

24 – 28 сентября 2012 г
Санкт-Петербург

VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству

Сборник трудов



СОДЕРЖАНИЕ

О ВЛИЯНИИ ЗАСЕВА КРИСТАЛЛИЗУЮЩИМИ РЕАГЕНТАМИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ГРАДОВЫХ ОБЛАКОВ	
Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Аджиев А.Х., Стасенко Д.В., Кулиев Д.Д., Акимова И.И.	10
РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ НИТЕЙ ДЛЯ ИНИЦИИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ МОЛНИЙ	
Аджиев А.Х., Щукин Г.Г., Машуков Х.Х.	12
О ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЗОНЕОДНОРОДНОСТЕЙ И АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА	
Акселевич В.И., Мазуров Г.И.	14
ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНОГО ЗАРЯДА КОРОНЫ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ НА ПРИТЯЖЕНИЕ МОЛНИИ К ВЫСОКИМ ОБЪЕКТАМ	
Александров Н.Л., Базелян Э.М., Райзер Ю.П.	15
СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА	
Алешков В.М., Евстифеев С.Е., Молодых С.И., Нечаев С.А.	17
ДИНАМИКА ЭЛЕКТРИЧЕСТВА НЕВОЗМУЩЕННОЙ АТМОСФЕРЫ СРЕДНИХ ШИРОТ	
Анисимов С.В.	18
ВАРИАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ	
Анисимов С.В., Афиногенов К.В., Галиченко С.В.	22
АТМОСФЕРНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «БОРОК»	
Анисимов С.В., Афиногенов К.В., Гурьев А.В., Дмитриев Э.М.	24
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНВЕКТИВНОГО ПЛАНЕТАРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ	
Анисимов С.В., Галиченко С.В., Шихова Н.М., Афиногенов К.В.	26
НАБЛЮДЕНИЯ ВАРИАЦИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ТЯНЬ-ШАНЕ В РАЗНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ, ВКЛЮЧАЯ СЕЙСМИЧЕСКИЕ	
Антонова В.П., Дробжев В.И., Шлюгаев Ю.В.	29
НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ, МИКРОСТРУКТУРНЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНВЕКТИВНЫХ ОБЛАКОВ	
Ашабоков Б.А., Кулиев Д.Д., Продан К.А., Шаповалов А.В., Шаповалов В.А.	31
КОРОНА В МНОГОЭЛЕКТРОДНОЙ СИСТЕМЕ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ГРОЗОВОГО ОБЛАКА	
Базелян Э.М., Александров Н.Л., Райзер Ю.П.	33
РАДИОЗОНДОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ	
Балугин Н.В., Дубовецкий А.З., Хайкин М.Н., Кочин А.В.	35
ИНИЦИИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ МОЛНИИ РАКЕТОЙ «АЛАЗАНЬ - 6» С ТОКОПРОВОДЯЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ	
Бейтуганов М.Н., Машуков Х.Х., Чочаев Х.Х.	37
АНОМАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ ВО ВРЕМЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ 2010 ГОДА	
Беллюстин Н.С., Ермакова Е.Н., Караштин А.Н., Караштина О.С., Панютин А.А.	39
МЕТОДЫ ВТОРИЧНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГА ГРОЗООПАСНОСТИ	
Богушов А.К., Панюков А.В.	40
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ЗАРЯЖЕННОГО АЭРОЗОЛЯ	
Бударагин Д.И., Климашев В.Ю., Емельянов А.А., Иудин Д.И.	42

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРОЗОВОЙ И ЛИВНЕВОЙ АКТИВНОСТИ ПО ТЕРРИТОРИИ РОССИИ НА ОСНОВАНИИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА	
Веремей Н.Е., Довгалюк Ю.А., Ефимов С.В., Мелешко В.П., Школьник И.М., Носова А.М., Печенкин А.А.	44
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ КОНВЕКТИВНОГО ОБЛАКА ПО ДАННЫМ ЧИСЛЕННОЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ	
Веремей Н.Е., Довгалюк Ю.А., Затевахин М.А., Игнатьев А.А., Морозов В.Н.	47
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГРОЗОВЫЕ КУЧЕВО-ДОЖДЕВЫЕ ОБЛАКА ГИГРОСКОПИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОСАДКОВ	
Владимиров С.А., Пастушков Р.С.	49
РОЛЬ ГРОЗ В ВОЗНИКНОВЕНИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ЮГО-ВОСТОКЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	
Горбатенко В.П., Громницкая А.А., Нечепуренко О.В.	51
ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ НАД ЗАПАДНОЙ СИБИРЬЮ И АЛТАЕМ	
Горбатенко В.П., Константинова Д.А.	53
ВОЗМОЖНОСТИ СПЕКТРОРАДИОМЕТРА MODIS ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ГРОЗ	
Горбатенко В.П., Кречетова С.Ю.	55
ПЫЛЕВАЯ ПЛАЗМА ВЕТРОПЕСЧАНОГО ПОТОКА	
Горчаков Г.И., Карпов А.В., Копейкин В.М., Бунтов Д.В., Курбатов Г.А.	57
ВЛИЯНИЕ ЛУННО-СОЛНЕЧНЫХ ПРИЛИВОВ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ	
Грунская Л.В., Ефимов В.А., Закиров А.А., Рубай Д.В., Золотов А.Н.	58
ОБНАРУЖЕНИЕ ЛУННЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПРИЛИВОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ	
Грунская Л.В., Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Батин А.С.	60
ВЛИЯНИЕ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ИОНОСФЕРНЫХ ТЕЧЕНИЙ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЕ	
Давыденко С.С.	62
МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ОТКЛИКА АТМОСФЕРЫ НА МОЛНИЕВЫЙ РАЗРЯД	
Давыденко С.С., Мареев Е.А., Сергеев А.С.	64
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕЗОМАСШТАБНЫХ КОНВЕКТИВНЫХ СИСТЕМ И ОЦЕНКА ИХ ВКЛАДА В ГЛОБАЛЬНУЮ ЦЕПЬ	
Давыденко С.С., Маршалл Т., Штольценбург М.	67
АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОДНОГО ЭФФЕКТА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ	
Дмитриев Э.М.	69
ВОЗМУЩЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И СОСТАВА СРЕДНЕЙ АТМОСФЕРЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЫСОТНЫХ РАЗРЯДОВ	
Евтушенко А.А., Кутерин Ф.А., Мареев Е.А.	71
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАВИН ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ, ВЫЗВАННЫХ КОСМИЧЕСКИМИ ЛУЧАМИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ГРОЗОВЫХ ОБЛАКОВ	
Еленский Я.С., Лапа А.В., Лидванский А.С.	73
МОЛНИИ И ПОСЛЕДСТВИЯ ОТ НИХ НА ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА ПЕРИОД 1990-2011 ГГ	
Ершова Т.В., Петухова О.В.	75
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ ПРОВОДИМОСТИ В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ	
Жидков А.А., Калинин А.В.	77
ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВО ВРЕМЯ ГРОЗ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА	
Зайнетдинов Б.Г., Герасименко Н.И., Морозов В.Н., Попов И.Б.	79

ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВЫСОТНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДАХ. АКАДЕМИЧЕСЕИЙ МИКРОСПУТНИК «ЧИБИС-М»	
Зелёный Л.М., Ангаров В.Н., Добриян М.Б., Готлиб В.М., Климов С.И., Родин В.Г., Назаров В.Н., Гуревич А.В., Гарипов Г.К., Панасюк М.И., Свертилов С.И.	81
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОЙ ПЕЛЕНГАЦИИ МОЛНИЕВЫХ РАЗРЯДОВ ДЛЯ НУЖД ОАО «ФСК ЕЭС»	
Золотых А.Г., Озеров А.Н., Евтеев С., Лепешкин Д.	82
РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ С ЦЕЛЬЮ УТВЕРЖДЕНИЯ ТИПА СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОВОДИМОСТЕЙ ВОЗДУХА	
Зубков П.Н., Колерский С.В., Попов И.Б., Соколенко Л.Г.	83
МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ СРЕДСТВАМИ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЁННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ	
Иванов В.Н., Коровин В.Я., Меляшинский А.В., Памухин К.В., Швырев Ю.Н.	84
ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЭРОЗОЛЯ	
Ивлев Л.С., Довгальук Ю.А.	87
КРИТЕРИИ ФОРМИРОВАНИЯ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГЛОБАЛЬНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ	
Ильин Н.В., Евтушенко А.А., Кутерин Ф.А., Мареев Е.А., Шаталина М.В.	88
КОНВЕКТИВНЫЙ ПЕРЕНОС ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ И ЕГО ДИАГНОСТИКА	
Ильин Н.В., Евтушенко А.А., Кутерин Ф.А., Мареев Е.А., Шаталина М.В., Анисимов С.В., Шихова Н.М., Галиченко С.В.	90
ПРОГРАММНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ СИГНАЛОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ	
Исакевич В.В., Грунская Л.В., Исакевич Д.В., Батин А.С.	93
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬ АЙГЕНОСКОПА - АНАЛИЗАТОРА НЕКОРРЕЛИРОВАННЫХ КОМПОНЕНТ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПОЛИГАРМОНИЧЕСКИХ И АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ	
Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Грунская Л.В.	94
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА И ФЛУКТУАЦИОННОЕ ПОНИЖЕНИЕ ПОРОГА ПРОБОЯ ОБЛАЧНОЙ СРЕДЫ	
Иудин Д.И., Мареев Е.А., Емельянов А.А., Климашев В.Ю., Иудин Ф.Д.	96
О НЕКОТОРЫХ СООТНОШЕНИЯХ ТЕОРИИ КЛАССИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОДНОГО ЭФФЕКТА	
Калинин А.В., Григорьев Е.Е., Терентьев А.М.	99
ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ АТМОСФЕРЫ В Г. НАЛЬЧИКЕ, ПО ДАННЫМ ИЗМЕРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ EFM550	
Калов Р.Х., Аджиев Х.М.	101
РАЗВИТИЕ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА МОЛНИЕЗАЩИЩЕННОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ	
Калугина И.Е., Гундарева С.В.	103
ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ МОЛНИЕВОГО РАЗРЯДА С ВЫСОКИМ ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ	
Караштин А.Н., Шлюгаев Ю.В., Караштина О.С., Комраков Г.П., Лисов А.А., Пичужкин Е.В., Гуревич А.В.	105
СТРУКТУРА КОРОТКОВОЛНОВОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ МОЛНИЕВОГО РАЗРЯДА	
Караштин А.Н., Шлюгаев Ю.В., Караштина О.С., Пичужкин Е.В., Гуревич А.В.	106
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ГРОЗ В ЯКУТИИ В 2009-2011 ГГ	
Каримов Р.Р., Козлов В.И., Муллаяров В.А., Тарабукина Л.Д., Шабганова С.Н.	107

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕНОСА ПЕСЧИНОК НА ОПУСТЫНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ В НИЖНЕМ СЛОЕ САЛЬТАЦИИ	
Карпов А.В., Горчаков Г.И., Соколов А.В., Бунтов Д.В., Злобин И.А.	110
НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРИКОВ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ В АРКТИКЕ (КОЛЬСКИЙ П-ОВ)	
Кириллов В.И., Пчелкин В.В., Белоглазов М.И., Галахов А.А.	111
СТОХАСТИЧЕСКИЙ РАЗОГРЕВ ЭЛЕКТРОНОВ В ПОЛЕ ГРОЗОВОГО ОБЛАКА	
Климашев В.Ю., Емельянов А.А., Иудин Д.И.	113
ЭСТАФЕТНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ АЭРОЗОЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ ГРОЗОВОГО ОБЛАКА	
Климашев В.Ю., Емельянов А.А., Иудин Ф.Д., Давыденко С.С., Иудин Д.И.	115
НЕТЕПЛОВОЙ ДЕЦИМЕТРОВЫЙ РАДИОШУМ ИЗ ОБЛАСТИ АТМОСФЕРНОГО ФРОНТА	
Клименко В.В.	117
О СТАТИСТИКЕ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ МЕЖДУ РАЗРЯДАМИ В ГРОЗОВОМ ОБЛАКЕ И ВЕРОЯТНОСТИ ФЛУКТУАЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ, ПРЕВЫШАЮЩИХ НЕКОТОРЫЙ ПОРОГ	
Клименко В.В.	119
О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОЙ РАДИОФИЗИКИ К АНАЛИЗУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ГРОЗОВОГО ОБЛАКА	
Клименко В.В., Денисов В.П., Широков Е.А.	121
НАБЛЮДЕНИЯ ВСПЛЕСКОВ НЕЙТРОНОВ ВО ВРЕМЯ МОЛНИЕВЫХ РАЗРЯДОВ НА УРОВНЕ МОРЯ	
Козлов В.И., Муллаяров В.А., Стародудцев С.А., Торопов А.А.	125
ИСКУССТВЕННОЕ ВЫЗЫВАНИЕ ОСАДКОВ ЗАРЯЖЕННЫМ РЕАГЕНТОМ	
Козлов В.Н.	127
К МЕТОДКЕ ОБЪЕДИНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦИОННОЙ СЕТИ И ДАННЫХ О ПАРАМЕТРАХ ОБЛАКОВ ИСЗ	
Колесов А.М., Снегуров А.В., Снегуров В.С.	129
СЕЗОННАЯ И СУТОЧНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АТМОСФЕРНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ	
Коломеец Л.И., Кашлева Л.В.	131
МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ФОРМИРОВАНИЯ БАНКОВ КАНОНИЧЕСКИХ ФОРМ АТМОСФЕРИКОВ	
Кононов И.И., Юсупов И.Е., Крутой Д.М.	131
МОЛНИИ НАД ЮГО-ВОСТОКОМ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	
Константинова Д.А., Горбатенко В.П.	133
СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОНВЕКЦИИ НАД РАВНИНОЙ И ГОРАМИ В ДНИ С ГРОЗОЙ	
Константинова Д.А., Горбатенко В.П., Ершова Т.В.	135
ХАРАКТЕРИСТИКА КОНВЕКТИВНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ДНИ С ГРОЗОЙ	
Константинова Д.А., Горбатенко В.П., Ершова Т.В.	137
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ САЛЬТАЦИИ	
Копейкин В.М., Горчаков Г.И., Карпов А.В., Колесникова А.Б.	139
МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРООБМЕНА НАГРЕТОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЫ В АТМОСФЕРЕ	
Копыт Н.Х., Семенов К.И.	141
РАЗРЯДЫ В СРЕДНЕЙ И ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЕ: ПОСЛЕДНИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И БУДУЩЕЕ ОПТИЧЕСКИХ И СПЕКТРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ НАБЛЮДЕНИЯ	
Костинский А.Ю.	143
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГРОЗ В СУТКАХ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ	
Кочеева Н.А., Кречетова С.Ю.	147
ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РЕАЛИЗАЦИИ ИНДУКЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ	
Кочин А.В.	148

