.vladimir.ru](mailto:grunsk@vpti.vladimir.ru)*

Создана станция многоканальной синхронной регистрации, отслеживания, хранения и обработки информации по электромагнитному полю Земли КНЧ диапазона с тестированием и калибровкой аппаратуры с помощью ЭВМ. Система предназначена для автоматического сбора информации с датчиков и их калибровки. Система обеспечивает синхронное преобразование входного сигнала, цифровую фильтрацию помех, аналого-цифровое преобразование сигналов с приемных каналов, помехозащищенную посылку данных в центральный пульт сбора, управляемую программно (в цифровом коде) генерацию стабильного низкочастотного сигнала для калибровки датчиков, а также отсчетов точного времени при помощи термостатированного генератора и синхронизацию моментов измерений с текущим временем. Система рассчитана на передачу данных в ЭВМ через стандартный последовательный порт (рис.1).

На сегодня в систему регистрации входят два пункта наблюдения, разнесенные в пространстве на 50 км. Один из пунктов расположен на физическом полигоне ВлГУ. Полигон расположен в 50 км от г. Владимира на территории 4 га и служит для регистраций электрического и магнитного полей Земли в крайненизкочастотном диапазоне (0.00001-100 Гц). Комплекс приемных антенн, настроенных на решение поставленной задачи, включает в себя антенны наземного, подземного и подводного типа; магнитные антенны (феррозондовые магнитометры); флюксометры для измерения электростатического поля Земли; метеоконкомплекс – всего 16 приемных каналов. Прием и регистрация экспериментальных данных обеспечены средствами вычислительной техники: Intel Pentium III-800MHz и Intel Celeron 600MHz, аналогово-цифровой преобразователь ЛА2-М2.

Состав приемно-регистрающего комплекса на экспериментальном полигоне: канал 1 – наземная 10-метровая антенна, электрометрический усилитель У5-7; канал 2 – наземная 40-метровая антенна, электрометрический усилитель У5-6; канал 3 – подземная 10-метровая антенна, электрометрический усилитель У5-6; канал 4 – электростатический флюксометр №2 (в экране); канал 5 – электростатический флюксометр №1; канал 6 – земля; канал 7 – вертикальная штыревая антенна усилитель AD549L; канал 9 – графитовые электроды с базой 150 метров, В7-26; канал 10 – датчик радиационного фона ДРГЗ-02; канал 11 – феррозондовый магнитометр, D компонента; канал 12 – феррозондовый магнитометр, H компонента; канал 13 – датчик влажности; канал 14 – датчик температуры; канал 15 – датчик давления; канал 8 – датчик скорости ветра; канал 16 – приземная 10-метровая антенна, усилитель AD549L; Intel Pentium III-800MHz. Уровень измеряемых полей 0,1 мВ/м - 100 В/м. Работа приемной системы на

экспериментальном полигоне осуществляется с мая по октябрь месяц ежегодно с 1997 года.

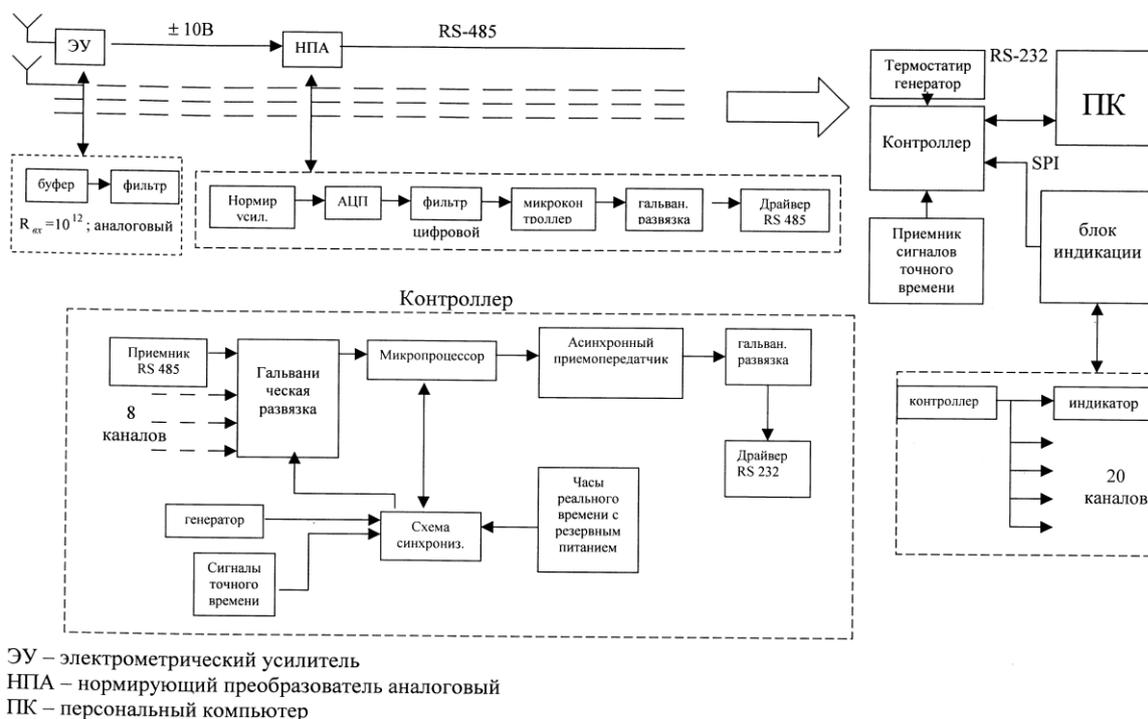


рис. 1

В процессе регистраций периодически осуществляется тестирование и калибровка приемно-регистрирующей аппаратуры. На рис. 2 – блок-схема тестирования и калибровки приемно-регистрирующей аппаратуры.

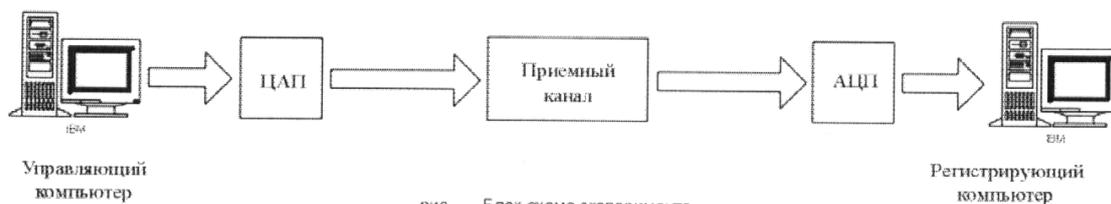


рис. 2

Работа проводится при поддержке РФФИ: гранты №01-05-64652, №02-05-06255, №02-05-79011, №00-05-79020и, №03-05-79130, №03-05-06151 и программы НТП Минобразования №209.06.01.035.

## **Монтсерратское цунами 12 июля 2003 г.: наблюдения и моделирование**

*Козелков Андрей Сергеевич*

*Пелиновский Ефим Наумович*

*Куркин Андрей Александрович*

*Заибо Нарцисс*

*Нижегородский Государственный Технический Университет*

*Куркин Андрей Александрович, к.ф.-м.н*

*[ask\\_nnov@mail.ru](mailto:ask_nnov@mail.ru)*

Обычно, говоря о цунами, вспоминают цунами сейсмического происхождения. Действительно, более восьмидесяти процентов случаев возникновения цунами, вызвано подводными землетрясениями. Однако, есть и другие причины, вызывающие волны цунами, например, извержения вулканов, возвышающихся над поверхностью моря в виде островков или расположенных на океаническом дне, причем каждое третье из них носит катастрофический характер. Наиболее яркий пример в этом отношении представляет собой образование цунами при извержении вулкана Кракатау в Зондском проливе в августе 1883 года. Извержение сопровождалось выбросом вулканического пепла на высоту 30 км. Грозный голос вулкана был слышен одновременно в Австралии и на ближайших островах Юго-Восточной Азии. 27 августа в 10 часов утра гигантской силы взрыв разрушил вулканический остров. В этот момент и возникли волны цунами, распространившиеся по всем океанам и опустошившие многие острова Малайского архипелага. В самой узкой части Зондского пролива высота волн достигала 30–35 м. Местами воды проникли в глубь Индонезии и произвели страшные разрушения. На острове Себези было уничтожено четыре деревни. Города Анжер, Мерак и Бентам были разрушены, леса и железные дороги смыты, а рыболовные суда заброшены на сушу на расстояние в несколько километров от берега океана. Берега Суматры и Явы стали неузнаваемы – все было покрыто грязью, пеплом, трупами людей и животных. Эта катастрофа принесла гибель 36000 жителей архипелага. Волны цунами распространились по всему Индийскому океану от берегов Индии на севере до мыса Доброй Надежды на юге. В Атлантическом океане они достигли Панамского перешейка, а в Тихом океане – Аляски и Сан-Франциско.

Случаи цунами при вулканических извержениях известны и в Японии. Так, 23 и 24 сентября 1952 года произошло сильное извержение подводного вулкана на рифе Мейдзин в нескольких сотнях километров от Токио. Образовавшиеся при этом волны достигли острова Хотидзе к северо-востоку от вулкана. Во время этой катастрофы погибло японское гидрографическое судно “Кайе-Мару-5”, с борта которого велись наблюдения.

Бассейн Карибского моря насчитывает порядка 65 вулканов, причем не менее 20 из них, действующие. Наиболее сильную угрозу представляет собой вулкан Суфриер, расположенный на острове Монсерат. За последние 20 лет было два извержения этого вулкана, которые сопровождались волнами цунами. Так, 12 декабря 1997 года при извержении этого вулкана была зафиксирована волна цунами высотой три метра и интенсивностью один балл. Волна наблюдалась на всех близлежащих островах, таких как Гваделупа, Антигуа, Барбуда, Санта Китс. 12 июля 2003 года, при очередном извержении этого вулкана, была зафиксирована волна цунами высотой не менее 1 метр

на острове Гваделупа. Более 10 рыбацких лодок было вынесено на берег более чем 50 метров, о чем свидетельствует запись в полицейском протоколе.

В данной работе обсуждается подход к математическому моделированию распространения волн цунами вулканического происхождения на примере цунами 12 июля 2003 года на острове Монсерат. Результаты математического моделирования сравниваются с имеющимися данными наблюдений. Обсуждается распределение высот волн цунами на отдельных участках побережья острова Гваделупа и проводится сравнение этих высот с результатами, полученными в ходе экспедиции по обследованию участков побережья, где возможно наблюдалось это цунами, в которой авторы принимали непосредственное участие.

### **Аномалии в экспериментальных данных в методе переходных процессов при поиске колчеданных месторождений на Урале**

***Крупин Илья Викторович***

*Уральский Государственный Университет*

*Виноградов Альберт Михайлович, д.г.-м.н*

*[legals@mail.ru](mailto:legals@mail.ru)*

Одной из актуальных задач современной геофизики является повышение эффективности поиска высокопроводящих массивных руд. В частности таковыми являются залежи колчеданных руд. Поскольку данные месторождения представляют собой объекты с ярко выраженной на фоне окружающей среды высокой проводимостью, то важное значение в решении данной задачи имеют методы индуктивной электроразведки. Основным принцип заключается в индуктивном возбуждении и приеме поля, т.е. возбуждение поля током, текущим в незаземленном контуре, и измерение э.д.с. наводимой в индукционной приемной рамке. Одной из разновидностей данной методики является метод переходных процессов. Он основан на измерении неустановившихся полей возбуждаемых в земле импульсами тока, в паузах между подаваемыми импульсами. Чем больше электропроводность объекта и его размеры, тем меньше тепловые потери и тем дольше переходный процесс. Поэтому по крутизне переходной характеристики можно судить об электропроводности и размерах объекта.

Данный метод успешно применяется на практике при поиске колчеданных месторождений, с применением классической теории МПП (сигнал в приемной рамке, за счет угасания возбужденных вихревых токов плавно затухает и наведенная э.д.с. приближается к нулю, и в какой-то момент становится неотличимой от наведенных помех). Но в последние десятилетия с возрастанием чувствительности аппаратуры, а так же с накоплением значительного объема данных измерений, выявилось явное несоответствие классической теории МПП и экспериментальных данных.

Первыми были получены переходные процессы, в которых наведенная э.д.с. в некоторый момент времени становилась отрицательной переходя через ноль. Была разработана дополнительная теория, которая успешно объясняла подобную аномалию возникающей поляризацией в геологических объектах.

В последние годы в ряде работ появились сообщения о более сложных формах сигналов вызванных переходными процессами. В ряде случаев сигналы могут принимать осциллирующую форму, а так же иметь более сложную нерегулярную форму. Очевидно, что подобные регулярные аномалии в ряде случаев не позволяют эффективно применять метод МПП на практике.

Можно перечислить целый ряд эффектов, которые в результате по-видимому приводят к значительному искажению результатов интерпретации экспериментов, в частности к появлению таких сложных переходных процессов.

Во-первых, это влияние техногенных процессов и объектов, природа которых не ясна или ее достаточно трудно количественно охарактеризовать и учесть.

Примером может являться серия экспериментов проведенных на участках месторождений Еленовка и Бабарык в 2002 - 2003 году, в данном случае была получена аномальные синусоидальная зависимость падения напряжения на петле от времени. Причем аномалия наблюдалась только на протяженном по длине (десятки длин приемных контуров) и ограниченном по ширине участке (два размера контура). Небольшое изменение поперечного положения приемной петли так же значительно изменяло профиль получаемой зависимости, как в сторону уменьшения амплитуды осцилляций, так и в сторону увеличения. В результате тщательного анализа местности был найден технический кабель, проходивший точно под аномальным участком, при этом положение приемного контура над ним и определяло вид зависимости ЭДС от времени. При этом в невозбужденном состоянии кабель не являлся источником какого-либо сигнала в приемной петле. На данный момент отсутствуют какие-либо численные и даже качественные методы позволяющие учесть подобные техногенные аномалии и выделить нормальную составляющую ЭДС.

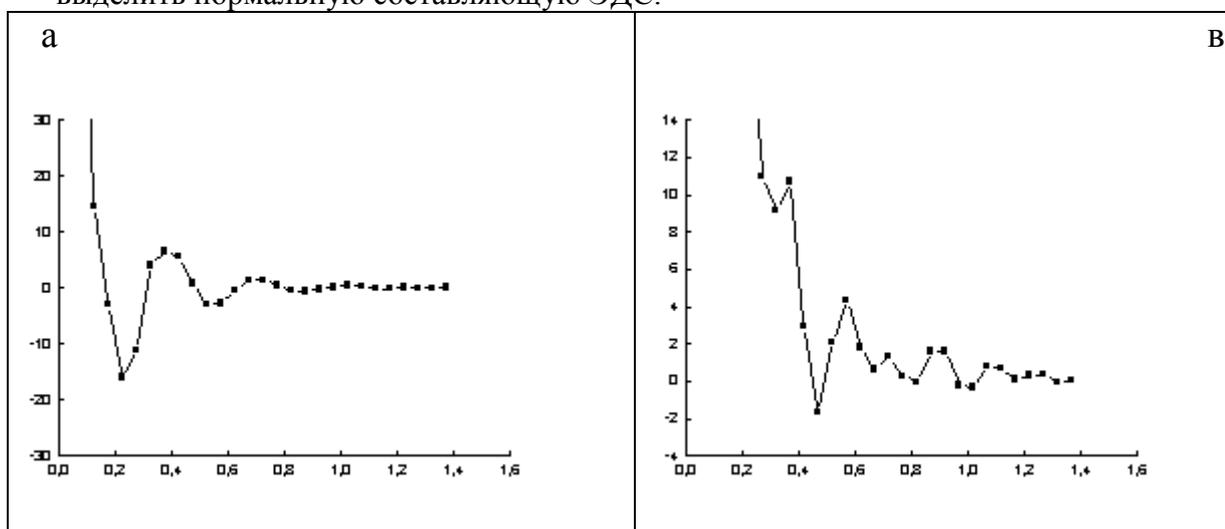


рис 1. а - осцилляции полученные автономным датчиком (месторождение Еленовка), в – сложная нерегулярная зависимость в совмещенной приемочной петле (Бабарык)

Во-вторых, немаловажное влияние оказывают неизученные технологические помехи, которые включают в себя такие факторы воздействие как положение приемочной станции, влияние катушки подводящей линии и т.д. Методов учета таких, зачастую весомых эффектов не разработано даже на качественном уровне. Хотя на практике эти эффекты всегда присутствуют в большей или меньшей степени.

