

**МАТЕРИАЛЫ  
XI МЕЖДУНАРОДНОЙ ШКОЛЫ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
им. А.Г. Колесника**

**ФИЗИКА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**Томск 2014**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНСТИТУТ ОПТИКИ АТМОСФЕРЫ ИМ. В.Е. ЗУЕВА СО РАН

## ФИЗИКА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*Материалы XI Международной Школы молодых ученых  
им. А.Г. Колесника*

15 – 19 сентября 2014 г., г. Томск

Оргкомитет благодарит  
Министерство образования и науки Российской Федерации,  
Сибирское отделение Российской Академии наук,  
Российский фонд фундаментальных исследований,  
Томский государственный университет,  
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
внесших свой вклад в проведение и публикацию материалов Школы

Томск  
2014

УДК 551.508; 551.510; 551.521

Рецензенты:

Г.Г. Матвиенко, д-р физ.-мат. наук, проф., ИОА СО РАН

С.А. Колесник, канд. физ.-мат. наук, доцент, ТГУ

**Физика окружающей среды:**

**Ф50** Материалы XI Международной Школы молодых ученых «Физика окружающей среды» им. А.Г. Колесника. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2014. – 196 с.

ISBN 978-5-91302-160-1

Сборник включает статьи участников XI Международной Школы молодых ученых «Физика окружающей среды» им. А.Г. Колесника. Обсуждаются результаты теоретических и экспериментальных исследований по следующим направлениям: физика атмосферы, ионосферы и магнитосферы, физика солнечно-земных связей, физическая экология, распространение электромагнитных волн в атмосфере, ионосфере и океане, физика и химия атмосферного аэрозоля, радиация и климат, физические основы, методы и аппаратура оптического, радиоволнового и акустического зондирования окружающей среды.

Для специалистов в области физики, оптики атмосферы и океана, радиофизики, метеорологии и экологии.

УДК 551.508; 551.510; 551.521

*XI Международная Школа молодых ученых «Физика окружающей среды» им. А.Г. Колесника проведена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 14-35-10113 - мол\_г)*