АНАЛИЗ ДАННЫХ ПАССИВНЫХ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ЦЕЛЯХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОТ МОЛНИЕВЫХ РАЗРЯДОВ	
Крутой Д.М., Кононов И.И., Юсупов И.Е.	150
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА В ОБЛАКАХ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	
Кулиев Д.Д., Шаповалов А.В.	152
ПРИМЕНЕНИЕ ДЛИННЫХ ИСКРОВЫХ РАЗРЯДОВ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ГРОЗОПЕЛЕНГАТОРОВ	
Кутерин Ф.А., Микрюков П.А., Шлюгаев Ю.В.	154
АНОМАЛЬНАЯ СУТОЧНАЯ ВОЛНА «ПОЛЯ ХОРОШЕЙ ПОГОДЫ» В ГОРНОМ УЩЕЛЬЕ	
Лидванский А.С., Хаердинов Н.С.	155
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОЛЯ В ГРОЗОВЫХ ОБЛАКАХ	
Мальцев А.А., Стожков Ю.И.	157
ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ ВЫСОТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ В АТМОСФЕРЕ	
Мальцев А.А., Стожков Ю.И.	157
ГЛОБАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ	
Мареев Е.А.	159
МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО ТОКА И ЕГО СУТОЧНОЙ ВАРИАЦИИ В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ	
Мареева О.В., Мареев Е.А., Калинин А.В., Жидков А.А.	163
ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ВАРИАЦИЯМИ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ У ЗЕМЛИ И МЕТЕОТРОПНЫМИ РЕАКЦИЯМИ У КАРДИОЛОГИЧЕСКИХ И ГИПЕРТОНИЧЕСКИХ БОЛЬНЫХ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ	
Машуков И.Х., Бжекшиев С.Л., Ташилова А.А., Щукин Г.Г.	165
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ НА СОДЕРЖАНИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ	
Машуков Х.Х., Жинжакова Л.З., Кулиев Д.Д., Реутова Т.В.	166
ПРОЕКТ АЭРОСТАТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АТМОСФЕРЫ НА ВЫСОТАХ ДО 300М	
Микрюков П.А., Шлюгаев Ю.В.	168
АНАЛИЗ ПЕРИОДОВ АНОМАЛЬНЫХ УСИЛЕНИЙ ВАРИАЦИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТ-НОГО ПОЛЯ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ 8 – 35ГЦ	
Молодых С.И., Рахматулин Р.А., Липко Ю.В., Пашинин А.Ю.	170
О ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ АТМОСФЕРЫ	
Морозов В.Н.	172
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ , СОЗДАВАЕМОГО ИОНОСФЕРНЫМ ГЕНЕРАТОРОМ В НИЖНИХ СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ	
Морозов В.Н.	173
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАЦИЙ КОМПОНЕНТ РАДИАЦИОННОГО ФОНА И АТМОСФЕРНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В СЕЙСМИЧЕСКИ СПОКОЙНОМ И АКТИВНОМ РЕГИОНАХ	
Нагорский П.М., Вуколов А.В., Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Макаров Е.М., Смирнов С.В., Фирстов П.П., Яковлева В.С.	175
ЭЛЕКТРОДНЫЙ СЛОЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ МОЩНОЙ КОНВЕКТИВНОЙ ОБЛАЧНОСТИ	
Нагорский П.М., Морозов В.Н., Смирнов С.В., Афонюшкин А.В., Пустовалов К.Н.	177
СПЕКТРАЛЬНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПОЛОЖЕНИЯ ДИПОЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	
Панюков А.В., Богушов А.К.	179

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАЗОВЫХ БЛОКОВ ГГО ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГРОЗОВОЕ КУЧЕВО-ДОЖДЕВОЕ ОБЛАКО ЛЬДООБРАЗУЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ	
Пастушков Р.С.	181
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЕГО СТРУКТУРУ	
Полушин П.А., Грунская Л.В.	183
СЕТЬ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПРИЗЕМНЫМ АТМОСФЕРНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСТВОМ. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ	
Попов И.Б., Соколенко Л.Г.	185
ВЗАИМОСВЯЗЬ ОПТИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ	
Пхалагов Ю.А., Ипполитов И.И., Козлов В.С., Нагорский П.М., Смирнов С.В., Ужегов В.Н.	187
СУТОЧНЫЕ СМЕЩЕНИЯ ДОЛГОТНОГО МАКСИМУМА ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ ПО ВЫСОКОШИРОТНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ УГЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШУМОВОГО ЭМП В ОКРЕСТНОСТИ ЧАСТОТ 1-ГО ШУМАНОВСКОГО РЕЗОНАНСА	
Пчелкин В.В.	189
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОИСКА РЕДКИХ СОБЫТИЙ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СВЯЗЕЙ АТМОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПАРАМЕТРАМИ МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЫ	
Пчелкин В.В.	191
О СВЯЗИ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СРЕДНЕГО УРОВНЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КНЧ ШУМОВ И ГЛОБАЛЬНОЙ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ	
Пчелкин В.В., Белоглазов М.И.	193
КОМПЛЕКС АВТОМАТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОПАСНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ, ВКЛЮЧАЯ ГРОЗОПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ НА ОСТАНКИНСКОЙ ТЕЛЕБАШНЕ	
Разин П.Е., Андреев М.Г., Сысоев В.С., Костинский А.Ю., Булатов М.У., Сухаревский Д.И., Шлюгаев Ю.В.	196
A REVIEW OF RECENT PROGRESS IN STUDYING PHYSICS OF LIGHTNING	
Rakov V.A.	198
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТУРБУЛЕНТНОГО ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ ПРИ НАЛИЧИИ МНОГОКРАТНО ЗАРЯЖЕННЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ	
Редин А.А., Куповых Г.В., Болдырев А.С.	199
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНВЕКТИВНО-ТУРБУЛЕНТНОГО ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ	
Редин А.А., Куповых Г.В., Болдырев А.С., Букантис А.А.	202
СВЯЗЬ МЕЖДУ ВОЗМУЩЕНИЯМИ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ И ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД	
Руленко О.П., Марापалец Ю.В.	204
КОРОННЫЙ РАЗРЯД В ОБЛАКАХ	
Синькевич А.А., Довгалюк Ю.А.	206
НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ВАРИАЦИИ АТМОСФЕРНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В ПРЕДГРОЗОВОЙ АТМОСФЕРЕ	
Смирнов С.В., Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Нагорский П.М., Мульцина Н.А., Рязанов А.А.	207
ГЕНЕРАЦИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ПОРОД МОЛНИЕВЫМ РАЗРЯДОМ	
Смирнов С.Э., Марापалец Ю.В.	209
ЭФФЕКТ ВОСХОДА СОЛНЦА В СУТОЧНЫХ ВАРИАЦИЯХ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ	
Смирнов С.Э., Михайлова Г.А., Капустина О.В.	211

РЕАКЦИЯ КВАЗИСТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ НА КАМЧАТКЕ НА ГЕОМАГНИТНЫЕ БУРИ	
Смирнов С.Э., Михайлова Г.А., Капустина О.В.	213
ВЛИЯНИЕ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ НА ХИМИЮ АТМОСФЕРЫ	
Смышляев С.П., Мареев Е.А., Суходолов Т.В.	215
ОПЫТ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ КОНВЕКТИВНЫХ ОБЛАКОВ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ И МРЛ	
Снегуров А.В., Снегуров В.С.	219
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГРОЗ ПО ДАННЫМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА 2009-2011 ГГ	
Снегуров А.В., Снегуров В.С.	221
К КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РОСГИДРОМЕТА	
Снегуров А.В., Снегуров В.С.	223
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МОЛНИЙ	
Снегуров А.В., Снегуров В.С.	225
ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В ОПЕРАТИВНОЙ РАБОТЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ	
Соколов В.В., Мареев Е.А.	227
ОСОБЕННОСТИ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В РАЙОНЕ ТУНКИНСКОЙ ВПАДИНЫ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ	
Соловьев С.П., Локтев Д.Н.	229
ВОЗМУЩЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И ИНФРАЗВУКОВОГО ПОЛЕЙ, ВЫЗВАННЫХ КОЛЕБАНИЯМИ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОЗЕРА БАЙКАЛ	
Соловьев С.П., Рыбнов Ю.С., Харламов В.А.	231
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗРЯДОВ МОЛНИЙ В РАЙОНАХ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ЦЕЛЯХ СНИЖЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ УЩЕРБОВ ОТ ПРИРОДНЫХ КАТАСТРОФ	
Сорокин Л.В.	233
О ВЛИЯНИИ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАКА НА ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГРОЗ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ	
Станкова Е.Н., Раба Н.О.	235
МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ АСПЕКТОВ МОЛНИЕВОЙ АКТИВНОСТИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ С ИЗМЕНЕНИЯМИ КЛИМАТА И ГАЗОВОГО СОСТАВА АТМОСФЕРЫ	
Суходолов Т.В., Смышляев С.П., Мареев Е.А.	236
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА УНИПОЛЯРНОГО ОБЛАКА	
Сысоев В.С., Костинский А.Ю., Климашев В.Ю., Емельянов А.А., Иудин Д.И.	238
ОГНИ СВЯТОГО ЭЛЬМА: ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	
Сысоев В.С., Костинский А.Ю., Макальский Л.М., Андреев М.Г., Булатов М.У., Сухаревский Д.И., Мареев Е.А.	240
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВСТРЕЧНОГО ЛИДЕРА И ЕГО ВЛИЯНИЯ НА МОЛНИЕЗАЩИЩЕННОСТЬ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ЛАБОРАТОРНОГО ФИЗИЧЕСКОГО КРУПНОМАСШТАБНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	
Сысоев В.С., Костинский А.Ю., Макальский Л.М., Андреев М.Г., Булатов М.У., Сухаревский Д.И., Наумова М.Ю.	242
ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЖОБЛАЧНОГО РАЗРЯДА В ЛАБОРАТОРНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ	
Сысоев В.С., Макальский Л.М., Андреев М.Г., Булатов М.У., Сухаревский Д.И., Иудин Д.И., Костинский А.Ю.	244
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ФИНАЛЬНОЙ СТАДИИ РАЗРЯДА ИЗ ИСКУССТВЕННОГО ОБЛАКА ЗАРЯЖЕННОГО ВОДНОГО АЭРОЗОЛЯ	
Темников А.Г., Орлов А.В., Черненский Л.Л., Белова О.С., Герастенок Т.К.	246

ВАРИАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ОБСЕРВАТОРИИ "ПАРАТУНКА" (КАМЧАТКА), ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ПРИРОДНЫМИ ПРОЦЕССАМИ Фирстов П.П., Чернева Н.В.	248
КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВАРИАЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВО ВРЕМЯ ГРОЗ Хаердинов Н.С., Лидванский А.С.	248
О ВОЗМОЖНОСТИ ИОНОСФЕРНОГО МОНИТОРИНГА УРОВНЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТРОПОСФЕРЫ В РЕГИОНЕ ФРАНЦУЗСКИХ АЛЬП, ВЫЗВАННОГО МНОГОЛЕТНЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ФРАНЦУЗСКИХ АЭС, РАСПОЛОЖЕННЫХ В БАССЕЙНЕ РЕКИ РОНЫ Хегай В.В., Ким В.П., Карелин А.В.	250
ДИФфуЗИЯ ПЛАЗМЫ ЭЛЕКТРООТРИЦАТЕЛЬНЫХ ГАЗОВ Цендин Л.Д., Головицкий А.П.	252
ОБЪЕДИНЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ И ГРОЗОРЕГИСТРАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЮФО И СКФО Чочаев Х.Х., Рогозина А.И., Бейтуганов М.Н., Аджиева А.А., Шаповалов В.А., Машуков И.Х., Продан К.А.	254
МОДУЛЯЦИЯ ПОТОКА ГКЛ КАК ФАКТОР ИЗМЕНЧИВОСТИ ИСПАРЕНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ МИРОВОГО ОКЕАНА Чукин В.В.	255
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОИОНОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ Чукин В.В., Шермухамедов У.А.	257
НИЗКОЧАСТОТНЫЕ СПЕКТРЫ ВАРИАЦИЙ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ Шаталина М.В., Клименко В.В., Франк-Каменецкий А.В.	259
ТУРБУЛЕНТНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ АЭРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ Шихова Н.М., Анисимов С.В.	261
МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ВЕРХНЕ-ВОЛЖСКОМ РЕГИОНЕ Шлюгаев Ю.В., Клименко В.В., Мареев Е.А., Панютин А.А., Соколов В.В., Шаталина М.В.	263
РАДИАЦИОННАЯ ОПАСНОСТЬ ШАРОВОЙ МОЛНИИ Шматов М.Л.	267
КОМПЛЕКСНОЕ АТМОСФЕРНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ И ВОДОРОД-РАДОНОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ Шулейкин В.Н.	269
АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ НАД УГЛЕВОДОРОДНЫМИ СКОПЛЕНИЯМИ Шулейкин В.Н.	271
АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МОБИЛЬНЫЕ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ РУДНЫХ И ГОРЮЧИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ Якимчук Н.А., Левашов С.П., Корчагин И.Н.	273
АВТОРСКИЙ ИНДЕКС	275

О ВЛИЯНИИ ЗАСЕВА КРИСТАЛЛИЗУЮЩИМИ РЕАГЕНТАМИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ГРАДОВЫХ ОБЛАКОВ

А.М. Абшаев¹, М.Т. Абшаев¹, А.Х. Аджиев¹, Д.В. Стасенко¹, Д.Д. Кулиев¹, И.И. Акимова²

1 - ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик

2 - ФГБУ «Ставропольская ВС по АВ на гидрометеорологические процессы», г. Ставрополь
abshaev@yahoo.com

Рассматриваются результаты анализа влияния засева кристаллизующими реагентами на электрическую активность градовых и градоопасных облаков, выполненного на основе совмещения в реальном масштабе времени данных грозопеленгационной сети LS-8000, автоматизированного метеорологического радиолокационного комплекса АМРК «АСУ-МРЛ» (см. рис. 1) и места внесения кристаллизующего реагента с помощью противоградовых ракет.

АМРК «АСУ-МРЛ» [1], предназначен для целей штормоповещения и управления активными воздействиями на облачные процессы и, позволяет получать около 30 карт метеоинформации, измерять более 40 одномерных, двумерных и трехмерных параметров облачных ячеек, строить диаграммы эволюции любых параметров, распознавать явления погоды и категории объектов воздействия, отображать на фоне структуры облаков место внесения реагента, пеленги грозовых разрядов по данным сети датчиков LS-8000 (см. рис.1), и рассчитывать их грозовые характеристики.

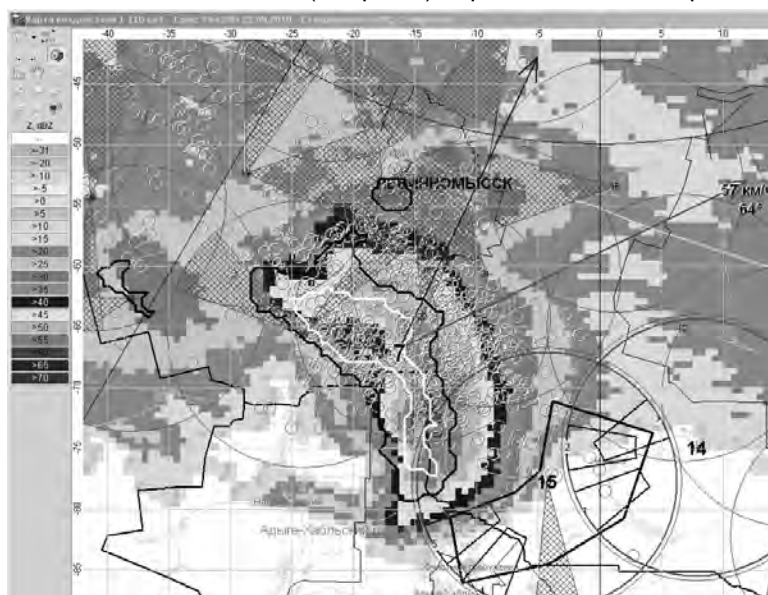


Рис. 1. Пример синтезированной карты радиолокационной структуры суперячейкового градового облака 22.09.2010 г., с местом внесения противоградовых изделий (ПГИ) и точками грозовых разрядов. Место внесения троек ракет показано в виде усеченных трапеций, ограничивающих начало и конец трассы эффективного засева. Пеленги грозовых разрядов показаны в виде кружочков (внутри облачные разряды), крестиков и тире (разряды облако-земля положительной и отрицательной полярности).

Получен обширный материал за 2010-2012 гг. В данном предварительном анализе рассматривается эволюция трех мощных грозоградовых процессов (22.09.2010 г., 29.05.2012 и 19.07.2012 г.), на которые проведено воздействие с целью предотвращения града Ставропольской и Краснодарской Военизированными службами с помощью ПГИ с AgI.