В-третьих, влияет изменение окружающих условий даже для экспериментов на одной точке. Этими условиями являются, скажем, влажность, температура, уровень сигнала, зависящий от степени разряженности аккумулятора и т.д. Известно, что в ряде случаев такие незначительные эффекты то же приводили к достаточно большим или даже критическим искажениям результатов.

Не исключено, что различные сложные комплексы геологических структур могут так же давать аномальный вклад в получаемые результаты.

В заключение, можно заметить, что в реальной обстановке вышеописанные эффекты могут накладываться друг на друга. Результатом такого наложения могут являться сложные нерегулярные зависимости амплитуды э.д.с. от времени.

### **Поведение оторочки пластической системы в пористой среде**

*Култышев Александр Константинович  
Тюменский Государственный Университет  
Федоров Константин Михайлович, к.ф.-м.н  
[wester@utmn.ru](mailto:wester@utmn.ru)*

В России основным методом добычи нефти является заводнение. Но неоднородности литологического строения пласта позволяют выделить высокопроницаемые пропластки, которые истощаются в первую очередь, и низкопроницаемые, составляющие основную толщу пласта, и остающиеся практически незатронутыми к моменту прорыва воды. Поэтому, с практической точки зрения, представляет интерес возможность блокирования высокопроницаемых обводненных участков с целью перераспределения фильтрационных потоков. Данную задачу можно реализовать с помощью гелевых систем, т.к. они просты в эксплуатации и не вызывают проблем при транспортировке (в исходном состоянии это жидкости близкие по своим параметрам к воде, а оказавшись в пластовых условиях резко меняют свои характеристики).

В работе анализируется поведение гелевой пробки в одномерной модели пласта, т.е. неоднородной модели состоящей из двух параллельных насыпных колонок с различной проницаемостью (см. рис. 1)

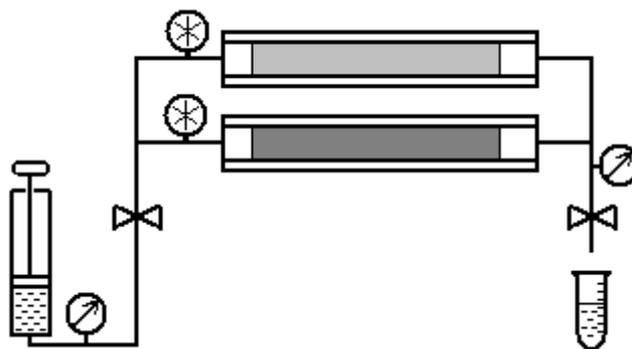


рис.1 принципиальная схема экспериментальной установки.

Считается, что колонки гидродинамически не связаны, обладают одинаковыми емкостными и геометрическими характеристиками. Процесс фильтрации является

установившимся. Будем также считать, что жидкости (вода и гель) несжимаемы и не реагирует с породой, а скелет пористой среды - недеформируем. Такой процесс описывается законом Дарси (1):

$$\frac{d}{dx} \left( k(x) \frac{dp}{dx} \right) = 0 \quad (1)$$

где  $k(x)$ -проницаемость,  $p(x)$ -давление в точке с координатой  $x$ .

На начальном этапе эксперимента через модель фильтровалось несколько поровых объемов для определения фильтрационных характеристик колонок. После чего происходила закачка исследуемого реагента в объеме  $V^* = 0,1$  от порового. Распределение геля в колонках определялось исходя из (2):

$$\begin{cases} V^*_1 + V^*_2 = V^* \\ \frac{V^*_1}{V^*_2} = \frac{k_1}{k_2} = \frac{x_1}{x_2} \end{cases} \quad (2)$$

где  $V^*_1$ ,  $V^*_2$ ,  $V^*$ -относительный объем закачиваемого реагента, попавший в первую, вторую колонку и суммарный,  $k_1$  и  $k_2$ -проницаемости первой и второй колонки,  $x_1$  и  $x_2$ -границы гелевого барьера.

Т.к. гель является квазипластической жидкостью и имеет некоторое начальное напряжение сдвига  $\tau_0$ , возможны случаи смещения пробки под влиянием перепада давления, вплоть до полного выхода из колонки, и перераспределения потоков. Что фиксировалось непосредственно по данным расходомеров и манометров. А также по косвенным данным наличия гелевого осадка в выходной бюретке.

В работе подробно анализируются факторы, влияющие на поведение гелевого барьера, к которым относятся:

1.  $\tau_0$ -начальное напряжение сдвига
2.  $V^*$ -объем закачиваемого реагента (в долях от порового объема)
3.  $C = \frac{k'}{k_0}$ -редукция проницаемости, вызванная наличием геля в коллекторе, где  $k_0$ -исходная проницаемость,  $k'$ -измененная проницаемость.
4.  $p_2 - p_1$  – перепад давления на входе  $p_1$  и выходе  $p_2$  системы

Полученные данные можно использовать в расчетах планируемых работ по увеличению нефтеотдачи и при проведении лабораторных исследований по изучению параметров гелевой композиции.

## Радиофизический мониторинг тонкой структуры ионосферной плазмы над заданным регионом

*Ларюнин Олег Альбертович*

*Иркутский государственный университет*

*Афанасьев Николай Тихонович, д.ф-м.н*

*[laroleg@inbox.ru](mailto:laroleg@inbox.ru)*

В последнее время стало известно [1], что неоднородности ионосферной плазмы не только влияют на процесс распространения радиоволн, но и могут выступать в качестве индикатора предстоящих геофизических или сейсмических событий. Поэтому наблюдения за динамикой и структурой неоднородностей с помощью радиозондирования ионосферы над заданным географическим регионом весьма актуальны. В определенной мере информацию о тонкой структуре ионосферы могут дать станции вертикального зондирования (ВЗ). Однако, вследствие ограниченного числа измеряемых характеристик радиоволны, станции ВЗ не нашли широкого применения для мониторинга неоднородностей ионосферы.

В последние годы метод ВЗ получил существенное развитие благодаря созданию цифровых ионозондов нового поколения (дигизондов), позволяющих наряду с групповой задержкой радиосигнала на разных частотах измерять вариации ряда других характеристик волны: амплитуды, фазы, доплеровского смещения частоты, углов прихода в азимутальной и вертикальной плоскостях. Имея одновременную информацию об этих характеристиках на разных частотах, можно переходить к постановке обратной задачи - восстановлению ионосферных неоднородностей по параметрам отраженного радиосигнала.

С этой целью в работе с помощью метода возмущений решена двухточечная траекторная задача при вертикальном зондировании случайно-неоднородной ионосферы.. Вначале рассмотрен двумерный изотропный случай.

В качестве исходной взята система стохастических лучевых уравнений:

$$\begin{aligned}\frac{dz}{dt} &= cn \cos \varphi \\ \frac{dx}{dt} &= cn \sin \varphi \\ \frac{d\varphi}{dt} &= c \frac{\partial n}{\partial x} \cos \varphi - c \frac{\partial n}{\partial z} \sin \varphi\end{aligned}\quad (1)$$

где  $z$  и  $x$  – вертикальная и горизонтальная координаты луча,  $t$  – групповое время запаздывания луча,  $\varphi$  - угол отклонения луча от вертикали,  $n$  – случайный показатель преломления ионосферы,  $c$  – скорость света.

Для расчета доплеровского смещения частоты использовано известное выражение[2]:

$$\Delta f = -\frac{2f}{c} \frac{\partial}{\partial t} \int_0^{z_0} \sqrt{\varepsilon} dz \quad (2)$$

где  $\varepsilon = n^2$  - диэлектрическая проницаемость ионосферы,  $f$  – частота зондирования,  $z_0$  – высота отражения.

Применяя к выражению (2) метод возмущений и считая зависимость регулярной диэлектрической проницаемости ионосферы  $\varepsilon_0$  от времени медленной по сравнению с изменениями неоднородностей  $\tilde{\varepsilon}_1(t)$ , для флуктуации доплеровского смещения частоты можно получить:

$$\Delta\tilde{f} = -\frac{f}{c} \int_0^{z_0} \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0}} \frac{\partial \tilde{\varepsilon}_1}{\partial t} dz \quad (3)$$

Выражение (2) можно использовать для построения статистических моментов доплеровского смещения частоты. Однако непосредственный расчет с помощью (2) осуществить непросто, так как подынтегральная функция имеет особенность в точке отражения. Тем не менее при отражении волн вдали от уровней экстремальной ионизации ионосферы выражение (2) можно преобразовать. Действительно, записывая его в виде

$$\Delta\tilde{f} = -\frac{2f}{c} \int_0^{z_0} \left(\frac{d\varepsilon_0}{dz}\right)^{-1} \frac{\partial \tilde{\varepsilon}_1}{\partial t} d(\sqrt{\varepsilon_0}) \quad (4)$$

и интегрируя (3) по частям, можно получить в этом случае выражение без особенности в точке отражения. Оно имеет вид:

$$\Delta\tilde{f} = \frac{f}{c} \int_0^{z_0} \sqrt{\varepsilon_0} \left( \frac{\partial^2 \varepsilon_1 / \partial z \partial t}{\partial \varepsilon_0 / \partial z} - \frac{\partial \varepsilon_1 / \partial t}{(\partial \varepsilon_0 / \partial z)^2} \frac{\partial^2 \varepsilon_0}{\partial z^2} \right) dz \quad (5)$$

Решение для флуктуации угла  $\varphi$ , полученное в результате асимптотического интегрирования системы (1) и выражение (5) для флуктуации доплеровского смещения частоты использованы при построении статистических моментов этих характеристик. Случайные неоднородности диэлектрической проницаемости ионосферы описывались корреляционным эллипсоидом с учетом выполнения гипотезы о переносе замороженной турбулентности:

$$K(x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2, t_1, t_2) = \langle \tilde{\varepsilon}^2 \rangle \exp \left[ -\frac{1}{l^2} \left[ (x_1 - x_2 - V(t_1 - t_2))^2 + (y_1 - y_2 - V(t_1 - t_2))^2 + (z_1 - z_2 - V(t_1 - t_2))^2 \right] \right] \quad (6)$$

здесь  $V$  – скорость движения поля неоднородностей,  $\langle \varepsilon^2 \rangle$  и  $l$  – соответственно интенсивность и масштаб неоднородностей.

В работе сделано обобщение на трехмерный случай. С помощью численного моделирования проведено восстановление параметров корреляционного эллипсоида по статистическим характеристикам радиосигнала.

#### Список публикаций:

- [1] Мониторинг окружающей среды и проблемы солнечно-земной физики. Тезисы докладов международного симпозиума. Томск: ТГУ, СФТИ, 1996г. –146с.  
 [2] Намазов С.А., Новиков В.Д., Хмельницкий И.А. Доплеровское смещение частоты при ионосферном распространении декаметровых радиоволн. // Изв. ВУЗов. Радиофизика.-1975. Т.XVII, №4. С.473-498.  
 [3] Ларюнин О.А., Афанасьев Н.Т. О флуктуациях доплеровского смещения частоты при вертикальном зондировании ионосферы //Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды VI сессии молодых ученых “Волновые процессы в проблеме космической погоды”. Иркутск, 2003.

## Разработка метода обработки экспериментальной информации при многоканальном мониторинге электромагнитного поля приземного слоя

*Мишин Василий Александрович*

*Владимирский государственный университет*

*Грунская Любовь Валентиновна, к.ф.-м.н.*

*[grunsk@vpti.vladimir.ru](mailto:grunsk@vpti.vladimir.ru)*

Разработан модифицированный вариант корреляционного квадратурного обнаружителя с включением в его структуру фильтра низких частот, что позволило повысить достоверность результатов корреляционно-спектрального анализа, проводимого по экспериментальным регистрациям электрического поля приземного слоя в задаче выделения частотных компонент, связанных с суточным вращением Земли, лунно-солнечными приливами и гравитационно-волновым излучением астрофизических источников.

Результат свёртки подаётся на вход оптимального квадратурного приёмника, который является устройством, позволяющим получить оценку уровня гармонической компоненты в спектре входного сигнала.

Оптимальная оценка амплитуды сигнала  $S(t)$  со случайной начальной фазой может быть получена как величина, пропорциональная  $Z$ :

$$\begin{matrix} Z_1 \\ Z_2 \end{matrix} = \begin{matrix} \text{Re} \\ \text{Im} \end{matrix} \left[ \frac{1}{2} \int_0^T Y^*(t) \times S^*(t) dt \right] = \int_0^T Y(t) \times S(t) \begin{matrix} \cos \\ \sin \end{matrix} [2\pi f_0 t + \gamma(t)] dt \quad (1)$$

$$Z = \sqrt{Z_1^2 + Z_2^2}, \quad (2)$$

где  $Y(t)$ -принятый сигнал,  $S(t)$ -опорный гармонический сигнал.

Исследования показали, что такой приёмник имеет частотную характеристику типа  $\sin(x)/x$ . При воздействии на него сигнала с равномерным спектром, в отклике имеет место главный лепесток и боковые лепестки. Центральный лепесток соответствует частоте входного сигнала  $f_0$ . Ширина главного (центрального) лепестка:  $2/N$ , где  $N$  – число входных отсчётов. Высота первого бокового лепестка всегда составляет 23% от высоты главного и не зависит ни от диапазона частот, ни от числа входных отсчётов. За разрешающую способность такого устройства можно принять ширину главного лепестка. При применении такого приёмника для спектрального анализа желательно иметь ширину главного лепестка как можно уже, при малом уровне боковых лепестков.

Задача подавления боковых лепестков решалась введением фильтра низких частот в структуру (рис. 1). Применение фильтра низких частот вместо интегратора позволило улучшить его частотную характеристику при незначительном расширении главного лепестка.

Данная структура была применена для решения задач оптимальной оценки уровня спектральных компонент, соответствующих частотам суточного вращения Земли, лунно-солнечных приливов и гравитационно-волновых излучений астрофизических источников. Указанные спектральные компоненты оценивались на основании

экспериментальных данных, полученных при регистрации электрического поля приземного слоя Земли.