ISBN 978-5-91302-160-1

© Авторы статей, 2014

© Томский государственный университет, 2014

© Издательство «ТМЛ-Пресс», 2014

<b>Дмитриев В.Л.</b> К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК НАСЫЩЕННЫХ ПОРИСТЫХ СРЕД АКУСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ .....	67
<b>Золотухина О.И., Петухова О.В., Громницкая А.А.</b> ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНВЕКЦИИ В РАЙОНЕ КОСМОДРОМА «ВОСТОЧНЫЙ» В ДНИ С ГРОЗОЙ .....	70
<b>Зубрилкин А.И., Побаченко С.В.</b> ОЦЕНКА ИНТЕРВАЛОВ ПЕРЕСТРОЙКИ ИНДЕКСОВ РИТМОВ ЭЭГ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИЗЛУЧЕНИЙ СОТОВЫХ ТЕЛЕФОНОВ СТАНДАРТА GSM-900 .....	74
<b>Канухина А.Ю., Савенкова Е.Н., Погорельцев А.И.</b> ВЛИЯНИЕ КОНВЕКТИВНОЙ АКТИВНОСТИ В ТРОПОСФЕРЕ НА ДИНАМИКУ СТРАТОСФЕРЫ .....	79
<b>Карташова Е.С., Зуев С.В., Красненко Н.П.</b> ОЦЕНКА СУММАРНОЙ РАДИАЦИИ ПО ДАННЫМ НЕЗАТЕНЕННОГО ПИРАНОМЕТРА .....	83
<b>Касымов Д.П.</b> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФРОНТА МОДЕЛЬНОГО ЛЕСНОГО ПОЖАРА НА ДЕРЕВЯННУЮ ПРЕГРАДУ .....	87
<b>Книжин С.И., Тинин М.В.</b> ВЫХОД ЗА РАМКИ ФРЕНЕЛЕВСКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДИАГНОСТИКИ НЕОДНОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ ПОМОЩИ КВАЗИОПТИМАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ .....	90
<b>Когогин Д.А., Насыров И.А., Грач С.М., Шиндин А.В.</b> РЕГИСТРАЦИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА СЕТИ ГНСС-СТАНЦИЙ РАСПОЛОЖЕННЫХ НЕДАЛЕКО ОТ СТЕНДА «СУРА» .....	94
<b>Колотков Г.А.</b> ИЗМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ИОНООБРАЗОВАНИЯ В ПОЧВЕ В 50-КМ ЗОНЕ АЭС ФУКУСИМА-1 .....	98
<b>Коношонкин А.В., Кустова Н.В., Боровой А.Г.</b> РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАССЕЯНИЯ СВЕТА НА КВАЗИГОРИЗОНТАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННОЙ СУБМИЛЛИМЕТРОВОЙ ЛЕДЯНОЙ ПЛАСТИНКЕ С ЭФФЕКТИВНЫМ УГЛОМ НАКЛОНА В ДИАПАЗОНЕ ОТ 0 ДО 90 ГРАДУСОВ .....	102
<b>Корсаков А.А., Козлов В.И., Каримов Р.Р.</b> ВАРИАЦИИ АМПЛИТУДЫ И ФАЗЫ ОНЧ-НЧ СИГНАЛОВ РАДИОСТАНЦИЙ, ПРИНИМАЕМЫХ В ЯКУТСКЕ В ПЕРИОД СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 20–21 МАЯ 2012 ГОДА .....	106
<b>Кустова Н.В., Коношонкин А.В., Боровой А.Г.</b> ЧИСЛЕННЫЕ АЛГОРИТМЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ ДЛЯ ЗАДАЧИ РАССЕЯНИЯ СВЕТА НА ЛЕДЯНЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦАХ ПЕРИСТЫХ ОБЛАКОВ .....	109
<b>Лавринов В.В.</b> ПРОГНОЗИРУЮЩИЙ АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ АДАПТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ .....	113
<b>Лобьгчева И.Ю., Седых П.А.</b> ВЛИЯНИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ НА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЕ .....	117
<b>Лобьгчева И.Ю., Седых П.А.</b> О ВЛИЯНИИ МАГНИТНЫХ БУРЬ НА ТРОПИЧЕСКИЙ ЦИКЛОГЕНЕЗ .....	122
<b>Медведев А.В., Ратовский К.Г., Толстик М.В., Алсаткин С.С.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЕРЕМЕЩАЮЩИХСЯ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ С НЕЙТРАЛЬНЫМ ВЕТРОМ .....	126

# РЕГИСТРАЦИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА СЕТИ ГНСС-СТАНЦИЙ РАСПОЛОЖЕННЫХ НЕДАЛЕКО ОТ СТЕНДА «СУРА»

Д.А. Когогин, И.А. Насыров, С.М. Грач, А.В. Шиндин

dkogogin@kpfu.ru, inasyrov@kpfu.ru

sgrach@rf.unn.ru, freaz@bk.ru

Представлены некоторые результаты, полученные после обработки данных экспериментальных компаний 2010–2013 гг. по искусственному воздействию на ионосферу мощным радиоизлучением передатчиков стенда «Сура» расположенного в загородной лаборатории ФБГНУ НИРФИ «Васильсурск» (56°09' с.ш., 46°06' в.д.). Во время работы стенда производилось измерение полного электронного содержания в F2 слое ионосферы Земли (ПЭС) с помощью сигналов излучаемых с борта навигационных спутников систем ГЛОНАСС и GPS. Регистрация сигналов осуществлялась в пространственно-разнесённых пунктах: п. «Васильсурск» (расположен непосредственно на территории радиополигона, 400 м от антенной системы стенда «Сура»; используется ГНСС-приёмник «Prego-T»); п. «Зеленодольск» (расположен – 55°52' с.ш., 48°33' в.д.; используется ГНСС-приёмник TrimbleNet R9); п. «Казань» (расположен – 55°48' с.ш., 49°08' в.д., используется ГНСС-приёмник TrimbleNet R9). Пункты «Васильсурск», «Зеленодольск» и «Казань» расположены вдоль геомагнитной широты стенда «Сура». Расстояния между пунктами: Васильсурск–Зеленодольск – ~160 км; Васильсурск–Казань – ~200 км.

Для определения ПЭС использовалась методика, описанная в работах [1, 2]. Пример записи ПЭС, полученной для НС GPS № 08 15.03.2010 г. для п. Казань, приведен на рис. 1. Вариации ПЭС выражены в общепринятой единице измерения TECU ( $1 \text{ TECU} = 10^{16} \text{ эл/м}^2$ ).