На синтезированные карты структуры облаков, получаемых на «АСУ-МРЛ» через каждые 3 мин 40 сек, отображались места грозовых разрядов и вносимых ПГИ именно в этом интервале времени. Для отсеечения ложных гроз осуществлена фильтрация разрядов, отмечавшихся за границами радиозаха с $Z < 5$ dBZ. Места внесения ракет нанесены с упреждением на перемещение облаков.

На рис. 2 представлена эволюция мощного суперячейкового градового облака (22.09.2010 г.), из которого по радиолокационным и наземным данным выпадал крупный град. По мере его развития с 18:53 до 19:55 максимальная отражаемость увеличилась от 54 до 66 dBZ (рис. 2а). В 18:53 появился и резко увеличивается во времени объем с отражаемостью 55 dBZ, а соответствующее ей интегральное водосодержание градовой компоненты осадков достигло значения $M_{55} \geq 1100$ килотонн, при общем водосодержании облака $M_{15} \geq 1600$ килотонн (рис. 2б). Водосодержание вертикального столба (VIL) облака увеличилось за это время с 20 до 70 кг/м². Согласно российской технологии защиты от града [2] облако, как объект воздействия (ОВ), достигло 4 категории. Воздействие на него проводилось с 19:33 и до 20:11, внесено 63 ПГИ "Алазань-6" с общим количеством кристаллизующего

реагента 39,69 кг и общим выходом около $4,2 \cdot 10^{17}$ активных кристаллизующих частиц. Из-за недостатка ракет в течение всего времени воздействия отмечался недозасев. Только спустя полчаса от начала воздействия VIL резко уменьшилось с 70 до 40 $\text{кг}/\text{м}^2$.

Ход грозовых параметров облака показан на рис. 2а - 2е, из которых следует:

- с началом воздействия сумма токов отрицательных разрядов типа облако-земля (рис. 2а) резко уменьшается от 110 до 10 килоампер/мин;
- сумма токов положительные зарядов, напротив, увеличились с 30 до 80 килоампер/мин;
- пиковый ток разрядов облако-земля обеих полярностей вначале увеличивается после воздействия, а затем спустя 10 - 15 минут уменьшается (рис. 2д);
- наиболее показательную реакцию на засев кристаллизующим реагентом демонстрирует количество межоблачных разрядов, увеличиваясь от 110 до 800 разрядов в мин при средней мощности разрядов 20 килоампер. Количество же более энергетически сильных разрядов облако-земля, напротив, резко уменьшается вплоть до полного исчезновения, и далее плавно увеличивается.

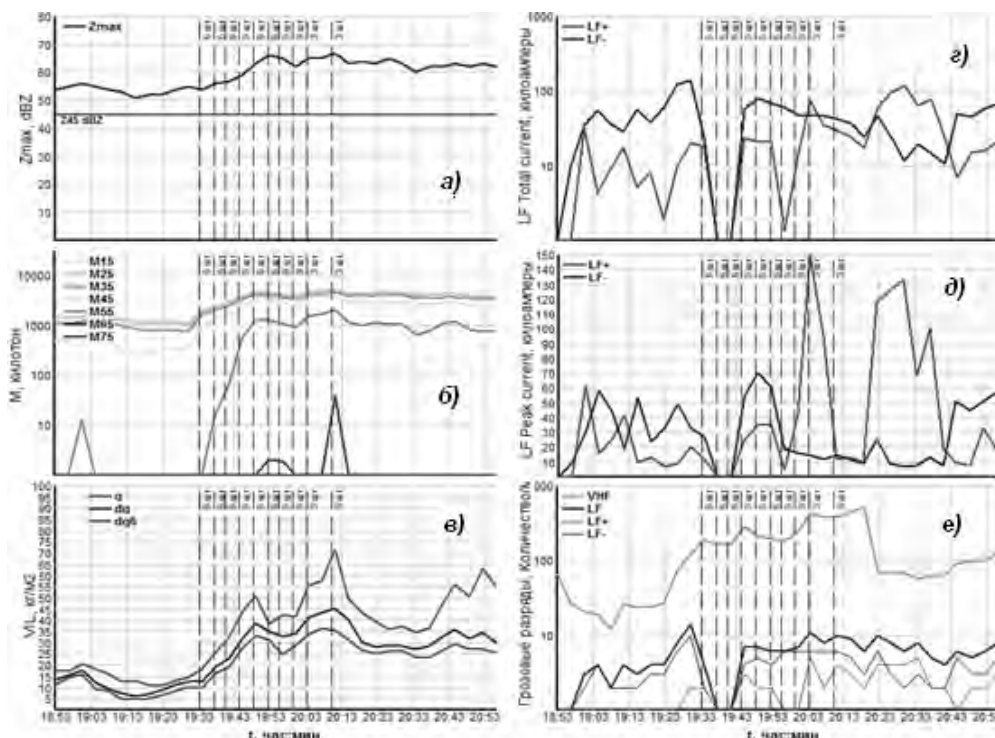


Рис. 2. Эволюция во времени параметров суперячейкового грозового облака, наблюдавшегося 22.09.2010 г. в Ставропольском крае, в процессе засева кристаллизующим реагентом AgI:

(а) - максимальная радиолокационная отражаемость (Z , dBZ); (б) - суммарное водосодержание объемов, ограниченных изолиниями $Z = 15, 25, 35, 45, 55$ и 65 dBZ (M , килотонн); (в) - максимальное значение VIL ($\text{кг}/\text{м}^2$) всей толщи облака (q), слоя выше изотермы 0°C (dq_0) и слоя выше изотермы -6°C (dq_6); (г) - суммарный ток положительных (LF+) и отрицательных (LF-) разрядов облако-земля (килоампер); (д) - максимальный ток разрядов облако-земля (килоампер); (е) - частота разрядов облако-облако (VHF) и облако-земля (LF) в мин. Моменты внесения и количество ракет "Алазань-6" обозначены вертикальными пунктирными линиями.

Выводы

По предварительным данным получены следующие результаты. Пленки грозовых разрядов относительно редки во фронтальных обновляющихся частях грозовых облаков (областях нового роста), куда вносится кристаллизующий реагент в соответствии с технологией противоградовой защиты. Засев областей нового роста аэрозолем AgI приводит через 3 – 6 минут к повышению частоты внутриоблачных грозовых разрядов (VHF) и сокращению разрядов «облако-земля» (LF) положительной и отрицательной полярности. Повышение частоты грозовых разрядов наблюдается в областях повышенной отражаемости и на подветренном фланге грозового облака. Это, по-видимому, связано с тем, что кристаллизующий реагент, вносимый в области слабых восходящих потоков, по мере стимулирования быстрой электризации облачных частиц за счет фазовых переходов, втягивается в мощный восходящий поток и в грозовой очаг, и переносится на подветренный фланг, приводя к интенсификации разрядных процессов в этих областях. По мере засева разряды «облако-земля практически исчезают», хотя из облака продолжает выпадать град. Грозовые характеристики

облака реагируют на АВ более быстро, чем радиолокационные, но также быстро и возвращаются в первоначальное состояние, видимо, за счет быстрой регенерации объемного заряда в облаке.

Литература

1. Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Котелевич А.Ф., Сирота Н.В. Автоматизированная система управления противорадовыми операциями «АСУ-МРЛ» // Труды научно-прак. конф, посвящ. 40-летию производств. работ по защите сельхозкультур от градобитий, Нальчик, 2011. С. 211 - 225.
2. Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Малкарова А.М., Пометельников В.А. Руководящий документ РД 52.37.731-2010. Организация и проведение противорадовой защиты. Нальчик, 2010, 86 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ НИТЕЙ ДЛЯ ИНИЦИИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ МОЛНИЙ

А.Х. Аджиев¹, Г.Г. Щукин², Х.Х. Машуков¹

1 - ФГБУ "Высокогорный геофизический институт"

2 - Военно – космическая академия имени А.Ф. Можайского
hazret53@rambler.ru

Управление грозой, а также подавление интенсивных грозовых очагов остается одной из важнейших проблем физики облаков и активных воздействий на электрические характеристики грозовых облаков. В связи с этим исследование электрофизических параметров молниевых разрядов представляет большой интерес.