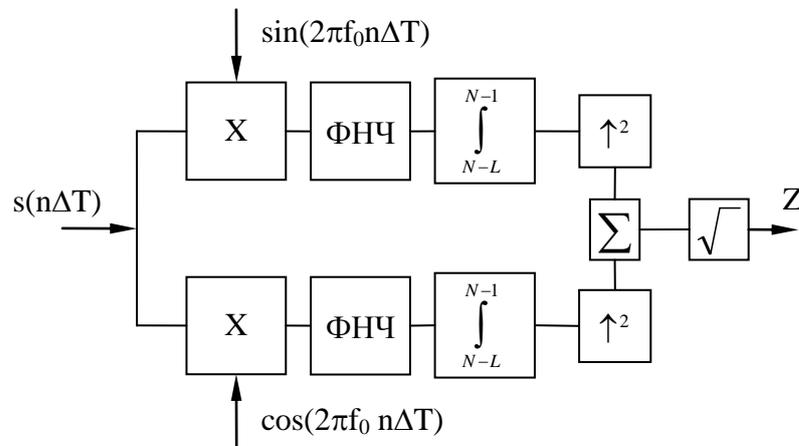


рис. 1. Структурная схема ККП с фильтром низких частот:  $n$  – номер отсчёта;  $\Delta T$  – время дискретизации входного сигнала;  $N$  – общее количество отсчётов;  $L$  – длина переходного процесса ФНЧ;  $f_0$  – опорная частота

Однако, такое решение не вполне удобно: при обработке на каждой опорной частоте необходимо изменять порядок применяемого фильтра. Более того, на сверхнизких частотах требуется использование фильтров высокого порядка, что увеличивает объём памяти и время обработки. Альтернативным вариантом решения этой задачи является взвешивание исходных данных окном вида (1), где  $T$  – длина входной реализации. Выбор формы окна обусловлен линейностью его фазочастотной характеристики. На вход приёмника подаётся взвешенный сигнал. Эта операция позволяет снизить уровень боковых лепестков до 7% от высоты главного при его незначительном расширении. Вид АЧХ приведён на рис. 2.

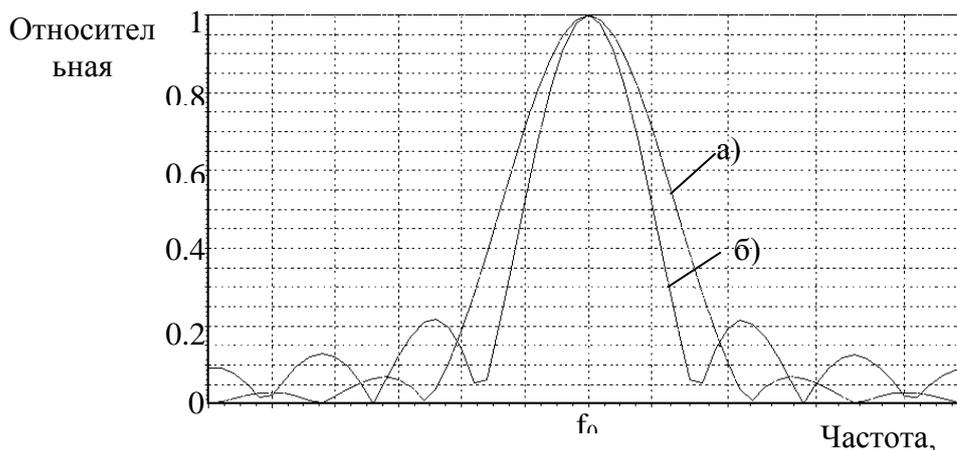


рис. 2. Частотные характеристики. а) с взвешиванием исходных данных б) без взвешивания исходных данных

Работа проводится при поддержке РФФИ: гранты №01-05-64652, №02-05-06255, №02-05-79011, №00-05-79020и, №03-05-79130, №03-05-06151 и программы НТП Минобразования №209.06.01.035.

## **Возмущения геомагнитного поля, индуцированные затухающим волновым пакетом с головной волной максимальной амплитуды.**

*Московченко Лариса Григорьевна*

*Дальневосточный государственный университет*

*lgmoskov@ifit.phys.dvgu.ru*

Гигантские морские волны – цунами, являются одним из самых опасных стихийных бедствий. Правильно организованная служба предупреждения о цунами способствовала бы значительному уменьшению разрушительных последствий этих волн. Основой современной службы цунами является определение гидродинамических характеристик уже возникших волн. Этот метод требует времени порядка периода волны (~100 мин), кроме того, он не является достаточно надежным. Именно поэтому актуальны изучение эффектов, сопровождающих возникновение и распространение волн цунами, и разработка нетрадиционных методов их обнаружения в открытом океане. Одним из сопутствующих эффектов, который может использоваться в качестве предвестника волн цунами, является электромагнитное поле, индуцируемое при движении морской воды в магнитном поле Земли.

Обычно размеры очага цунамигенного землетрясения во много раз превосходят глубину океана, и излучаемые волны имеют максимум энергии на низких частотах. При этом дисперсия их незначительна, и форма распространяющейся волны устойчива. Падения амплитуды с удалением от очага происходит медленно. Волна, имевшая в момент зарождения вид одиночного возмущения с характерным размером 100 миль при постоянной глубине океана  $H=3$  мили проходит расстояние в 3000 миль практически без изменения формы, сохранив свою высоту и характер одиночного возмущения [1]. Но уже при уменьшении характерного масштаба волны до 50 миль при тех же условиях распространения наблюдаются искажения формы волны: падение амплитуды, возникновение высокочастотного хвоста, отставание первого максимума от фронта. В обоих случаях, однако, энергия устойчиво удерживается в головной волне цуга, которая остается самой высокой. Эта закономерность характерна для всех длинных волн цунами в открытом море и может нарушаться только за счет особенностей исходного возмущения.

В данной работе рассчитываются электромагнитные возмущения, индуцируемые экспоненциально затухающим цугом волн с головной волной максимальной амплитуды:

$$\xi_x = -\xi_0 \gamma(-y) \sin \kappa y e^{\alpha \kappa y},$$

где  $\xi_0$  - амплитуда максимальной волны цуга,  $y = x - ct$ ,  $\kappa = \omega/c$ ,  $c = \sqrt{gH}$  - фазовая скорость,  $\alpha$  - показатель огибающей экспоненты,  $\gamma(y)$  - ступенчатая функция Хевисайда. Для расчета использован метод представления индуцированных полей в виде суперпозиции полоидальной (PM) и тороидальной (TM) магнитных мод [2]. PM мода вызывается горизонтальными токовыми системами. TM мода обусловлена токами, текущими в вертикальных плоскостях.

В итоге для вертикальной компоненты поля возмущений  $B_z$  получено выражение

$$B_z = -\frac{1}{4\pi} \mu \sigma c \xi_0 F_z e^{\alpha ky} \operatorname{Im} [e^{-iky} \Gamma(0, \alpha ky - iky) - e^{iky} \Gamma(0, \alpha ky + iky)].$$

Здесь

$$\Gamma(\alpha, z) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

- неполная гамма-функция,  $\mu$  - магнитная постоянная,  $\sigma$  - проводимость морской воды,  $F_z$  - вертикальная компонента магнитного поля Земли.

График  $B_z$  приведен на рис. 1. Расчетные значения параметров:  $c = 200$  м/с,  $\sigma = 4$  См/м,  $F_z = 5 \cdot 10^4$  γ,  $\xi_0 = 0,4$  м,  $\kappa = 10^{-5}$  м<sup>-1</sup>,  $\alpha = 0,1$ . Можно сделать вывод, что электромагнитный предвестник амплитуды порядка единиц гамм опережает приход волны и может быть зарегистрирован на расстоянии, в 2-3 раза превышающем горизонтальный масштаб волны. Это свойство и позволяет использовать вертикальную компоненту магнитного поля, индуцируемого волной цунами в качестве предвестника ее прихода на побережье.

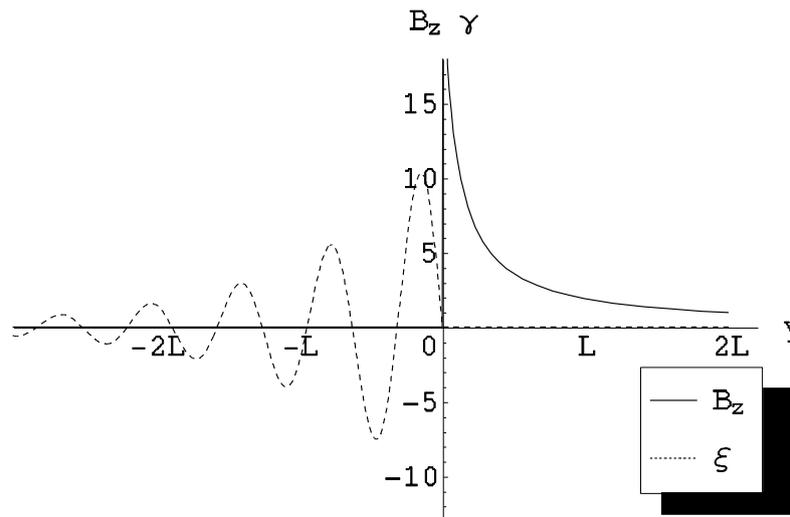


Рис. 1

#### Список публикаций:

- [1] Динамика океана. Под ред. Ю.П.Доронина. Л.: Гидрометиздат. 1980. 304 с.  
 [2] Chave A., Luther D. Lowfrequency, motionally induced electromagnetic fields in the ocean. 1. Theory. // J. Geophys. Res. C. 1990. v. 95. N.5. p. 7185-7200.

## **Возможности магнитометров POS при выполнении геомагнитных съемок с использованием спутниковой топопривязки**

*Муравьев Лев Анатольевич*

*Денисова Ольга Владимировна*

*Уральский Государственный технический Университет*

*Уткин Владимир Иванович, д.ф.-м.н*

*mlev@mail.ru*

Появление магнитометрической аппаратуры нового поколения требует отработки методики внедрения ее в практику геологоразведочных работ.

Для испытаний нами выбраны магнитометры на базе процессорного оверхаузеровского датчика (POS) особенностями которого являются [1]:

- стабильность на уровне 0.02 нТл в год,
- отсчетная точность 0.001 нТл,
- частота опроса от одного измерения в секунду.
- работоспособность в градиентах до 10000 нТл/м.

Кроме того, магнитометр оснащается устройством накопления данных (DLPOS), с простым и удобным интерфейсом и возможностью связи с компьютером.

При проведении магнитных съемок необходимо учитывать вариации геомагнитного поля. При пониженных требованиях к точности допускается использовать магнитограммы ближайшей к району работы магнитной обсерватории, однако во всех случаях, согласно инструкции по магниторазведке [2], рекомендуется оборудовать вариационную станцию. В качестве ее может выступать аналогичный магнитометр POS. Для обеспечения одновременности измерения магнитного поля предусмотрена электронная синхронизация внутренних часов магнитометра и вариационной станции. В таком случае погрешность учета вариации составит величину, сравнимую со средней погрешностью одного измерения.

С помощью магнитометров POS, один из которых является перемещаемым по исследуемой площади, а другой используется в качестве вариационной станции, можно создать комплекс, позволяющий качественно и оперативно проводить геомагнитные съемки местности. Причем, если требуется проведение высокочувствительной градиентометрической съемки, то может быть использован градиентометр на базе датчика POS-2. В этот комплекс входит также и программное обеспечение для учета вариации геомагнитного поля за время наблюдения, пересчета координат (из геодезических в прямоугольные), построения графиков и карт изолиний магнитного поля, оценочной интерпретации результатов.

Сопряжение магнитометра с приемником спутниковой системы позиционирования позволяет существенно повысить эффективность и оперативность выполнения магнитных съемок. При этом каждое измерение магнитного поля сопровождается записью геодезических координат точки наблюдения.

Использование спутниковой топопривязки позволяет реализовать непрерывный сбор данных на съемочном маршруте, так называемый “пешеходный” вариант работы. Данные записываются через дискретные промежутки времени (с частотой до одного измерения в секунду) во время перемещения прибора по маршруту. Главное достоинство пешеходного режима - высокая частота выборки, увеличивающая точность

локализации геологических структур, при этом возрастает эффективность съемки и уменьшаются полевые расходы - особенно при наземной детализации.

Кроме того, существует возможность установки встроенных часов магнитометра по всемирному времени с помощью GPS с точностью до секунды.

При выборе модели приемника GPS, используемого совместно с магнитометром, можно руководствоваться следующими критериями:

- приемлемая для данной задачи точность позиционирования
- компактность, легкость в транспортировке, простота подключения,
- цена

Геодезические приемники GPS, обладающие максимальной точностью позиционирования (до нескольких мм в дифференциальном режиме), сильно проигрывают в легкости транспортировки и обладают не всегда доступной ценой, поэтому была рассмотрена возможность применения доступных по цене персональных носимых приемников Garmin. В полевых работах нами были использованы приемники Garmin GPS II+ и III+, работающие по протоколу NMEA. Такая аппаратура обладает точностью определения плановых координат до 3-4 м.

Требования к точности плановой привязки измерения определяются требованиями к итоговым результатам, топологией геомагнитного поля на исследуемом участке, а также точностью используемой измерительной аппаратуры. Итоговыми результатами съемочных работ являются карты геофизических полей заданного масштаба [3]. Согласно требованиям инструкции [4], допустимая среднеквадратичная погрешность геодезической привязки в плане не должна превышать 0,8 мм в масштабе отчетной карты. В случае проведения картировочно-поисковых, и поисково-разведочных съемок масштабов 1:5000 и мельче требования к точности топопривязки будут выполнены.

При проведении детальных съемок масштабов крупнее 1:5000 для повышения точности топопривязки можно применять накопление данных, более точную привязку контрольных точек маршрута, сглаживание измеренных значений координат. Однако, в случае измерения параметров спокойных, слабоградиентных полей погрешность в определении координат не окажет заметного влияния на точность съемки. Вместе с тем, при наличии интенсивных аномалий (сотни и тысячи нТл) не требуется высокой точности съемки (достаточно 20 - 30 нТл), что также снижает требования к топопривязке.

Таким образом, опробованная методика выполнения магнитной съемки с помощью геомагнитометров POS с учетом вариации и применением спутниковой топопривязки, обеспечивает точность, соответствующую требованиям инструкций.

Список публикаций:

[1] Процессорный оверхаузеровский датчик POS-1 (ПОС-1) Руководство по эксплуатации. Лаб. КМ УГТУ. Екатеринбург, 2000

[2] Инструкция по магниторазведке. Наземная магнитная съемка. Аэромагнитная съемка. Гидромагнитная съемка. – Л. Недра. 1981 .

[3] В.А.Глаголев. Влияние погрешностей плановой геодезической привязки и синхронизации измерений на точность геофизической съемки. Геофизическая аппаратура. Вып 102. Вирг-Рудгеофизика, С-Пб, 1999 г.

[4] Инструкция по топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ. Новосибирск: СНИИГГиМС. 1997 г.

## Экспериментальные высокоточные измерения температуры в кристаллическом фундаменте

*Николаев Александр Витальевич*

*Казанский Государственный Университет*

*Христофорова Наталья Николаевна, д.г.-м.н*

*[Alexandr.Nikolaev@ksu.ru](mailto:Alexandr.Nikolaev@ksu.ru)*

В составе научно-исследовательской экспедиции Казанского государственного университета летом и осенью 2003 года я проводил экспериментальные исследования в кристаллическом фундаменте земной коры.

Были проведены высокоточные измерения температуры в глубоких скважинах Мелекесской впадины и Татарского свода.