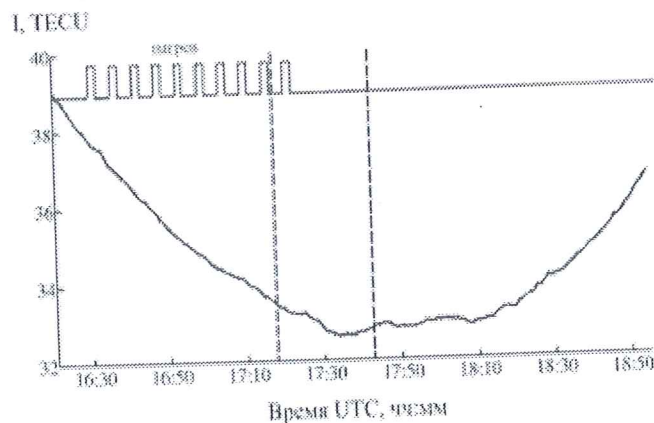


Рис. 1. ПЭС для спутника GPS № 08 15.03.2010 г. (п. Казань).

Вертикальными пунктирными линиями отмечен интервал пролета спутника GPS № 08 над ДН стенда «Сура» (большой эллипс на рис. 3), в верхней части рисунка прямоугольниками показан режим работы

Для детального изучения малых вариаций из исходной зависимости ПЭС от времени (рис. 2), удалялся тренд при помощи вычитания скользящего среднего с линейной весовой функции:

$$dI(j) = I(j) - \frac{1}{N} \sum_{n=j-N}^{j+N} \left( \frac{I[n](N - |n-j|)}{N} \right), \quad (1)$$

где  $dI(j)$  – колебания ПЭС относительного среднего уровня,  $N$  – параметр усреднения, общее число точек суммирования.

При обработке экспериментальных данных параметр  $N$  выбирался таким образом, что бы время усреднения соответствовало времени релаксации крупномасштабной ионосферной неоднородности (~15÷20 мин). Оценки времени релаксации были выполнены в работе [1]. Малые вариации ПЭС, приведенных на рис. 1 данных, показаны на нижней панели рис. 3, а.

15 марта 2010 г. спутник GPS № 08 проходил над станцией «Сура» в вечерние часы (рис. 3). Во время пролёта спутника над ДН с 16:30 до 17:30 UTC проводился нагрев ионосферы на частоте  $f_B = 4,3$  МГц с эффективной мощностью излучения 120 МВт (работали все три передатчика), ДН была направлена вертикально вверх. Режим излучения мощной волны – 2 мин нагрев, 4 мин – пауза; нагрев ионосферы осуществлялся циклами, согласно режиму. Прекращение воздействия в 17:27 UTC во время пролёта спутника над станцией было связано с уменьшением критической частоты  $f_oF2$  ниже частоты воздействия станции «Сура». На рис. 3 представлена проекция орбитального движения спутника GPS №08 на поверхность Земли. Большим эллипсом (рис. 2, 4) обозначено местоположение проекции главного лепестка ДН станции «Сура» на высоте пролета спутников GPS (20 180 км).

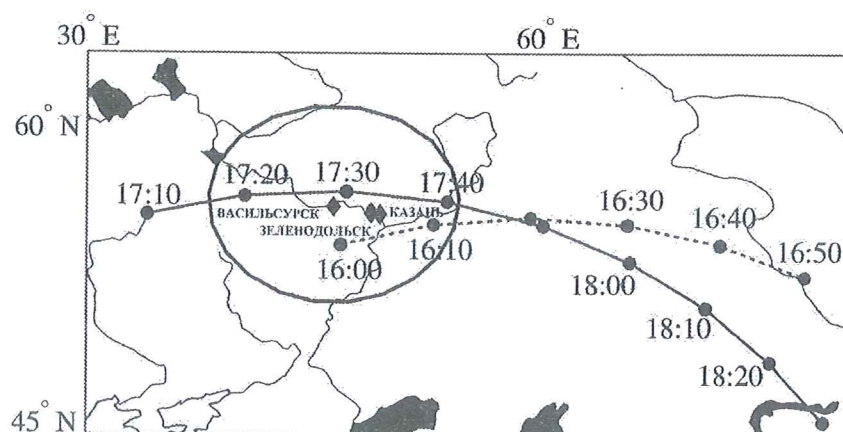


Рис. 2. Расположение пунктов приёма сигналов от ГНСС (отмечено ромбами на карте); линия с маркерами времени (отмечены точками) – трасса и время (UTC) прохождения спутника GPS № 08 (сплошная линия) и GPS №07 (пунктирная линия) 15.03.2010 г.