Опыты по исследованию механизма искусственно вызванного разряда молнии проводились в ряде работ. Так, с корабля к основанию грозового облака выстреливалась ракета, которая тянула за собой один конец стальной проволоки, сматывающейся с катушки, установленной на борту корабля [1]. Второй конец проволоки через искровой промежуток «заземлялся» на море. Высокоомные шунты, по которым ответвлялась часть тока, позволяли осуществить осциллографирование процесса разряда. Обычно разряд происходил, когда ракета поднималась на высоту порядка 100 м. Этого оказывалось достаточным, чтобы вызвать молнию на «землю» из грозового облака с высотой нижней границы около 1 км [1,2].

Во Франции в течение 6 сезонов проводились эксперименты по вызыванию разрядов молнии запускавшимися с земли ракетами с проволокой [3,4]. Запуски производились при превышении напряженности поля у земли 100 В/см. Высоты подъема ракет до начала разряда заключались в пределах 50-210 м, а в 80% случаев 50-320 м.

Проведенные исследования показали, что инициируемые таким способом молнии по своим электрофизическим параметрам сходны с молниями, развивающимися с высотных наземных сооружений.

В нашей стране исследования по инициированию молниевых разрядов из грозовых облаков проводились в Высокогорном геофизическом институте. Для этих целей была сконструирована и изготовлена экспериментальная установка для вызывания искусственных молниевых разрядов на землю посредством запуска ракет с проводящим заземленным шнуром. По результатам пробных запусков ракета поднималась до 200 м по вертикали [5]. В результате 10 запусков ракет с электропроводящими шнурами, в 4 случаях были инициированы длинные электрические разряды на нисходящей траектории при приближении головной части ракеты с привязанным медным тросом к земле [6].

Но при всех положительных результатах, полученных в вышеперечисленных работах, все они обладают одним, на наш взгляд, очень существенным недостатком. В них в качестве электропроводящего шнура используется тонкая стальная проволока или медный тросик, обладающие большой массой, небольшой прочностью на разрыв и имеющие свойство запутываться при разматывании с подающей катушки.

Нами была поставлена задача на использование для этих целей нитей из современных полимерных материалов, например, арамидных волокон (кевлар), обладающих малой массой на погонный метр и высокой прочностью на разрыв, с предварительной металлизацией поверхности нити.

Для металлизации нити, использовался известный метод напыления металла в СВЧ поле, создаваемом магнетроном. Нить протягивалась через рабочую зону, где и происходило напыление. В зависимости от кратности протяжки нити через рабочую зону, электрическое сопротивление металлизированной нити меняется в пределах 10÷16 кОм/м без существенного увеличения массы нити.

При этом, как показали испытания металлизированной нити, механическая прочность металлизированной нити сохраняется в заданных изначально технических параметрах.

Результаты испытаний электропроводящих нитей при различных режимах и приложенных напряжениях приведены в таблице 1.

После подачи напряжения по волокнам, шунтирующим воздушный промежуток между двумя электродами происходят пробой с яркими вспышками, сопровождаемые громким звуком. Величина приложенного к электродам напряжения составляло 360 кВ. Межэлектродное пространство равнялось 6 м. После шунтирования воздушного промежутка между электродами проводящими нитями, происходит пробой по поверхности нити с яркой вспышкой. При этом, как правило, нить не перегорает.

Таблица 1. Результаты испытаний электропроводящих волокон

№ п/п	Наименование волокна	Количество волокон на участке перекрытия	Длина шунтирующего участка волокна (без учета 1 м перегиба), м	Величина воздушного промежутка, не перекрытого волокном, м	Величина приложенного напряжения, кВ	Результаты эксперимента
1	2	3	4	5	6	7
1.	«Кевлар» металлизированный	1	5	0	70, импульс	Нет пробоя
					70, выдержка в течение 30с	Нет пробоя
2.	«Кевлар» металлизированный	3	5	0	70, импульс	Пробой
					70, выдержка в течение 30 с	Нет пробоя
3.	«Кевлар» металлизированный	5	5	0	70, импульс	Пробой
					70, импульс	Пробой
					70, импульс	Нет пробоя
4.	«Кевлар» металлизированный	7	5	0	70, импульс	Пробой с громким звуком
					70 (3 повтор)	Пробой
					70, импульс	Нет пробоя
5.	«Кевлар» металлизированный	7	5	0	360 импульс	Пробой с громким звуком

А за счет того, что ток разряда, как показали лабораторные исследования электропроводящих нитей, проходит вдоль металлизированной поверхности (разряд по «контур»), нить выдерживает 5-6 разрядов без изменения механических и электрических характеристик. Также, в результате экспериментов, установлено, что разряд происходит в виде короткого импульса, в результате максимум спектра ЭМИ разряда смещается в более высокочастотную часть спектра, чем при разряде обычного типа.

Литература

1. Newman M. M. Lightning discharge simulation and triggered lightning.- In: Planetary Electrodynamics. V.I.N.Y.: Gordon and Breach Sci. Publ. 1970, p. 213-219.
2. Newman M. M. Rocket and supersonic aircraft influence in triggering lightning and intentional cloud discharge triggering for launch protection.-In: XV th General Assembly UGGI Meeting Moscow, 1971, p. 7.
3. Fieux R., Gary C., Hubert P. Artificially triggered lightning above land.- Nature, 1975, vol. 257, N 5523, p. 212-214.
4. Rühling F. Raketengetrigerte Blitze im Dienste des Freileitungsschutzes vor Gewitterüberspannungen.- Bull. Schweiz. Electrotechn., Ver., 1974, Bd 65, N 26, S. 1893-1898.
5. Бейтуганов М.Н., Белгороков Л.Г. Установка для иницирования молнии на землю.- Труды ВГИ, 1986, вып. 65, с. 31-34.
6. Бейтуганов М.Н. Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование возможности иницирования искусственных молниевых разрядов», № 01890013516, ВНИЦентр, 1989 г.

О ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЗОНЕОДНОРОДНОСТЕЙ И АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

В.И. Акселевич¹, Г.И. Мазуров²

1 - Санкт-Петербургский Университет Управления и Экономики, Санкт-Петербурга

*2 - Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова Росгидромета, Санкт-Петербурга
vaksster@gmail.com*

В последнее время мезонеоднородности возникают значительно чаще, чем нам это кажется. Мы их видим только тогда, когда они визуализируются продуктами конденсации водяного пара, дымом, пылью, пеплом и другими непрозрачными или полупрозрачными частицами. Однако при движении воздуха завихрения там существуют всегда, только мы их не видим.

Известно, что в большинстве мезонеоднородностей наблюдаются продолжительные потоки воздуха в одном направлении. Они приводят к накоплению статического электричества в атмосфере

В итоге изменяется электрическое состояние атмосферы, которое характеризуется потенциалом и напряженностью электрического поля, концентрацией аэроионов, электрической проводимостью, плотностью электрического заряда. Все эти величины зависят от присутствия в воздухе аэрозольных частиц и радиоактивных веществ как естественного, так и антропогенного происхождения. Они определяют электрическую проводимость атмосферного воздуха.

Возникает вопрос о взаимодействии мезонеоднородностей и атмосферного электричества. Дело в том, что четкие контуры мезонеоднородностей и очагов повышенной электрической напряженности мы не ощущаем, но с определенной степенью вероятности можем попытаться описать с помощью теории фракталов и соответствующего математического аппарата.

В широком смысле под фракталами понимают множества точек в евклидовом пространстве, имеющие дробную метрическую размерность (в смысле Минковского или Хаусдорфа), либо метрическую размерность, строго большую топологической [1].

Все явления в природе можно объяснить, используя знания о физике протекающих процессов. Традиционная евклидова геометрия оперирует с классическими формами фигур (куб, шар, конус и т.п.). Если рассматривать основные метеорологические объекты, то в подавляющем большинстве их взаимодействие между собой и с окружающей средой не может быть описано традиционными средствами.