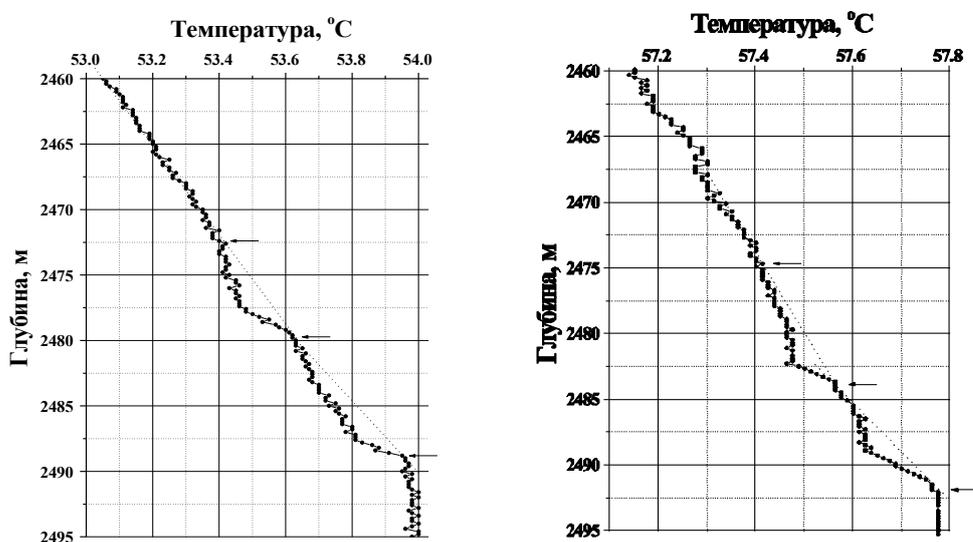


рис.1 Распределение температуры в кристаллическом фундаменте скважин № 33 и 34 (Мелекесская впадина, Восточно-Европейская платформа)

Экспериментальные измерения выполнялись с помощью электронной дистанционной исследовательской станции ЭДИС-КГУ. Станция разрабатывалась и многократно модернизировалась сотрудниками кафедры радиоэлектроники Казанского университета. Аппаратура сочетает высокие метрологические параметры – быстроедействие, точность, чувствительность ( $0.01^{\circ}\text{C}$ ) – с мобильностью, надежностью и минимальными эксплуатационными затратами. Разрешающая способность термометров в современном варианте позволяет измерять температуру по стволу скважины с шагом до 10 см на любой глубине. Ошибка измерений составляет не более сотых долей градуса.

Измерения высокоточной аппаратурой по специальной методике, исключающей перемешивание столба жидкости в скважине, обеспечивают точную регистрацию значений температуры в каждой точке разреза

Геотермические аномалии, выявленные нами на термограммах в кристаллическом фундаменте, связаны с разуплотненными зонами и представляют собой потенциальные коллекторы для скопления углеводородов.

Аномальные значения термоградиентов доказывают существование в разуплотненных зонах процессов конвективного теплопереноса, т.е. свидетельствуют не только о хороших коллекторских свойствах, но и о постоянном движении флюидов в этих зонах. Изучение пространственной структуры аномалий температур и термоградиентов позволило не только дополнить представление о количестве проницаемых зон и характере их распределения с глубиной, но и сделать обоснованный прогноз возможного наличия залежей углеводородов в кристаллическом фундаменте.

До настоящего времени разуплотненные зоны были выявлены только в отдельных скважинах. С помощью экспериментальных измерений температуры впервые в гранитогнейсовом слое земной коры нами была выявлена протяженность разуплотненных зон. На рисунке показано, что в двух скважинах, расположенных друг от друга на расстоянии более 20 км, выявлены одинаковые серии температурных аномалий, которые свидетельствуют о существовании единых протяженных пластов.

## **Исследование статистических характеристик активности циклонов в районе о. Гваделупа**

***Николкина Ирина Федоровна***

*Пелиновский Ефим Наумович  
Рабинович Александр Борисович  
Талипова Татьяна Георгиевна  
Куркин Андрей Александрович  
Заибо Нарцисс*

*Нижегородский Государственный Технический Университет*

*Куркин Андрей Александрович, к.ф.-м.н*

*[iri\\_n@mail.ru](mailto:iri_n@mail.ru)*

Тропические циклоны формируются над теплыми водами океана тропиков, в основном между 20°N и 20°S. В отличие от континентальных циклонов, тропические характеризуются много меньшими размерами и более высокой интенсивностью, т. е. большим градиентом давления и соответствующей скоростью ветра [1]. Тропические циклоны с силой ветра больше, чем 33 м/с, называются *тайфунами* в Тихом океане и *ураганами* в Атлантическом. Скорость ветра сильных ураганов превышает 370 км/ч. В работах [2, 3] для периода 1871 – 1977 гг. были исследованы тропические циклоны севера Атлантического океана. Исследования показали, что за эти 107 лет произошло, по крайней мере, 850 тропических циклонов, в основном с июня по ноябрь (максимальное число циклонов относится к концу августа, началу сентября). В среднем, каждый год десять тропических циклонов (шесть из которых становятся ураганами) формируются над Атлантическим океаном, Карибским морем или Мексиканском заливом. Большинство из них остаются над океаном. Циклоны, которые вызвали больше всего человеческих жертв за период 1492 – 1996 гг. описаны в [4]. Различную информацию, связанную с тропическими штормами и ураганами в Атлантическом океане можно найти на сайтах [5 – 7].

Вскоре после урагана Митч, который унес жизни 10 000 человек и принес ущерб 8.5 миллиардов долларов, начали изучать опасность ураганов в Латинской Америке, в бассейне Карибского моря [8]. Этот район известен разрушительными ураганами,

такими, например, как Великий Ураган октября 1780, когда 22 000 человек погибло на Антильских островах (Мартиника, Барбадос). Авторы [8] пришли к выводу, что частота повторяемости ураганов этого района не постоянна: количество ураганов в бассейне Карибского моря за 1968 – 1991 гг. меньше, чем за 1944 – 1967 гг.

Район Антильских островов знаменит тропическими циклонами. В работах [9, 10] собрано описание циклонов на островах Гваделупа и Мартиника. За 1635 – 1999 гг. на островах произошло 162 события и, следовательно, частота повторяемости для циклонов составляет 3 – 4 года. Например, 6 сентября 1776 г. разрушительный циклон (имеющий самую большую категорию, 5 по масштабу Saffir-Simpson) стал причиной смерти более чем 6000 человек в Pointe-à-Pitre Bay (Гваделупа). На острове Гваделупа 17 сентября 1989 года в результате урагана Хьюго погибло 5 человек, было ранено 80, а без крыши над головой осталось 1100 (скорость ветра достигала 140 миль в час).

В данной работе исследуются статистические характеристики активности циклонов в районе о. Гваделупа. Изучена зависимость функции распределения и частоты повторяемости от атмосферного давления и скорости ветра.

Список публикаций:

- [1] Murty T.S. *Storm surges: meteorological ocean tides*, Dep. Fish. Oceans, Ottawa, Bull. 212, 897 p (1984).
- [2] Neumann C.J., Hill D.A. *Mon. Weather Log*, 20 (5), 257-262 (1976).
- [3] Neumann C.J., Cry G.W., Caso E.L., Jarvinen B.R. *Tropical cyclones of the North Atlantic Ocean, 1871-1977*, National Climatic Center, Asheville, NC, 178 p (1978).
- [4] Rappaport E.N., Fernandez-Partagas J. *The deadliest Atlantic Tropical Cyclones, 1492-1996*. NOAA Technical Memorandum NWS NHC 47 (1997). <http://www.nhc.noaa.gov/pastdeadly.shtml>
- [5] NTC. *National Hurricane Center, Tropical Prediction Center, National Weather Service, NOAA*. <http://www.tpc.ncep.noaa.gov>
- [6] UNISYS. *Atlantic Tropical Storm Tracking by Year (1851-2002)*. Based on data from the Tropical Prediction Center, NOAA. <http://www.weather.unisys.com/hurricane/atlantic/index.html>
- [7] HURRICANECITY. <http://www.hurricanecity.com/city/Rank.htm>
- [8] Pielke Jr., R.A., Rubiera J., Landsea C., Fernandez C.M.L., Klein R. *Natural Hazards Review*, 4 (3), 101-113 (2003).
- [9] Saffache P., Marc J-V., Cospar O. *Les cyclones en Martinique: quatre siècles cataclysmiques*. IBIS Rouge Editions, Martinique, 197 p (2002).
- [10] Saffache P., Marc J-V., Huyghes-Belrose V. *Les cyclones en Guadeloupe: quatre siècles cataclysmiques*. IBIS Rouge Editions, Martinique, 276 p (2003).

## **Грозовые перенапряжения в линии передачи при разряде молнии между двумя облаками**

**Орлова Марфа Николаевна**

*Якутский государственный университет им. М.К.Аммосова*

*Григорьев Юрий Михайлович, д.ф.-м.н*

[omarfa@yandex.ru](mailto:omarfa@yandex.ru)

При разряде молнии вблизи линии передач (кабель связи, ЛЭП, продуктопровод и др.) в проводниках линии возникают кратковременные перенапряжения или индуцированные, или вызванные прямым попаданием молнии в линию. На высоких широтах индуцированные перенапряжения в линиях возникают и при больших ионосферных возмущениях. В условиях многолетней мерзлоты проблемы грозозащиты

приобретают особую актуальность. В криолитозоне РС(Я) грозовая активность начинается в конце мая – в начале июня, когда мерзлота практически не оттаяла, и линии передач оказываются как бы «подвешенными» над толстым слоем диэлектрика. Опыт эксплуатации линий связи г. Якутска показывает, что практически ежегодно в конце мая - в начале июня примерно в 200 км от Якутска в результате грозовой деятельности выходит из строя магистральная кабельная линия связи. В высоковольтных ЛЭП каждое лето наблюдаются многочисленные грозовые отключения, например, в начале июня 2003 г. в результате прямого попадания молнии в промежуточную опору №745 произошло ее возгорание и повреждение с последующим автоматическим отключением линии электропередачи Л-102 "Мирный - Ленск". Выработка мер по защите от грозовых перенапряжений требует комплекса мероприятий технического характера. Для этого необходимо знать величины таких перенапряжений, возникающих при прямом попадании молнии в линию и индуцированных. Их оценки можно получать методом математического моделирования.

В работах [1-3] построены математические модели грозовых перенапряжений, индуцированных в линии передач при разряде молнии рядом с линией в условиях многолетней мерзлоты. Там же приведены численные решения для случая удара молнии в землю. В данной работе проведены численные расчеты индуцированных грозовых перенапряжений в линии передачи в условиях многолетней мерзлоты при разряде молнии между двумя облаками над линией. Расчеты проведены в рамках модели [1], не учитывающей зависимость тока молнии от времени, при различной геометрии расположения грозовых облаков. В этой модели, отличающейся простотой подхода, нет необходимости интегрирования системы уравнений Максвелла с учетом граничных условий на проводниках.

Линия передачи моделируется бесконечным тонким проводником, расположенным на высоте  $l$  над проводящим полупространством, параметр  $l$  характеризует толщину многолетнемерзлого слоя. На высоте  $l$  над этим полупространством введем декартову систему координат, пусть ось  $x$  и линия передачи совпадают, ось  $z$  направлена перпендикулярно полуплоскости. Грозовые облака моделируются двумя точечными зарядами  $Q$  и  $-Q$ , расположенными в точках с координатами  $(0, y_1, z_1)$  и  $(x_2, y_2, z_2)$ . Следовательно, линия находится в поле зарядов  $Q$ ,  $-Q$ , и их электростатических изображений. Предполагается, что в начальный момент времени оба заряда мгновенно исчезают. Для определения силы тока  $i(x,t)$  и напряжения  $u(x,t)$  в линии передачи после такого разряда грозовых облаков получается задача Коши для системы телеграфных уравнений. Начальные токи равны нулю, начальные напряжения равны потенциалу  $f(x) = f_1(x) + f_2(x)$  четырех точечных зарядов:

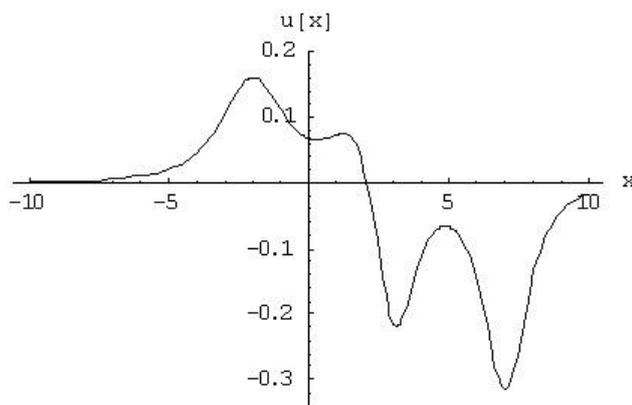
$$f_1(x) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[ \frac{Q}{\sqrt{z_1^2 + x^2 + y_1^2}} - \frac{Q}{\sqrt{(2l + z_1)^2 + x^2 + y_1^2}} \right],$$

$$f_2(x) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[ \frac{-Q}{\sqrt{z_2^2 + (x - x_1)^2 + y_2^2}} + \frac{Q}{\sqrt{(2l + z_2)^2 + (x - x_1)^2 + y_2^2}} \right].$$

В случае выполнения условия отсутствия искажения  $RC = LG$  решение задачи получается аналитически. По этим формулам проведены численные расчеты при следующих значениях параметров:

$$Q = 50 \text{ Кл}, l = 250 \text{ м}, L = 10^{-7} \text{ Гн}, R = 10^{-10} \text{ Ом}, C = 10^{-10} \text{ Ф}.$$

Во всех проведенных расчетах получено, что волновой процесс распространения тока и напряжения вдоль линии носит сложный характер. Расчеты проведены при различной геометрии расположения грозовых облаков относительно линии передачи. В качестве примера на рисунке приведено распределение безразмерного напряжения вдоль линии в некоторый момент времени после разряда молнии. В



рассматриваемой задаче критическими параметрами являются величины максимальных значений напряжений и токов. Расчетами установлены закономерности изменения этих параметров в зависимости от геометрии расположения облаков.

Работа поддержана грантом РФФИ-Арктика № 03-01-96060.

Список публикаций:

- [1] Ю.М.Григорьев, В.В. Наумов, В.В. Николаев. Исследование влияние электромагнитного воздействия на кабельные линии / Физика высокоширотной ионосферы и распространение электромагнитных волн, Якутск, 1988.-С. 126-132
- [2]. Ю.М.Григорьев, С.Н. Еремеев, В.В.Наумов, Ф.Ф. Семенов. Расчет волны тока индуцированной разрядом молнии в кабельных линиях / Десятый международный Вроцлавский симпозиум по электромагнитной совместимости, 26-29 июня, 1990 г.-Вроцлав, 1990. –С. 247-252.
- [3] Орлова М.Н., Григорьев Ю.М. Модель грозовых перенапряжений в линии передач с одним разрывом / Лаврентьевские чтения РС(Я) "Тезисы докладов"- Якутск 2002 г. С. 23-25.

## **Влияние сезонной динамики температур на тепловой расчёт заглублённых трубопроводов большого диаметра**

**Примаков Сергей Сергеевич**

Тюменский Государственный Университет

Даниэлян Юрий Саакович д. ф.-м. н

[primakovss@yandex.ru](mailto:primakovss@yandex.ru)

При расчёте тепловых потерь в трубопроводах большого диаметра решается задача Форгеймера (1) из которой находится мощностью источника  $C$ , обуславливающая теплотери.

$$T(x, y) = C \ln \frac{x^2 + (y + y_1)^2}{x^2 + (y - y_1)^2} + T_0, \quad (1)$$

При решении задачи Форгеймера температура  $T_0$  является константой и в задачах связанных с определением теплопотерь берётся равной температуре грунта на глубине центра трубопровода. Однако вследствие сезонных колебаний, температуры грунта в северных регионах нашей страны имеют ярко выраженный профиль по глубине. Таким образом, температура  $T_0$  является некоторой функцией от глубины  $T=f(y)$ .