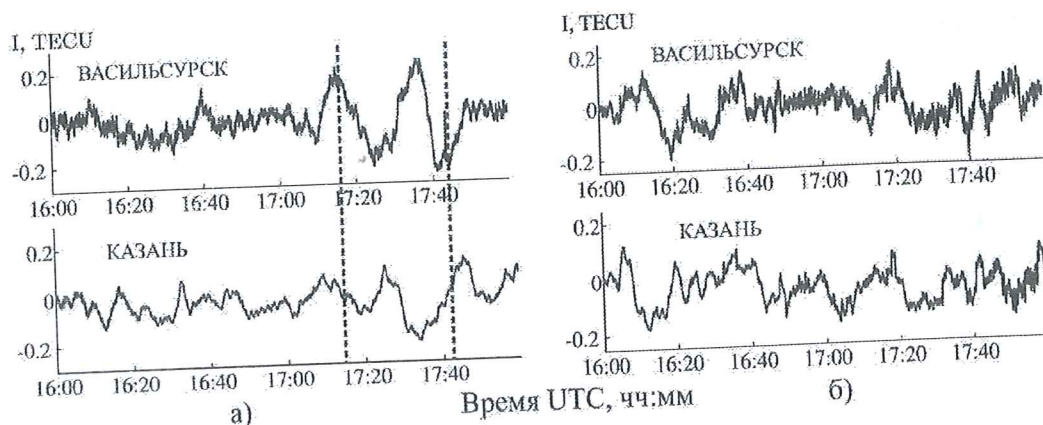


Рис. 3. Вариации ПЭС, зарегистрированные в Васильсурске (верхние панели) и Казани (нижние панели) 15.03.2010 г.: а) спутник GPS № 08 (вертикальными пунктирными линиями отмечен интервал пролета спутника GPS №08 над ДН стенда «Сура» (большой эллипс на рис. 3)); б) спутник GPS № 07 (не пролетал над ДН стенда «Сура» по условиям проведения эксперимента)

Результаты обработки вариаций ПЭС приведены на рис. 3. Вертикальными пунктирными линиями (рис. 3, а, 5, а) отмечено время пересечения спутником ДН стенда «Сура» (временной интервал пролета ДН). Из рис. 3, а видно, что во время пролёта спутника над возмущённой областью ионосферы (влетает в ДН: ~17:18 UTC, вылетает из ДН: ~17:42 UTC) появляются вариации ПЭС, что говорит о наличии крупномасштабных неоднородностей в этой зоне. Колебания ПЭС наблюдаются даже после прекращения нагрева ионосферы. Параллельно с данными радиопросвечивания ионосферы со спутника GPS № 08 анализировались данные со спутника GPS № 07, который не пересекал ДН стенда СУРА во время проведения эксперимента (пунктирная линия на рис. 2). Для данного спутника характерных вариаций ПЭС не зарегистрировано.

12 марта 2013 г. спутник GPS № 09 двигался с северо-запада на юг таким образом, что радиотрасса GPS № 09 – Васильсурск проходила через возмущённую область ионосферы (сплошная линия на рис. 4). Режим работы стенда «Сура»: 5 мин – нагрев, 2 мин – пауза; частота воздействия ~4,7 МГц; ДН стенда «Сура» наклонена на 12° на юг в направлении «Магнитного зенита»; время включения мощного передатчика – 16:39 UTC; время выключения – 19:00 UTC. Параллельно с данными радиопросвечивания ионосферы со спутника GPS № 09 анализировались данные со спутника GPS № 28 (пунктирная линия на рис. 4), который в это же время проходил с юга на северо-восток таким образом, что радиотрассы GPS № 28 – ГНСС-сеть не проходили через область ионосферы, возмущённую мощным радиоизлучением.

Вариации ПЭС, зарегистрированные для всех измерительных пунктов приведены на рис. 5, а (НС GPS № 09) и рис. 5, б (НС GPS № 28). Верхние панели – п. Васильсурск, средние панели – п. Зеленодольск, нижние панели – п. Казань.