Бенуа Мандельброт предложил описать многие формы в окружающем нас мире с помощью семейства фигур, называемых фракталами [3].

В первую очередь хотелось бы использовать фракталы для описания мезонеоднородностей. При этом следует помнить, что анализ каждого случая должен оцениваться согласно критериям, принятым в соответствующей области (то есть, как правило, исходя из его способности организовать, объяснить и предсказать).

Что же представляют собой мезонеоднородности и почему целесообразно приложить усилия для их выявления и максимально правдоподобного описания?

Как известно, все большое начинается с малого и последнее зачастую оказывается спусковым механизмом крупномасштабных процессов. Термин «мезомасштабные неоднородности» впервые введен Ф.Я. Клиновым в 1965 году [2]. Он выразил определение следующим образом: "Мезонеоднородности по своим термическим, динамическим, вихревым и другим свойствам представляют собой разнородные включения воздуха в структуре метеорологических полей нижнего слоя атмосферы и прослеживаются в виде инверсий температуры, мезоструй, адвективных потоков тепла и холода, конвективных струй, возмущений воздушных масс в условиях гроз, ливней, шквалов, метелей и других опасных явлений погоды. Эти неоднородности выражаются изменением метеорологических параметров периодами от нескольких минут до 2-3 часов и немногим более, что в частотной оценке составляет примерно 10⁻² – 10⁻⁵ Гц и определяется размерами от нескольких до 300-500 км".

Мезонеоднородности способствуют перераспределению различных примесей, в том числе водяного пара по горизонтали и вертикали. По происхождению их можно подразделить на: термические, динамические и термодинамические. Динамические в свою очередь следует подразделить на: орографические, аэросиноптические и аэродинамические.

В то же время выявлено, что при прохождении циклонов и атмосферных фронтов, в том числе и мезомасштаба, резко изменяется напряженность электрического поля, что в свою очередь напрямую связано с появлением гроз. На рис. представлен схематический внешний вид мезонеоднородности, зафиксированной у Останкинской метеобашни.

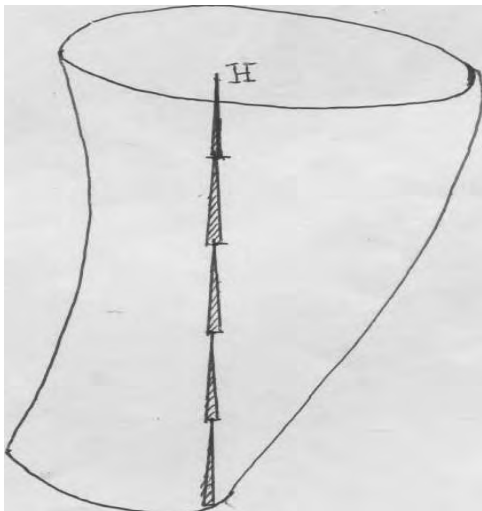


Рис. Предполагаемая схема барического поля мезонеоднородности в районе получения информации (в данном случае нанесено положение метеомачты, по наблюдениям с которой выявлена мезонеоднородность).

Подавляющее большинство опасных явлений погоды, а также стихийных гидрометеорологических явлений непосредственно вызывается процессами мезомасштаба. Таким образом, рассматриваются связи мезонеоднородностей с изменением напряженности и интенсивности атмосферного электрического поля в целях скорейшего обнаружения обоих явлений.

Литература

1. Акселевич В.И., Мазуров Г.И. Понятие о фракталах и их использование для моделирования атмосферных неоднородностей. // Погода и климат: новые методы и технологии исследований. Всероссийская научная конференция. Пермь, 23-24 сентября 2010, с.117-120
2. Клинов Ф.Я. Некоторые характеристики метеорологического режима нижнего 300-метрового слоя атмосферы. // Тр. ИПГ - 1965. - вып. 2. - с. 84 - 98.
3. Б. Мандельброт Фрактальная геометрия природы, Москва-Ижевск:Институт компьютерных исследований, 2002 - 656 с.

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНОГО ЗАРЯДА КОРОНЫ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ НА ПРИТЯЖЕНИЕ МОЛНИИ К ВЫСОКИМ ОБЪЕКТАМ

Н.Л. Александров¹, Э.М. Базелян², Ю.П. Райзер³

1 - МФТИ, Долгопрудный, Россия

2 - ОАО ЭНИН, Москва, Россия

3 - ИГМ РАН, Москва, Россия

nick_aleksandrov@mail.ru

Встречный разряд играет важную роль в определении приземного участка траектории молнии. По известной гипотезе Голда именно встречный лидер определяет точку удара молнии в системе наземных сооружений. Препятствия уделяли много внимания влиянию нестационарной короны от вершины высоких сооружений на условия старта и устойчивого развития встречного лидера [1-3]. В частности, было показано, что старту встречного лидера обязательно предшествует переход бесстримерной (glow) короны в стримерную форму и установлена мощность стримерной вспышки, достаточная для зарождения лидерного канала в объеме стэма импульсной короны. Все произведенные аналитические и численные оценки выполнялись для поля грозового облака, не искаженного объемным зарядом короны от приземного слоя (лесные массивы, кустарники, трава, относительно невысокие сооружения). В реальных условиях перечисленные сооружения являются очагами короны, объемный заряд которых, влияя на распределение электрического поля в атмосфере, может сказаться на условиях развития встречного лидера и, следовательно, на частоте поражения молниями объектов различной высоты [4].

При последовательном подходе задача должна решаться комплексно, поскольку и коронный заряд приземного слоя, и заряд, сформированный от одиночного высокого сооружения, локализируются

приблизительно в одной и той же части пространства, а потому формирующие их газоразрядные процессы будут влиять друг на друга. В грозовой обстановке корона, как правило, первоначально возбуждается у высокого сооружения и потому ее объемный заряд может в определенной степени задерживать развитие короны от приземного слоя. С другой стороны, возникающие там многочисленные коронирующие очаги, формируя единое заряженное облако, могут воздействовать на условия развития встречного лидера. Анализ этих процессов составляет содержание доклада.

Оценка влияния объемного заряда короны, возникающего у вершины высокого объекта, на экранировку внешнего электрического поля около земли осуществлялась на примере высокого заземленного стержня. Для этого было выполнено численное моделирование развития нестационарной короны от вершины стержня высотой 20 м с радиусом полусферической головки 2 см в медленно нарастающем электрическом поле. При этом развитие короны рассматривалось в рамках модели [1-3]. Оказалось, что из-за экранирующего действия короны электрическое поле в непосредственной близости от стержня может уменьшаться в два раза. Однако этот эффект важен только вблизи коронирующего объекта и уже на расстояниях, сравнимых с его высотой, он оказывается существенно менее важным. Можно сделать вывод о том, что развитие короны у вершины высокого объекта не сказывается существенно на возникновении объемного заряда от короны около земли. Аналогичный вывод был получен в расчете [4] для более высоких объектов.