Учитывая, что период сезонных колебаний температуры довольно велик по сравнению с характерным временем процессов, протекающих в трубопроводе, задачу можно считать квазистационарной. Применяя принцип суперпозиции, определяем результирующее поле как сумму двух тепловых полей: теплового поля грунта в отсутствие источника и теплового поля источника в отсутствие поля грунта. Задача по нахождению мощности источника в такой постановке может решаться численно, где граничными условиями могут являться, например равенство температур или потоков в некоторых точках.

Для магистральных газопроводов большого диаметра наиболее оправданным являются граничные условия, описывающие равенство потоков в верхней и нижней точках, т.к. наибольший тепловой поток, влияющий на тепловые потери, реализуется на верхней образующей трубы, а наиболее важной для устойчивости трубопровода на вечномёрзлых грунтах является температура на нижней образующей. В первом приближении удовлетворить точно этому граничному условию можно в крайних верхней и нижней точке трубы. Таким образом, необходимо удовлетворить двум уравнениям (2), записанным в верхней и нижней точке трубы, изменяя два параметра – мощность источника и его координату.

$$\lambda \frac{\partial T_{mp}}{\partial n} = \alpha (T_{mp} - T_{жс}) \quad (2)$$

В уравнении (2) левая часть обуславливает тепловой поток от поверхности трубы в грунт, а правая от энергоносителя (газ, нефть) к трубе, где:

$T_{mp}$  – температура на поверхности трубопровода;

$T_{жс}$  – температура жидкости в трубе;

$n$  – направление внешней нормали к поверхности трубопровода;

$\alpha$  - коэффициент теплоотдачи от жидкости к трубопроводу;

$\lambda$  - коэффициент теплопроводности грунта.

В ходе работы установлено следующее:

1) При решении задачи с граничными условиями, описывающими равенство температур на верхней и нижней образующей трубопровода (труба с нефтью), полученная мощность источника сильно отличается от мощности источника, полученной в результате решения задачи Форгеймера.

2) При решении задачи с граничными условиями, описывающими равенство потоков на верхней и нижней образующей трубопровода (газопровод), полученная мощность источника также отличается от мощности источника, полученной в результате решения задачи Форгеймера. Кроме того, температуры на верхней и нижней

образующих трубопровода не равны между собой, что также подтверждается экспериментально.

3) Рассчитанные мощности источников сильно зависят от профиля температур, что подтверждает необходимость учёта сезонной динамики.

## **Повышение эффективности прогнозирования критической частоты ионосферного слоя F2**

*Ревунов Сергей Евгеньевич*

*Дудкина Инна Станиславовна*

*Нижегородский Государственный Педагогический Университет*

*Бархатов Николай Александрович, д.ф.-м.н*

*Revunov@inbox.ru*

Прогнозирование ионосферных параметров и особенно критической частоты ионосферного слоя F2 на интервалы от 30 мин до нескольких часов используется для повышения надежности коротковолновой (КВ) радиосвязи. Совершенствование физических моделей для этих целей иногда не улучшает требуемый результат. При разработке аналитического описания физических моделей учет большого числа факторов (ионосферно-магнитосферное взаимодействие, солнечно-земные связи) становится невозможным. Существует, однако, альтернативный подход для решения подобных задач. Это метод, основанный на использовании математического моделирования – метод искусственных нейронных сетей (ИНС). Он сочетает корреляционную обработку с нелинейным преобразованием изучаемой многофакторной последовательности.

В настоящее время метод ИНС активно применяется в задачах прогноза для различных геофизических приложений. Привлечение этого метода позволило нам, например, выполнить – долгосрочное прогнозирование индексов солнечной активности [1], предсказание индекса геомагнитной активности Dst [2], восстановление пробелов в записях отдельных магнитных обсерваторий по данным других станций [3]. Для этого была разработана компьютерная программа ИНС Элмана с петлей обратной связи. Такая же нейросеть применялась и для прогнозирования параметров ионосферы [4]. Достоинство метода проявляется здесь в том, что обученная сеть нуждается только в непрерывном потоке значений критической частоты ионосферного слоя F2. Однако в этой работе не учитывались солнечно-ионосферные связи.

Данная работа посвящена исследованию возможности прогнозирования критической частоты при учете не только предыстории процесса, но и при введении в рассмотрение параметров солнечного ветра (ПСВ), межпланетного магнитного поля (ММП), их физически обоснованных комбинаций, а также индексов локальной и глобальной геомагнитной возмущенности. Работоспособность реализованного метода продемонстрирована на двухмесячном (февраль-март 2002 г.) массиве получасовых значений критической частоты ионосферы  $f_{кр}$  слоя F2 для станции вертикального зондирования Chilton (Англия), ПСВ, параметров ММП и значений индексов магнитной активности. Для реализации метода ИНС использовался специализированный пакет Neural Network Toolbox, являющийся прикладным математическим расширением системы MATLAB 6. В работе разработаны алгоритмы

прогнозирования критической частоты ионосферного слоя F2 на интервалы времени – 1 час, 2 часа, 3 часа и более часов. Основным результатом проведенного комплексного исследования работы созданной ИНС по прогнозированию критической частоты ионосферного слоя F2 явилось увеличение эффективности выполняемого прогноза при дополнительном использовании ПСВ, параметров ММП и индексов геомагнитной возмущенности. В свою очередь, это позволило установить особенности физического процесса, определяющего поведение критической частоты и, прежде всего, выяснить его характерное время. Практическая ценность выполненной работы заключается в возможности применения ее результатов для оперативного уточнения ионосферной модели необходимой для осуществления КВ связи.

В результате, были установлены ряд положений касающихся разработки ИНС и сделаны практические выводы, имеющие прикладное значение:

1. Прогнозирование критической частоты на 1 час может быть успешно проведено после обучения нейросети по самой последовательности критических частот и её первой производной. Точность прогноза в этом случае составляет 92%.

2. Наиболее эффективной задержкой параметров ММП и ПСВ относительно остальных данных является задержка в 2 часа. Задержка в 3 и более часа затрудняет обучение нейронной сети, что сказывается на низком качестве прогноза. Этот результат согласуется с физической обоснованностью задержки.

3. При расчете прогноза на 2 часа добавление индекса глобальной геомагнитной активности Dst повышает точность до 80%. Добавление модуля межпланетного магнитного поля, его z-компоненты (с задержками в 1 час) – оказалось самым эффективным.

4. При решении задачи повышения точности 3-х часового прогноза добавление значений индекса Dst увеличивает точность до 60%.

5. Возможен более долговременный прогноз критических частот, в некоторых случаях с эффективностью до 89%. В целом, на качество и точность прогноза на изучаемые промежутки времени положительно влияют задержанные на 2,5 часа параметры ММП и ПСВ в форме гидродинамического давления и добавление индекса глобальной геомагнитной активности Dst.

6. Число параметров обучающих ИНС должно отвечать физическим представлениям о процессах происходящих в солнечно – ионосферных связях и должно быть достаточно ограниченным для того, чтобы не происходила перегрузка сети – адаптация к большому объему данных и возрастание времени обучения.

Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ, гранты 02-05-64383 и 03-05-65137.

#### Список публикаций:

- [1] Бархатов Н.А., Королев А.В., Пономарев С.М., Сахаров С.Ю. Долгосрочное прогнозирование индексов солнечной активности методом искусственных нейронных сетей. Известия ВУЗов "Радиофизика", 2001, Т.44, № 9, С.806
- [2] Бархатов Н.А., Беллюстин Н.С., Левитин А.Е., Сахаров С.Ю. Сравнение эффективности предсказания индекса геомагнитной активности Dst искусственными нейронными сетями. // Зив. ВУЗов "Радиофизика", 2000, Т.43, № 5, С.385
- [3] Бархатов Н.А., Левитин А.Е., Сахаров С.Ю. Метод искусственных нейронных сетей как способ восстановления пробелов в записях отдельных магнитных обсерваторий по данным других станций. // Геомагнетизм и аэронавигация", 2002, Т.42, № 2, С.195

[4] Бархатов Н.А., Валов В.А., Макаров А.В., Понятов А.А., Ревунов С.Е., Сахаров С.Ю., Урядов В.П. Метод искусственных нейронных сетей и его применение к прогнозированию ионосферного КВ радиоканала. Труды IX Международной научно-технической конференции "Радиолокация, навигация и связь", 22-24 апреля 2003 г., Воронеж, Том III, С.1853-1864.

## **Моделирование локальных цунами, порожденных подводными оползнями**

**Самарина Наталья Михайловна**

*Куркин Андрей Александрович*

*Самарина Сергей Александрович*

*Нижегородский Государственный Технический Университет*

*Куркин Андрей Александрович, к.ф.-м.н*

*[klmnat@land.ru](mailto:klmnat@land.ru)*

Под волнами цунами принято понимать поверхностные гравитационные волны, возникающие в море вследствие крупномасштабных непродолжительных возмущений. Например, источниками этих, иногда катастрофических, волн могут быть как землетрясения, извержения подводных вулканов, взрывы на воде, резкие перепады атмосферного давления, так и обвалы горных пород, и подводные оползни. Большая часть цунами (около 85%) вызвана подводными землетрясениями, поэтому цунами данной природы хорошо изучены (см., например, [1, 2]). Но, несмотря на то, что цунами явление уже достаточно знакомое, мало что известно про генерацию цунами в результате схода подводного оползня. Оползни и сопровождающие их цунами – обычные вторичные эффекты землетрясений, но во многих случаях, разрушительные оползни произведены локальными процессами в отсутствии сейсмических событий. Так, в 1979 году во Франции в Ницце при расширении международного аэропорта, построенного на насыпи в прибрежной зоне, часть насыпи сползла в Средиземное море. Это привело к появлению трех разрушительных волн с высотами около 2 метров вдоль береговой зоны длиной 60 км и гибели нескольких человек.

В настоящей работе исследуется процесс образования волн цунами в результате схода подводного оползня в рамках нелинейной теории мелкой воды. Сравняются различные подходы к исследованию данного явления.

Список публикаций:

[1] Пелиновский Е.Н. Гидродинамика волн цунами. Н. Новгород: ИПФ РАН, 1996. 276 с.

[2] Selezov I., Ostroverkh B., *Phys. Oceanography*, 8, 57-68, (1997).

## **Опасность возникновения катастрофически интенсивных взвесенесущих потоков в каньонах Черного моря**

**Сапов Дмитрий Александрович**

*Жмур Владимир Владимирович, Нечаев Иван Дмитриевич*

*Институт Океанологии им.П.П. Ширшова РАН*

*Жмур Владимир Владимирович, д.ф.-м.н*

*zhmur@ocean.ru; sd\_2001@mail.ru*

В физической постановке рассматривалась следующая задача. На наклонное дно помещался конечный объем более плотной жидкости в окружении менее плотной фоновой воды. Под действием гравитационной силы объем сплющивался и двигался вниз по склону, постепенно увеличивая скорость. На переднем фронте образовывался гидравлический скачок, на котором наблюдались экстремальные толщины потока и скорости движения частиц. Если гравитационное течение оказывалось достаточно сильным, то поток взмучивал донные осадки, вовлекая их в движение. В результате этого увеличивалась скатывающая сила, и интенсивность взмучивания возрастала. Одновременно, передний фронт потока быстрее продвигался вниз по склону, что приводило к уменьшению максимальной толщины гравитационного течения и его более быстрого угасания. Если при этом поток захватывал фоновую жидкость, то толщина потока могла не только не уменьшаться, но и многократно увеличиваться. В этом случае возникали очень сильные придонные взвесенесущие течения, которые были названы катастрофическими.

Цель настоящей работы – определить возможность возникновения катастрофических течений в условиях конкретных каньонов Черного моря.

В математической формулировке задача сводилась к системе двух уравнений для локальной избыточной плотности потока и локальной толщины. Учитывались вовлечения фоновой жидкости и донных осадков в движения потока. Данный подход хорошо зарекомендовал себя при расчете природных взвесенесущих течений, в частности, при расчете течения, возникшего в результате землетрясения на Большой Ньюфаундленской банке, а также на течении, возникшем в районе Юго-Западного побережья Огайо (Гавайи) в 1982 году из-за сильного шторма, вызванного ураганом Iwa. Сравнение численных расчетов с натурными данными показало совпадение потоков с приемлемой точностью. Основными параметрами, определяющими движение потока, являются: угол наклона дна, скорость вовлечения фоновой жидкости и интенсивность вовлечения донных отложений в движение потока.

На примере подводных каньонов Черного моря исследуется возможность возникновения взвесенесущих потоков и их физические характеристики. Угол уклона дна, большинства рассмотренных нами каньонов, лежит в пределах от 2 до 12 градусов. По составу грунта на поверхности в верховьях каньонов преобладают илы и мелкозернистые пески.

Одной из трудностей численного решения потоков является правильный выбор значений для  $M$  и  $\phi$ , где  $M$  - параметр, отвечающий за интенсивность вовлечения донных отложений в движение потока и зависящий от их физико – химических свойств,  $\phi$  -напряжение трения при котором начинается взмучивание донных осадков. В нашем случае были выбраны следующие диапазоны  $M$  и  $\phi$ , которые используются в ИО РАН:

$$M=1 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-5} \frac{c}{cm^2 c}; \quad \phi = 1 - 2 \frac{дин}{cm^2}$$

В таблице приведены результаты численного счета, названия и основные морфологические данные трех из двенадцати рассчитанных подводных каньонов Черного моря. Как показали вычисления, именно в этих каньонах возникают наиболее мощные взвесенесущие течения.

Наименование Каньона/ Приустьевая Зона реки	$\alpha$ , град	$U_{max}$ , см/с		$H_{max}$ , см		Тип потока	
		При $M=M_1$	При $M=M_2$	При $M=M_1$	При $M=M_2$	При $M=M_1$	При $M=M_2$
Д.оползневая/ <i>Р.Кодори</i>	8	48	670	0*	1450	затухаю щий	Катастр офич.
Варче/ <i>Р. Кодори</i>	10	50	730	0*	1440	затухаю щий	Катастр офич.
Дунайский/ <i>Р. Дунай</i>	12	223	760	135	1350	Катастр офич.	Катастр офич.

0\* - Максимальная высота потока наблюдалась в начальный момент времени, затем она постепенно уменьшалась до 0 по мере движения потока.

В таблице приняты следующие обозначения:  $U_{max}$ ,  $H_{max}$  – максимальные скорость и высота потока;  $\alpha$  - угол уклона дна в верховьях каньона;  $M_1, M_2$ , - наименьшее и наибольшее значения из диапазона изменения  $M$ .

Численные расчеты показали, что в каньонах №5, №6, №8(акула), Потийский, Кубанский, Дунайский, Батумский, Ингурский, Сухумский, Впадающий в Д.Оползневую, Долина Оползневая и Варче могут возникать интенсивные (для  $M_1$ ) или катастрофические (для  $M_2$ ) течения. Во всех случаях скорости потоков колеблются от нескольких десятков сантиметров в секунду до нескольких метров в секунду, и соответственно толщины от нескольких метров до десяти метров. Средняя скорость потоков – несколько метров в секунду. Это скорость горной реки. Поэтому не удивительно, что в этих каньонах наблюдается большой вынос донного материала. Рекорд же принадлежит Сухумскому каньону с углом уклона дна в его верховьях равном 34 градуса. По расчетам, в этом каньоне всегда должны возникать катастрофические течения, при условии накопления в его верховьях достаточной толщины донных отложений.