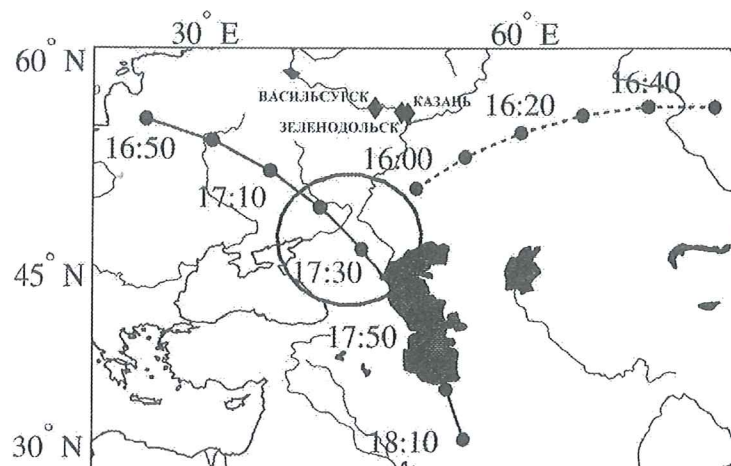


Рис. 4. Расположение пунктов приёма сигналов от ГНСС (отмечено ромбами на карте); линия с маркерами времени – трасса и время (UTC) прохождения спутника GPS № 09 (сплошная линия) и GPS № 28 (пунктирная линия) 12.03.2013 г.

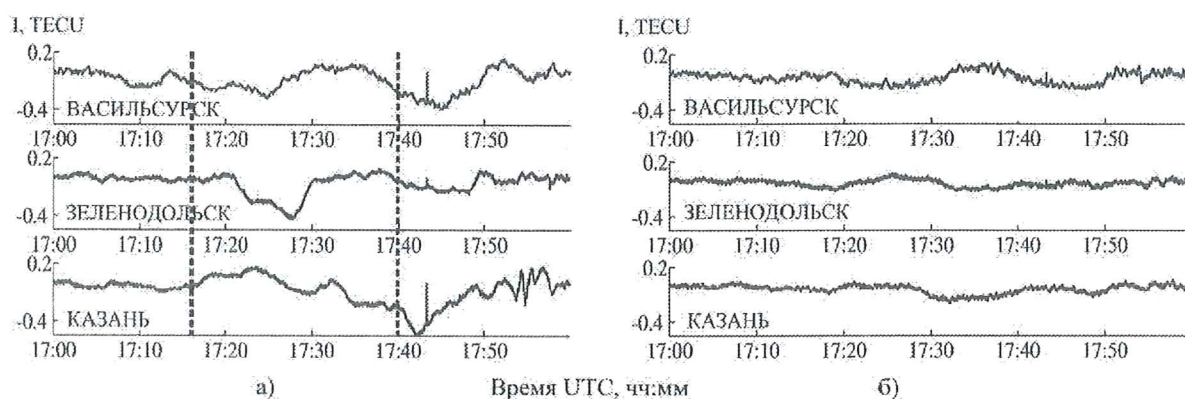


Рис. 5. Вариации ПЭС, зарегистрированные для трёх пунктов наблюдения (Васильсурск, Зеленодольск, Казань) 12.03.2013 г.: а) спутник GPS № 09 (вертикальными пунктирными линиями отмечен интервал пролета спутника GPS № 09 над ДН стенда «Сура»); б) спутник GPS № 28 (не пролетал над ДН стенда «Сура» по условиям проведения эксперимента)

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №12-02-00513-а, №13-02-00957-а, №14-02-31459-мол\_а) и Российского научного фонда (грант № 14-12-00706)

## Литература

1. Рябов А.В., Грач С.М., Шиндин А.В., Котик Д.С. Исследование характеристик крупномасштабных неоднородностей ионосферы, вызванных воздействием на неё мощного коротковолнового радионизлучения, с помощью сигналов GPS // Известия вузов. Радиофизика. 2011. Т. LIV, № 7. С. 485–496.
2. Шиндин А.В., Грач С.М., Сергеев Е.Н., Рябов А.В. Пространственная корреляция крупномасштабных неоднородностей плотности (по данным анализа GPS сигналов) и искусственного оптического свечения в линии 630 нм в ионосфере, возмущенной мощной радиоволной // Вестник Нижегород. ун-та им. Н.И. Лобачевского. 2012. № 4, вып. 1. С. 105–113.