Проведенное численное исследование взвесенесущих потоков позволяет получить прикладную оценку диапазона изменений скорости и высоты возникающих плотностных течений в подводных каньонах Черного моря.

## Математические проблемы моделирования направленного переноса внутренних масс Земли приливными деформациями

Скрябина Ольга Евгеньевна

Якутский государственный университет им. М.К.Аммосова

Григорьев Юрий Михайлович, д.ф.-м.н

[dolya123@rambler.ru](mailto:dolya123@rambler.ru)

В Институте горного дела СО РАН (г. Новосибирск) на модельных экспериментах доказана справедливость гипотезы о возможности накопления необратимых деформаций внутри Земли от приливного воздействия со стороны Луны. Приливные силы приводят к растяжению тела по направлению к возмущающей массе и к сжатию его в ортогональных направлениях. Если тело при этом поворачивается относительно указанных направлений, то по нему бежит приливная волна. Эксперименты проводились для плоской и пространственной моделей. Правомерность использования плоской модели объясняется тем, что из-за физических условий переноса вещества через плоскость экватора не должно происходить. Поэтому можно промоделировать явление только на экваториально плоскости, причем в условиях плоской деформации.

В работах разных авторов построены плоская и трехмерная математические модели рассматриваемого явления. При построении математических моделей предполагается, что Земля представляет собой вязкую несжимаемую жидкость, и деформации совершаются при малых скоростях. При таких условиях используется линеаризованная (по Стоксу) система уравнений Навье-Стокса, будем называть ее системой Стокса:  $\mu\Delta\mathbf{v} - \nabla p = 0$ ,  $\nabla \cdot \mathbf{v} = 0$ , где  $\mathbf{v}(\mathbf{r})$ - вектор скорости,  $p \equiv p(\mathbf{r})$ - давление,  $\mu$ - динамический коэффициент вязкости. Модели построены в предположении однородности Земли. Модели, учитывающие неоднородность Земли, еще предстоит разработать. В первом приближении можно ставить задачу построения плоской математической модели, описывающей движения внутренних масс Земли при приливных воздействиях с учетом наличия жесткого ядра.

Тогда, в рамках кинематической модели, необходимо решать первую краевую задачу для системы Стокса внутри эллипса с круговым отверстием. Для такой задачи можно применить метод разложения по малому параметру. Естественным малым параметром является эксцентриситет эллипса. Каждое слагаемое в таком разложении получится как решение краевых задач для системы Стокса (1) внутри кругового кольца.

В данной работе показана возможность эффективного применения в таких задачах комплексного представления общего решения системы Стокса. Это представление является частным случаем кватернионного представления и имеет вид:

$$\mu(u + iv) = \varphi(z) - z\bar{\varphi}'(z) + \bar{\psi}(z), \quad p = -4\text{Re}\varphi'(z), \quad (2)$$

где  $u, v$  – декартовы компоненты вектора скорости,  $\varphi(z)$ ,  $\psi(z)$  – аналитические функции комплексной переменной  $z=x+iy$ . Такое представление аналогично формулам Колосова-Мусхелишвили из теории упругости, но в литературе имеется всего несколько примеров ее использования в гидродинамике, в частности в задачах с неизвестной границей. Получены условия разрешимости для решения системы Стокса внутри круга и кругового кольца, выраженные через коэффициенты Фурье граничных функций.

Решения первой краевой задачи для системы Стокса (1) внутри круга и кругового кольца получены в виде разложений по степеням  $z$ . В этих задачах функции  $\phi(z), \varphi(z)$  ищутся в виде разложений Тейлора или Лорана, с учетом многозначности функций в двусвязной области.

После определения поля скоростей ставится задача нахождения траекторий частиц жидкости. Для этого необходимо решать задачу Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = u(x, y), \frac{dy}{dt} = v(x, y), \\ x(0) = x_0, y(0) = y_0. \end{cases}$$

В качестве примеров с помощью программы Mathematica численно решены некоторые задачи для круга, круговой каверны, кругового кольца и кольцевой каверны, полученные траектории визуализированы.

Ниже представлены траектории движения жидкости внутри круга с граничными условиями (рис. 1):  $v_r = 0, v_\vartheta = \cos \vartheta$ , и внутри кольцевой каверны со следующими граничными условиями (рис. 2):

$$\begin{cases} v_r = 0, v_\vartheta = \sin 2\vartheta, & 0 \leq \vartheta \leq \frac{\pi}{2}, \text{ при } r = R_1 \\ v_r = 0, v_\vartheta = 0, & 0 \leq \vartheta \leq 2\pi, \text{ при } r = R_2 \end{cases}$$

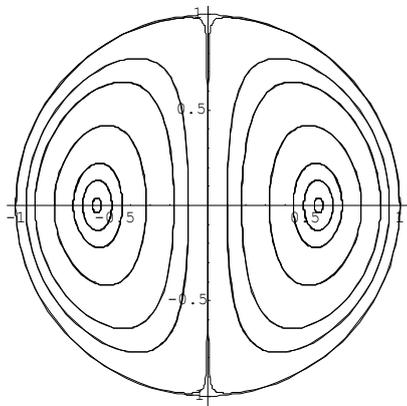


рис.1

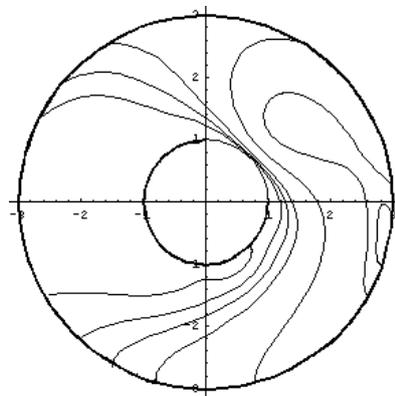


рис. 2.

Работа поддержана грантом МО РФ Е-02-4.0-10.

## Экспресс методика определения минералогического состава породы

*Соколов Константин Сергеевич*

*Тюменский государственный университет*

*Чухланцев Сергей Александрович*

*[Falconov@yandex.ru](mailto:Falconov@yandex.ru)*

Для определения минерального состава пород широко используется метод рентгеновской дифрактометрии. Основное достоинство этого метода состоит в том, что он расширяет возможности минералогических исследований и позволяет изучать усредненный минералогический состав изучаемого образца. И хотя изучение минерального состава пород методом рентгеновской дифрактометрии применяется очень давно, до настоящего времени этот метод является достаточно трудоемким как в плане пробоподготовки, так и в плане расшифровки полученных дифрактограмм.

В данной работе рассматривается разработанная нами экспрессная методика, включающая в себя следующие возможности:

определения минерального состава породы в целом;

определения минерального состава обломочной части породы

цемента породы;

определения карбонатности (кальцит, доломит, сидерит и пр.).

Принцип действия рентгеновской дифрактометрии основан на дифракции рентгеновских лучей от атомных плоскостей кристаллической решетки исследуемого вещества.

Пучок рентгеновских лучей с длиной волны  $\lambda$ , попадая на кристалл, отражается от плоскости  $hkl$ , удовлетворяющей уравнению Вульфа-Брегга  $n\lambda = 2 d_{(hkl)} \sin\Theta$ , где  $d_{(hkl)}$  - межплоскостное расстояние,  $\Theta$  - угол отражения дифракционного пучка,  $n$  - порядок отражения. Работа выполнена на дифрактометре использующим фокусировку с плоским образцом по Бреггу-Брентано, схема которой в горизонтальной плоскости (рис.1)

Фокус рентгеновской трубки  $F$  и приемная щель детектора  $D$  расположены на окружности гониометра радиуса  $R_r$ , в центре которой находится плоский образец  $P$ .

Регистрация дифракционной картины осуществляется при синхронном вращении детектора и образца вокруг оси гониометра  $O$ , проходящей через центр окружности гониометра, причем угловая скорость вращения детектора вдвое больше угловой скорости вращения образца.

Расходящийся пучок рентгеновских лучей дифрагирует от плоскостей  $hkl$ , параллельных плоскости образца  $P$ , и фиксируется на приемной щели детектора  $D$ .

Фокусировка основана на равенстве вписанных углов, опирающихся на одну дугу.

Фокус трубки  $F$ , плоскость образца  $P$  и приемная щель детектора  $D$  находятся на окружности фокусировки переменного радиуса  $r_\phi = R_r / 2\sin\Theta$ , и если пренебречь отклонением плоской поверхности образца от окружности фокусировки, лучи, отраженные от разных точек образца, попадают в приемную щель детектора.

В случае применения точечной проекции расходимость первичного и дифрагированного пучков рентгеновских лучей ограничивают системой щелей в горизонтальном и вертикальном направлении или коллиматором.

Горизонтальная расходимость пучка регулируется шириной щелей **1** и **2** (рис.2), вертикальная - ограничивается высотой щелей **2** и **4**.

Съемка образца проводится несколько раз, с последующим изменением области съемки и изменением положения образца. Далее производится усреднение по количеству снятых спектров. Различные области съемки образца выбираются с учетом известных углов отражений основных рефлексов искомым минералов (породообразующие минералы, глинистые минералы, карбонаты).

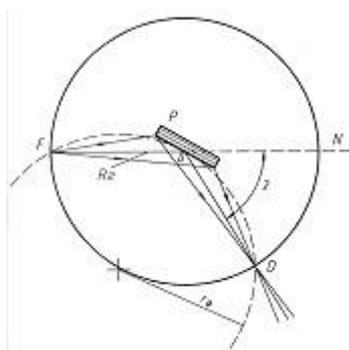


рис. 1. Схема фокусировки по Бреггу-Брентано

**P** - образец; **N** – нулевая линия гониометра; **O** - центр окружности гониометра; **R<sub>r</sub>** - радиус гониометра; **F** - фокус рентгеновской трубки; **D** - приемная щель детектора; **r<sub>φ</sub>** - радиус окружности фокусировки.

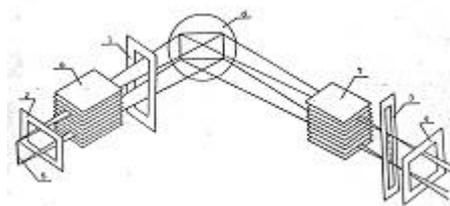


рис. 2. Рентгенооптическая схема

1, 3 – щели, ограничивающие размер пучка рентгеновского излучения в горизонтальном направлении; 2, 4 – щели, ограничивающие размер пучка рентгеновского излучения в вертикальном направлении; 5 – фокус рентгеновской трубки; 6, 7 – щели Соллера; 8 – плоскость образца.

В данной работе рассматривается разработанная нами экспрессная методика определения минерального состава породы, которая включает в себя определение минеральной глинистости и состава скелета породы. Данная методика включает в себя также возможность быстрого определения карбонатности (отдельно кальцит, доломит, сидерит и пр.).

Разрабатываемая нами методика на первоначальном этапе предназначена, для более качественного отбора образцов на дальнейшие виды исследований.

Плюсом данной методики является отсутствие специальной пробоподготовки (использование срезов торцов стандартных образцов).

## Численное решение нелинейного уравнения теплопроводности с фазовым переходом в спектре температур

*Ткаченко Евгений Иванович*

*Тюменский Государственный Университет*

*Даниэлян Юрий Саакович, д.ф.-м.н*

*tkachenko\_e\_i@hotmail.ru*

Получение точной информации о температурных полях промерзающих и оттаивающих грунтов – одна из главных задач геокриологии, которая имеет огромное практическое значение при проектировании обустройства нефтяных и газовых месторождений в северных районах страны. Среди проблем возникающих при строительстве на мерзлых грунтах можно отметить: необходимость точной информации о глубине сезонных процессов в естественных условиях, а также возможность прогнозирования максимальных и минимальных температур на разных глубинах при проектировании подземных трубопроводов и т.д.

Будем рассматривать двумерную постановку задачи, которая используется при расчетах температурного поля грунта, когда необходимо учесть неоднородность грунта по горизонтали, а также во всех других случаях, когда решение нельзя получить в рамках одномерной задачи.

Рассматриваемая задача, является задачей Стефана с фазовым переходом, происходящим в спектре температур. В данной постановке ширина спектра может иметь величину  $\Delta t = 0.01^{\circ}\text{C}$ . Температурное поле грунта при нестационарных условиях теплообмена на поверхности в предположении, что процессы таяния и кристаллизации происходят равномерно в заданном интервале температур от  $-\Delta t$  до  $0^{\circ}\text{C}$ , описывается уравнением:

$$C(t) * \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} (\lambda(t) * \frac{\partial t}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\lambda(t) * \frac{\partial t}{\partial y}), \quad (1)$$

где  $x$  – горизонтальная координата,  $y$  – вертикальная координата,  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности,  $C$  – эффективная теплоемкость.

После интегрирования по независимой переменной  $\tau$  от  $\tau$  до  $\tau + \Delta \tau$  уравнение примет вид:

$$C(t^{n+1}) * t^{n+1} - C(t^n) * t^n = A(\xi(t)) \quad (2)$$

где  $A(\xi(t))$  - некоторая аппроксимация правой части уравнения (2).

Отличие полученного выражения (2) от аналогичных уравнений, использующихся при решении задач теплопроводности, наличием в левой части коэффициента  $C(t^{n+1})$ , зависящего от искомой величины  $t^{n+1}$ . Однако, для их вычисления требуется не точное значение  $t^{n+1}$ , а его расположение на температурной шкале относительно величин  $-\Delta t$  и  $0^{\circ}\text{C}$ . Способ решения уравнения (2) заключается в пошаговом вычислении, начиная с некоторого заданного значения  $t^0$ , соответствующего температурному полю в момент времени  $\tau=0$ , значений  $t^1, t^2$  и т.д. с заданным шагом  $\Delta t$ . Расчет ведется как по возрастанию индексов (при переходе от  $t^n$  к  $t^{n+1/2}$ ), так и по убыванию индексов (при

переходе от  $t^{n+1/2}$  к  $t^{n+1}$ ) – метод чередующихся направлений. Для решения уравнения достаточно один раз точно проинтегрировать левую часть, так чтобы получить все допустимые сочетания коэффициентов при  $t^{n+1}$  и  $t^n$ , далее предстоит техническая реализация.

Проведен расчет ореола оттаивания под протяженным зданием двумя способами: 1- по нормативной методике, где в качестве температуры воздуха берется среднегодовая температура воздуха в данном регионе, а влияние сезонных процессов не рассматривается;

2- с помощью точного численного решения.

Ореол оттаивания по нормативной методике на 20-ый расчетный год равен – 5м, по предлагаемой методике с учетом сезонного изменения температуры на поверхности

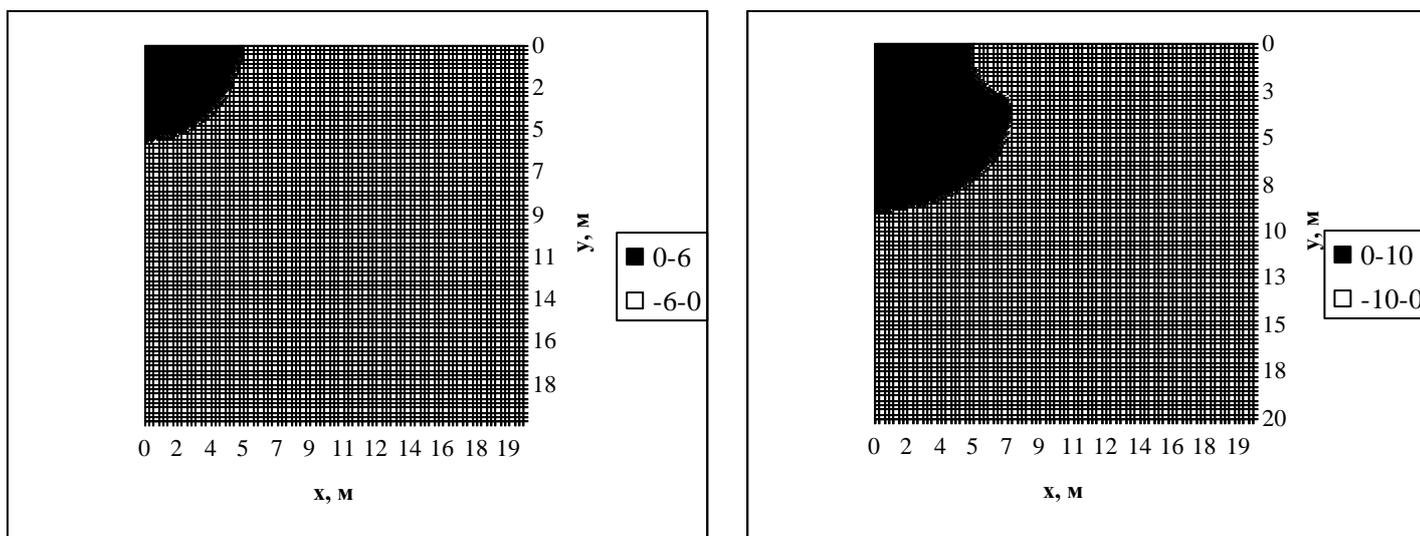


рис.1. Температурное поле на май 20-го года расчета. Слева результаты, полученные по нормативной методике, справа по предлагаемой методике.

– 8.7м. Из полученных результатов видно, что при точном численном расчете ореол оттаивания под зданием значительно больше, чем при расчете по нормативной методике. Большой ореол приводит к большим просадкам грунта, а следовательно, и к большим деформациям здания. Также на рисунках можно увидеть, что при учете сезонных изменений температуры на поверхности с течением времени образуется “зуб” - область оттаивания рядом со зданием, которая не промерзает даже в зимние месяцы.

## Восстановление относительного содержания НДО в атмосферном столбе с помощью нейронной сети.

*Топтыгин Александр Юрьевич*

*Уральский Государственный Университет*

*Грибанов Константин Геннадьевич, к.ф.-м.н*

*[malex@ngw.compcent.usu.ru](mailto:malex@ngw.compcent.usu.ru)*

Определение относительного содержания дейтерия в атмосферном водяном паре и осадках является важной задачей для исследования поведения окружающей среды. Изучение связей между изотопным составом водяного пара в воздухе и климатическими условиями необходимо для развития таких областей как физика облаков, климатология, гидрология и палеоклиматология. Перспективным направлением решения этих проблем является использование методов пассивного дистанционного зондирования. В данной работе разработан метод определения относительного содержания НДО по спутниковым ИК спектрам высокого спектрального разрешения.

Относительное содержание изотомера НДО в атмосфере обычно измеряется в промилях и определяется выражением [1]:

$$\delta HDO = (\alpha / \alpha_{ecm} - 1) * 1000 \text{ ‰}, \quad (1)$$

где  $\alpha$ , – распространенности НДО в данных условиях (отношение концентрации молекул НДО к концентрации основного изотомера  $H_2^{16}O$ ),  $\alpha_{ecm}$  – естественная распространенность НДО (отношение концентраций в стандартной океанической воде). Тогда относительное содержание НДО для всего атмосферного столба можно представить в виде:

$$\delta HDO^* = \frac{\int n_{H_2O}(h) \delta HDO(h) dh}{\int n_{H_2O}(h) dh}, \quad (2)$$

где  $n_{H_2O}(h)$  – высотный профиль концентрации водяного пара, интегрирование ведется от поверхности до верхней границы атмосферы. До появления ИК спектрометров высокого разрешения единственным методом определения содержания дейтерия в атмосфере было измерение его в осадках. Величина, определенная в (2) очевидно связана с содержанием дейтерия в осадках, однако характер этой связи еще предстоит определить.

Для восстановления величины  $\delta HDO^*$  из спектров высокого разрешения была применена технология искусственной нейронной сети с обратным распространением ошибок [2]. Входными параметрами являлись переменные, определяемые из спектра яркости, наблюдаемого в надир с орбиты Земли, выходным параметром была величина, определяемая выражением (2). Входные величинами были определены следующим образом:

$$X_i = S_i^D / S_i^H, \quad S = \int_{\nu_i}^{\nu_f} (R_\nu - R_0) d\nu, \quad (3)$$

где  $R_\nu$  - яркость для волнового числа  $\nu$  в пределах спектральной линии НДО (верхний индекс  $D$ ) или  $H_2^{16}O$  (верхний индекс  $H$ ),  $R_0$  - яркость для выбранного

волнового числа вне спектральной линии. Величина  $S$  определяется как заштрихованная площадь, показанная на Рис.1.

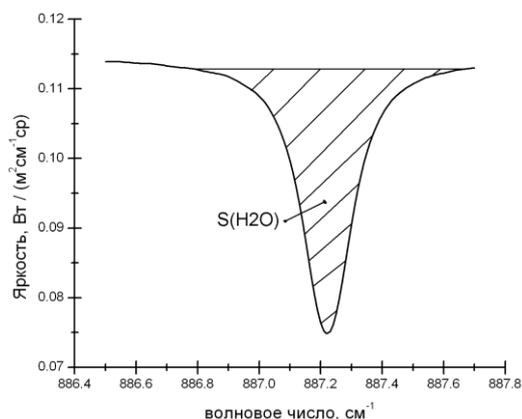


Рис.1. Определение величины  $S$ .

Для того, чтобы уменьшить влияние температурного и влажностного высотных профилей на результат определения относительного содержания дейтерия в атмосферном столбе, были выбраны такие пары спектральных линий, для которых величина  $X_i$  слабо зависит от указанных высотных профилей. Всего было выбрано 6 пар спектральных линий в интервале  $1080 - 1230 \text{ см}^{-1}$ . Вектор входных параметров  $\mathbf{X}$  был дополнен выборочным набором яркостей из интервала  $680 - 820 \text{ см}^{-1}$  и интервала  $1160-1200 \text{ см}^{-1}$  для того, чтобы учесть влияние температурного и влажностного профилей в атмосфере. Для создания учебного набора векторов была использована база зондовых измерений TIGR[3], из которой были взяты высотные профили температуры и влажности для лета средних широт, всего 169 пар профилей. Для каждой пары было сгенерировано 20 модельных профилей  $\delta HDO$ , покрывающих по величине  $\delta HDO^*$  интервал  $-800 \div -10 \text{ ‰}$ . Спектры, вошедшие в учебный набор, были рассчитаны с помощью ПО FIRE-ARMS[4]. Обучение нейронной сети проводилось по алгоритму обратного распространения ошибок[2], для минимизации функции ошибок применялся метод Флетчера-Ривза[5].

Для проверки точности восстановления, а также обобщающей способности нейронной сети использовался отдельно сгенерированный набор входных векторов, которые не входили в учебный набор векторов. Погрешность восстановления модельных величин не превышала 5%. Практическая апробация метода была проведена на спектрах, полученных прибором IMG на борту спутника ADEOS[6] над Тихим океаном. В результате получено широтное распределение величины  $\delta HDO^*$  в интервале широт от  $30^\circ$  до  $60^\circ$  ю.ш. Проведено сравнение с результатами других авторов.

#### Список публикаций:

- [1] H. Jacob, and Ch. Sonntag, An 8-year record of the seasonal variation of D and  $18O$  in atmospheric water vapour and precipitation at Heidelberg, Germany, *Tellus*, **43B**, pp.291-300, 1991.
- [2] С. Осовский. Нейронные сети для обработки информации: Пер. с польского. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
- [3] F. Chevallier, A. Chedin, F. Cheruy, J.J. Morcrette. TIGR-like atmospheric-profile databases for accurate radiative-flux computation, *Quart. J. of the Roy. Met. Soc.*, **126**(563), pp. 777-785, 2000.
- [4] K.G. Gribanov, V.I. Zakharov, S.A. Tashkun, Vl.G. Tyuterev. A new software tool for radiative transfer calculations and its application to IMG/ADEOS data, *JQSRT*, **68**, No.4. – pp. 435-451, 2001
- [5] М. Мину. Математическое программирование: Пер. с фр., 1990. – 488с.
- [6] Interferometric Monitor for Greenhouse Gases: IMG Project Technical Report / IMG Mission Operation & Verification Committee, CRIEPI; Ed. by H. Kobayashi. – Tokyo, Japan, 1999. – 45p.

**Одночастичная модель облакообразования**  
**Умнова Олеся Валерьевна**  
*Ставропольский Государственный Университет*  
*Самонов Виталий Евгеньевич, к. ф.-м. н*  
*[alehiko@yandex.ru](mailto:alehiko@yandex.ru)*

Одним из основных объектов физики атмосферы являются облака. Это связано с их распространенностью и ролью в развитии атмосферных явлений: осадков, смерчей и т.д. В связи с этим, исследование процесса облакообразования занимает важное место в геофизике.

Существующие в настоящее время теории облакообразования можно разделить на следующие классы:

- 1) образование облака вследствие проникающей конвекции;
- 2) образование облака на границе тёплого и холодного атмосферных фронтов;
- 3) орографическое облакообразование (равнинные облака и облака, образующиеся в холмистой и горной местности);
- 4) образование облаков вследствие ядер конденсации.

Более подробно рассмотрим последнюю теорию. Это связано с ростом промышленных выбросов, приводящей к увеличению ядер конденсации искусственного происхождения, и, соответственно, увеличению доли облаков, образующихся за счет этого механизма. Кроме того, процесс облакообразования, происходящий за счет ядер конденсации, может быть исследован экспериментально (по аналогии с исследованиями Вильсона и Айткена).

В настоящей работе предложена обобщенная классификация ядер конденсации и разработана демонстрационная компьютерная модель облакообразования.

Рассмотрим классификацию ядер конденсации. В зависимости от целей исследования ее можно осуществить по одному из следующих оснований.

**I. Классификация по происхождению.** Уже в первых исследованиях ядра конденсации делили на природные (естественные) и искусственные.

Роль искусственных ядер существенно возросла в XX и XXI веках в связи с большим ростом промышленных выбросов.

**II. Классификация по размерам частиц.** Эта классификация является самой распространенной. Обычно ядра конденсации делят на три основные категории:

1) *наиболее мелкие ядра («ядра Айткена»)*. Их влияние на облакообразование наиболее существенно при больших пересыщениях воздуха порядка 200%. В реальной атмосфере имеют место малые пересыщения, поэтому ядра Айткена очень редко становятся активными центрами конденсации.

2) *«большие»* или крупные ядра, весьма активные в атмосфере и называемые иногда метеорологическими или *облачными ядрами*.

3) *«гигантские ядра»* немногочисленные, но очень важные для образования крупных капель в облаках, вырастающих затем в капли дождя.

III. Классификация по агрегатному состоянию:

- 1) твёрдые частицы, не растворимые и не смачиваемые (частицы пыли, осколки песчинок, кварца, угля и т.п.);
- 2) твёрдые нерастворимые частицы, смачиваемые водой;
- 3) капли растворов.

В атмосфере, содержащей водяной пар, твёрдые гигроскопичные растворимые частицы быстро превращаются в капли растворов и наиболее активно влияют на облакообразование.

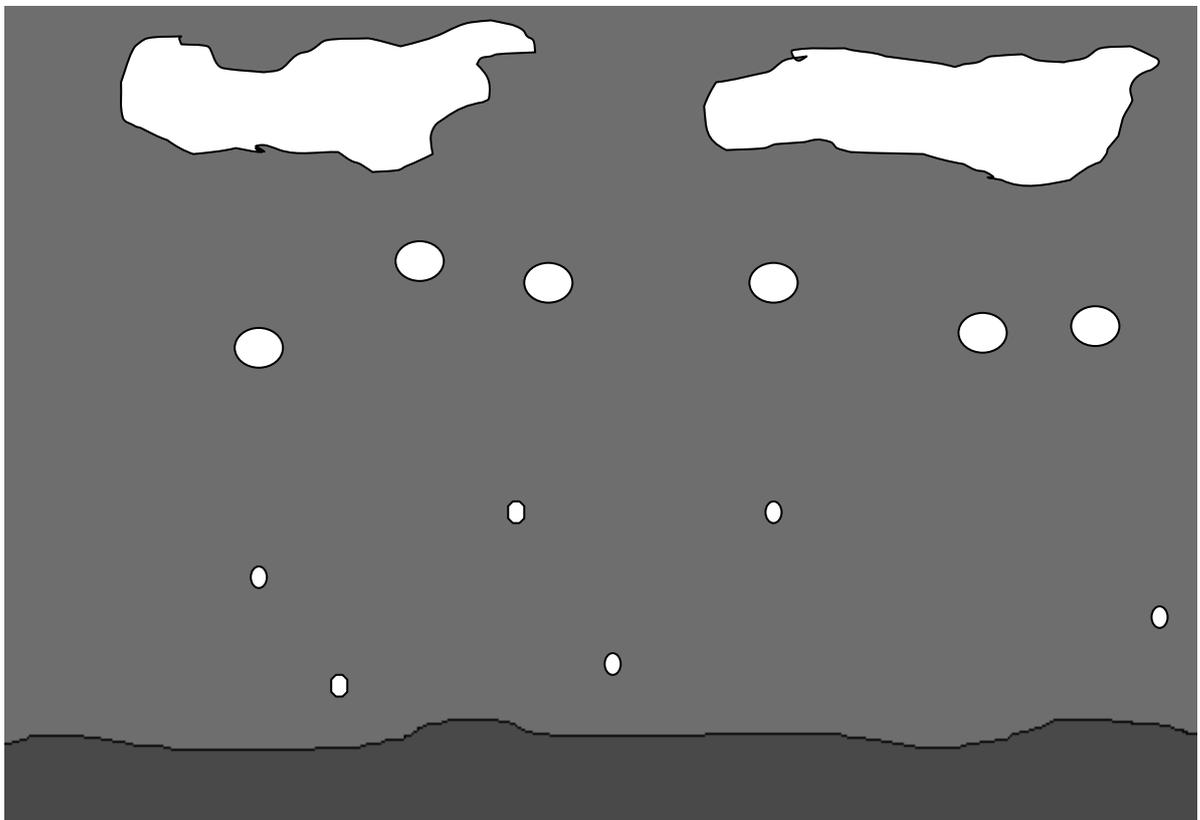
Таким образом, для построения одночастичной модели облакообразования, наиболее важным является исследование крупных растворимых ядер конденсации искусственного происхождения.

Рассмотрим динамику облакообразования вследствие ядер конденсации. Предположим, ядра конденсации имеют массу  $m$ , температуру  $T$  и радиус  $r$  и находятся в приземном слое Земли.

Перенос ядер в более высокие слои атмосферы осуществляется за счет поднимающихся воздушных пузырей и струй (атмосферных термиков). На высоте температура окружающего воздуха  $T_1$  будет меньше, чем температура частицы  $T$  ( $T_1 < T$ ). Это приведет к началу процесса конденсации. Конденсация будет происходить до тех пор, пока радиус капли  $r$  не достигнет критического  $r^*$ :

Вследствие не одиночного такого процесса, при увеличении соседних капель произойдет образование дымки.

Описанный процесс был положен в основу демонстрационной компьютерной модели облакообразования, фрагмент которой приведен на рисунке.



## Тепловое поле Волго-Уральской нефтегазоносной провинции

*Христофорова Мария Анатольевна*

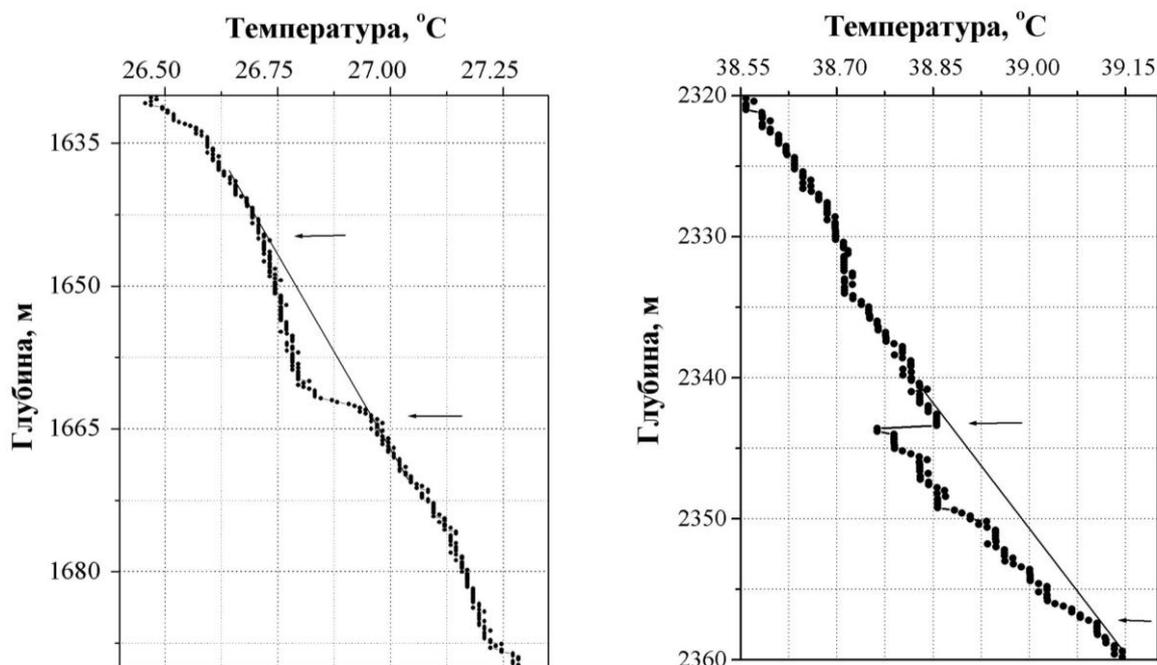
*Казанский Государственный Университет*

*Непримеров Николай Николаевич, д.т.н*

*[MKhris@hotmail.com](mailto:MKhris@hotmail.com)*

В составе научно-исследовательской экспедиции Казанского университета в течение многих лет я проводила экспериментальные исследования в глубоких и сверхглубоких скважинах на территории Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. В 2003 г. мы провели серию новых измерений температуры в гранито-гнейсовом слое земной коры. В ранее недоступных для исследования регионах были получены новые данные по тепловому режиму кристаллического фундамента и глубинному тепловому потоку из недр Земли.

По результатам этих измерений построены карты распределения температуры на абсолютных отметках с высокой разрешающей способностью. Например, температура на абсолютной отметке 1000 м изменялась по региону от 18 до 48.5°C.



*Распределение температуры в кристаллическом фундаменте скважины № 20010 (Татарский свод, Восточно-Европейская платформа)*

Были установлены новые закономерности в распределении поля температур и теплового потока. Например, выявлена связь между расположением месторождений нефти и газа в Волго-Уральском регионе и особенностями его теплового поля.

Значительная неоднородность температурного поля выявлена для гранито-гнейсового слоя земной коры. Экспериментальные исследования позволили выявить серию разуплотненных зон в кристаллическом фундаменте, из которых после опробования были получены притоки глубинных флюидов.

## **Приближённый тепловой расчёт скважины и горных пород вокруг неё, включающих вечномёрзлые грунты.**

*Шевелёва Дарья Васильевна*

*Тюменский Государственный Университет*

*Даниэлян Юрий Саакович*

*dsh@72.ru*

В проектировании систем обустройства нефтяных и газовых месторождений важную роль играет прогноз теплового взаимодействия нефтяных и газовых скважин с окружающей средой.

Существующие методы тепловых расчётов, как правило, позволяют найти либо тепловое поле в приствольной зоне скважины при известной температуре скважины, либо температуру жидкости при известной температуре окружающих пород. Между тем, скважина и породы являются одной теплообменной системой. Тепло, отдаваемое жидкостью при подъеме на поверхность в точности равно теплу, идущему на прогрев (оттаивание) вечномёрзлых пород вокруг скважины, следовательно, обе задачи должны решаться одновременно, т.е. необходимо одновременное определение температуры жидкости в скважине и температурного поля горных пород вокруг неё.

В докладе предложена приближённая аналитическая методика расчёта теплообмена системы скважина - горные породы, которая описывает температурное распределение в жидкости и в горных породах вокруг скважины, проходящей через вечномёрзлые грунты.

Скважина представлена в виде вертикальной цилиндрической выработки, вскрывающей продуктивный пласт и проходящей через массив вечномёрзлых грунтов. Состоит из эксплуатационной колонны и насосно-компрессорных труб.

Принимается, что мерзлые грунты находятся при температуре замерзания, а грунты, лежащие ниже интервала вечномёрзлых грунтов, на бесконечном расстоянии от скважины, находятся при температуре, соответствующей геотермическому градиенту.

Задача состоит из двух этапов, первым из которых является определение температуры жидкости на нижней границе вечномёрзлых пород, а вторым – определение температуры жидкости на устье скважины и изменение по глубине радиуса оттаявшей зоны.

На основании того, что температура в стволе скважины предполагается квазистационарной, уравнение теплового баланса [1] системы скважина – горные породы может быть записано в виде.

$$Gc_p \frac{dT}{dx} = Q \quad (1)$$

с условием  $T=T_0$  при  $x=0$

Здесь,

$T$  - температура жидкости в скважине,  $T_0$  - начальная температура жидкости,  $x$  – вертикальная координата,  $Q$  – тепловой поток с поверхности НКТ (насосно-

компрессорная труба) в радиальном направлении,  $G$  – дебит по жидкости,  $c_p$  – удельная теплоёмкость жидкости, которая находится с учётом обводнённости нефти.

В этом случае решение задачи нестационарного теплообмена для области, ограниченной изнутри цилиндром заданного радиуса [2] позволяет выразить тепловой поток через разность температур между стенкой скважины и температурой, найденной в соответствии с геотермическим градиентом. Разность температур жидкости и стенки скважины находится в соответствии с гипотезой Фурье и непрерывностью радиального теплового потока на стенке скважины. Исключая из получившейся системы неизвестную температуру на стенке скважины, можно получить из (1) обыкновенное дифференциальное уравнение. Его решение даёт температурный профиль вдоль ствола скважины.

Аналогичное уравнение решается в вечномёрзлых грунтах. Для определения коэффициентов в уравнении рассматривается задача Стефана в квазистационарной постановке. Из условия Стефана, после интегрирования, получается трансцендентная формула зависимости радиуса оттаивания от времени, куда входит и температура. Выражая температуру из получившегося выражения, и подставляя её в решение уравнения теплообмена, получаем интегральную зависимость радиуса оттаивания от глубины. Нижний предел – радиус оттаивания на подошве вечномёрзлых грунтов – находится из вышеупомянутой трансцендентной формулы с помощью метода линейной интерполяции. Зависимость радиуса оттаивания от глубины в табличной форме подставляем в решение уравнения теплообмена, которое получается в виде формулы Шухова.

Описанная методика реализована в среде Delphi. Создана программа, позволяющая оперативно вводить исходные данные и получать визуализированные результаты, а именно температурный профиль в жидкости и тепловое поле вечномёрзлого грунта, - в виде графиков и таблиц. Сделаны пробные расчёты на основе данных по Средне – Хулымскому месторождению.

В докладе рассмотрена приближённая аналитическая методика расчёта, которая описывает тепловые поля в жидкости и в горных породах вокруг скважины, проходящей через вечномёрзлые грунты. Расчет предполагаемой температуры нефти на устье скважины – важный параметр в проектировании обустройства месторождения, определяющий параметры системы сбора нефти, а динамика зоны оттаивания вокруг скважины – используется как основной фактор устойчивости скважины и кустовых объектов обустройства.

Список публикаций:

[1] Добыча, подготовка и транспорт природного газа и конденсата. Справочное руководство в 2-х томах. Том 1/Под ред. Ю.П.Коротаева, Р.Д.Моргулова – М.:Недра, 1984, 360 с.

[2] Г. Карслоу, Д. Егер. Теплопроводность твердых тел. – М.: Наука, 1964, 488 с.

## Флуктуации интенсивности звука в океаническом волноводе в присутствии внутренних солитонов

*Цхойдзе Александр Вячеславович*

*Воронежский государственный университет*

*Кацнельсон Борис Григорьевич, к.ф.-м.н*

*[sashiko@inbox.ru](mailto:sashiko@inbox.ru)*

Внутренние волны являются одной из главных причин, вызывающих временные флуктуации акустических сигналов, которые распространяются в океане. Этим обуславливается повышенный интерес к изучению воздействия внутренних волн на звуковые сигналы как в эксперименте, так и в теоретических исследованиях.

Рассмотрим распространение сигнала вдоль акустической трассы в мелководном звуковом канале в присутствии внутренних волн, распространяющихся примерно перпендикулярно этой трассе.

Представим мелководную океаническую среду в виде трехмерного гидроакустического волновода в системе координат  $X, Y, Z$ . Волновод образован водным слоем с плотностью  $\rho(z)$  и квадратом показателя преломления  $n^2(z) + \mu(x, y, z, t)$ , где  $n^2(z)$  соответствует некоторой средней равновесной стратификации слоя,  $\mu(x, y, z, t)$  - изменению его акустических свойств, вызванному пакетом внутренних волн. Водный слой ограничен по глубине свободной поверхностью при  $z = 0$  и однородным поглощающим полупространством – дном при  $z = H$  с плотностью  $\rho_1$  и квадратом показателя преломления  $n_1^2(1 + i\alpha)$ , где  $\alpha$  определяется поглощающими свойствами дна.

Структура поля оценивается теорией «горизонтальных лучей и вертикальных мод». Согласно этой теории, звуковое поле  $\Psi(\vec{r}, z)$  в точке приема с координатами  $(\vec{r}, z)$  от источника, расположенного в точке с координатами  $(\vec{r}_0 = 0, z = z_0)$ , удовлетворяющее уравнению

$$\Delta\Psi + k^2 n^2(\vec{r}, z) = 0 \quad (1)$$

и граничными условиями

$$\begin{aligned} [\Psi(\vec{r}, z)]_{z=0} &= 0 \\ [\Psi(\vec{r}, z) - \Psi_1(\vec{r}, z)]_{z=0} &= 0 \\ \left[ \frac{1}{\rho} \frac{\partial\Psi(\vec{r}, z)}{\partial z} - \frac{1}{\rho_1} \frac{\partial\Psi_1(\vec{r}, z)}{\partial z} \right]_{z=H} &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

ищется в виде:

$$\Psi(\vec{r}, z) = \sum_n \sum_m A_{nm}(\vec{r}) \psi_m(\vec{r}, z) \exp(i\theta_{nm}(\vec{r})) \quad (3)$$

Здесь  $A_{nm}(x, y)$  - амплитуда,  $\theta_{nm}(x, y)$  - фазовый набег  $m$ -й акустической моды  $\psi_m(x, y, z)$ .

Будем считать, что гидроакустические параметры среды вдоль лучей изменяются достаточно медленно. Это предположение оправданно, так как мы рассматриваем ситуацию, когда внутренние волны распространяются поперек акустической трассы. В этом случае моды  $\psi_m(x, y, z)$  и соответствующие им волновые числа  $\xi_m = q_m + i\gamma_m/2$  зависят от горизонтальных координат, как от параметров и являются решением задачи Штурма-Лиувилля. Функции  $A_{nm}(x, y)$  и  $\theta_{nm}(x, y)$ , представляющие собой амплитуду и фазовый набег, которые соответствуют  $n$ -му лучу  $m$ -й моды, приходящему в точку приема, определяются уравнением эйконала и уравнением переноса.

Рассмотрим случай, когда волновой фронт солитонов можно считать плоским, т.е. вертикальное смещение является функцией только координаты  $y$ :

$$\zeta = \zeta_s(y - ut) = \frac{\zeta_0}{2} \left( \cos \left[ \frac{2\pi}{\Lambda} (y - ut) \right] + 1 \right) \quad (4)$$

Для численного решения параболического уравнения применялась стандартная схема расчета под названием SSF алгоритм. Тогда для следующих параметров волновода: высота  $H = 50m$ , термоклин от 10 до 20 м, частота плавучести  $N_0 = 15\mu/\text{ч}$ ; источника: монохроматический, точечный; солитонов:  $\zeta_0 = 5m$ ,  $\Lambda = 200m$  получим следующие картины лучей и распространения относительной интенсивности (см. рис.1):

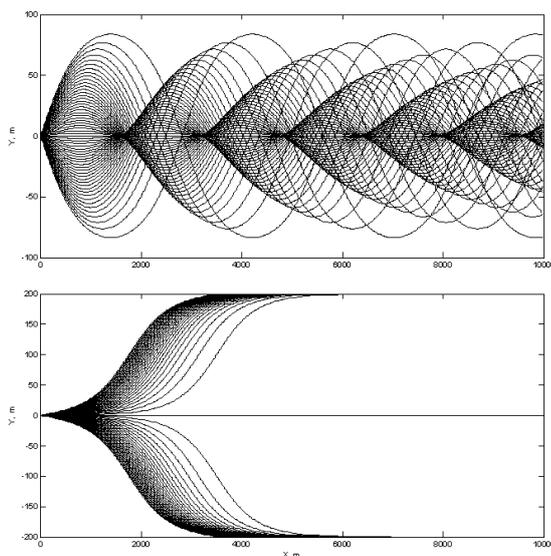


рис.1 горизонтальные лучи для случая максимума (сверху) и минимума (внизу) значения солитона при  $y = 0$ . Частота источника  $f = 150\text{Hz}$ , 3-я мода.

Отсюда видно, что с течением времени интенсивность в точке наблюдения варьируется в больших пределах. В данной модели получены значения флуктуаций до 20Дб. Эта величина измерима на практике и, следовательно, приводит к необходимости учета горизонтальной рефракции вследствие влияния внутренних солитонов.

Подобные ситуации встречались в экспериментах (SWARM, PRIMER), в которых пересекающиеся акустические трассы перекрывают некоторый регион. Они позволяют регистрировать тонкие акустические эффекты на акваториях до многих тысяч квадратных километров. В этом случае учет эффектов горизонтальной рефракции имеет важное значение