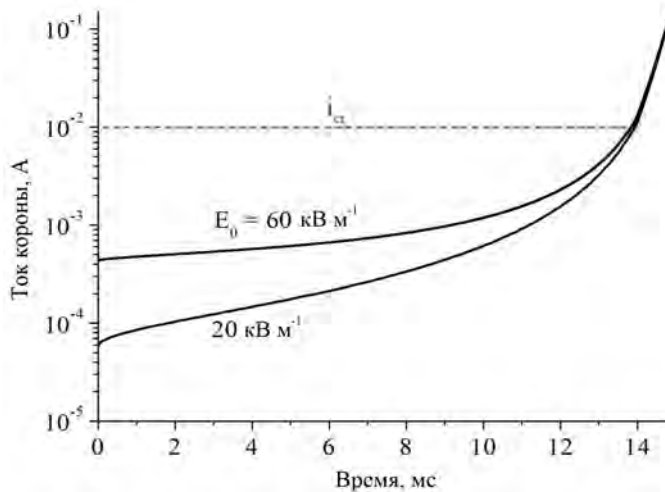
При рассмотрении влияния объемного заряда короны, возникающей у поверхности земли вблизи ее неоднородностей, на притяжение молнии к высоким объектам образование слоя объемного заряда описывалось в рамках модели плоской эмитирующей ионы поверхности [3]. Для оценки практической значимости этого эффекта важно иметь в виду, что в поле грозового облака встречный разряд даже от экстремально высокого объекта существует в форме бесстримерной короны. Условия для ее перехода в стримерную форму и, тем более, для старта встречного лидера создаются только благодаря быстрому усилению локального электрического поля вблизи вершины объекта зарядом лидера нисходящей молнии. Стримеры возникают, когда ток короны достигает некоторого ($\sim 10^{-2}$ А) критического значения. Этот критический ток может быть оценен по формуле [3]

$$i_{cr} \approx 8\pi\epsilon_0\mu r_0 E_{cor}^2,$$

где ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, μ – подвижность ионов, r_0 – радиус вершины объекта и E_{cor} – электрическое поле возникновения короны, которое в рамках используемой модели равно полю у коронирующей поверхности во время коронного разряда. В рамках данной модели возникновение стримеров проявляет себя в виде смещения максимума электрического поля от поверхности вершины стержня в разрядный промежуток. Теоретические оценки энергии, необходимой для нагрева газа в стэме стримерной короны и эксперименты показывают, что лидер возникает в воздухе атмосферного давления, когда падение напряжения на стримерной зоне становится достаточно большим, больше 400 кВ [3].

Численное моделирование на основе указанных критериев показало малую значимость заряда, сформированного в окрестности вершины заземленного электрода собственно бесстримерной короной, на которую, в первую очередь и влияет ослабление грозового поля в приземном слое. При этом ток короны и инжектируемый объемный заряд сильно зависят от внешнего электрического поля. Например, в пренебрежении объемным зарядом короны у поверхности земли объемный заряд от короны у вершины стержня высотой 20 м был равен 1.8 мК к моменту $t = 10$ с, когда электрическое поле грозового облака достигало $E_0 = 60$ кВ м⁻¹. В этот момент ток короны достигал 435 мкА. При учете объемного заряда короны у поверхности земли это электрическое поле уменьшалось от 60 до 20 кВ м⁻¹. В этом случае ток короны около вершины стержня и инжектированный этой короной объемный заряд к моменту $t = 10$ с уменьшились в 8.1 и 7.3 раз, соответственно. Но эти значения тока были примерно на два порядка величины меньше порога инициирования стримеров.

Моделирование возникновения и развития встречного лидера под действием нисходящего лидера молнии производилось для следующих условий. Предполагалось, что в момент $t = 10$ с на высоте 3 км возникает нисходящий лидер, который движется вертикально вниз с постоянной скоростью 2×10^5 м с⁻¹ с горизонтальным смещением 60 м относительно стержня. Погонный заряд канала нисходящего лидера предполагался постоянным и равным 0.5 мК м⁻¹. Все перечисленные параметры достаточно типичны для условий притяжения нисходящей молнии к высокому объекту. Усиление локального электрического поля у вершины стержня при приближении нисходящего лидера приводило к увеличению тока короны (см. рисунок, где время отсчитывается от старта нисходящего лидера, а горизонтальная линия соответствует переходу бесстримерной короны в стримерную.). При достижении тока критической величины i_{cr} возникла стримерная вспышка, в которой в рассматриваемых условиях обязательно возник лидер.



Однако, возникновение и последующее развитие встречного лидера в электрическом поле, создаваемом зарядами нисходящего лидера, оказалось практически независимым от начальной (в момент $t = 10$ с) величины тока короны (см. рисунок). Так, в отсутствие эффекта приземного заряженного слоя, когда максимальное поле атмосферы у вершины электрода высотой 20 м достигло 60 кВ/м, стримерная вспышка и последующий затем старт встречного лидера происходили при снижении нисходящего лидера до высоты 210 м над уровнем земли. В тех же условиях, но с учетом снижения поля в приземном слое от 60 до 20 кВ/м для старта встречного лидера нисходящий лидер должен был снизиться до высоты 185 м.

Рис. Эволюция во времени тока короны около вершины вертикального заземленного стержня.

Изменение высоты ориентировки в пределах 12% вряд ли можно считать принципиальным на фоне других плохо учитываемых статистически меняющихся факторов разряда молнии. Последнее позволяет не принимать во внимание влияние искажения поля в приземном слое зарядом короны от земной поверхности (трава, кустарник и т.п.) при анализе процесса ориентировки лидера нисходящей молнии.

Следует заметить, что влияние объемного заряда от короны у поверхности земли уменьшается с ростом высоты. Поэтому воздействие этого заряда на притяжение молнии к более высоким объектам должно быть еще меньше.

Литература

Aleksandrov N.L., Bazelyan E.M., Carpenter R.B. Jr., Drabkin M.M., Raizer Yu.P., The effect of coroneae on leader initiation and development under thunderstorm conditions and in long air gaps // Journal of Physics D: Applied Physics, 2001, Vol. 34. Pp. 3256-3266.

Александров Н.Л., Базелян Э.М., Драбкин М.М., Карпентер Р.Б., Райзер Ю.П., Коронный разряд от высокого объекта в электрическом поле грозового облака // Физика плазмы, 2002, Vol. 28. Сс. 1032-1045.

Bazelyan E.M., Raizer Yu.P., Aleksandrov N.L., Corona initiated from grounded objects under thunderstorm conditions and its influence on lightning attachment // Plasma Sources: Science and Technology, 2008, Vol. 17. 024015 (17 pp).

Becerra M., Cooray V., Soula S., Chauzy S., Effect of the space charge layer created by corona at ground level on the inception of upward lightning leaders from tall towers // Journal of Geophysical Research, 2007, Vol. 112. D12205.

СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

В.М. Алешков, С.Е. Евстифеев, С.И. Молодых, С.А. Нечаев
 ИСЗФ СО РАН
 vic@iszf.irk.ru

Современная элементная база позволяет разрабатывать автоматические измерительные системы, в том числе и для регистрации параметров атмосферного электричества. В работе показана одна из таких систем, разработанная и внедренная в ИСЗФ СО РАН (г. Иркутск) с использованием программируемого контроллера, модуля GPS и современных микросхем инструментальных усилителей. Представленная система потребляет не более 10 Ватт при напряжении питания +12В (до 30 Ватт при запуске мотора статического флюксметра), поэтому может работать в автономном режиме от мощных аккумуляторов или блоков бесперебойного питания при наличии перерывов в энергоснабжении. Дано описание датчиков для измерения регистрируемых параметров атмосферного электричества и метеопараметров. Приведены примеры записи полученных результатов. Обсуждается проблема идентификации систем регистрации и разработки единой методики измерения параметров атмосферного электричества.

ДИНАМИКА ЭЛЕКТРИЧЕСТВА НЕВОЗМУЩЕННОЙ АТМОСФЕРЫ СРЕДНИХ ШИРОТ

С.В. Анисимов

Геофизическая обсерватория Борок ИФЗ РАН, пос. Борок, РФ
anisimov@borok.yar.ru

Принято считать, что квазистационарное состояние атмосферного участка глобальной электрической цепи обусловлено перманентным действием грозových генераторов, поддерживающих разность потенциалов между обкладками сферического конденсатора, образованного земной поверхностью и нижним слоем ионосферы. При этом, электрическое состояние атмосферы определяется потенциалом ионосферы, сопротивлением столба атмосферы, плотностью вертикального электрического тока, напряженностью электрического поля, значением полярных проводимостей, временем жизни грозовой электрической энергии, а также высотными профилями указанных аэроэлектрических параметров [4, 12, 13, 23, 27, 28]. Совокупность атмосферных электродинамических процессов включает в себя электрическое взаимодействие пограничного слоя, тропосферы, средней и нижней атмосферы, а также областей ионосферы и магнитосферы посредством глобальных и региональных токовых систем [4, 11]. Электродинамика среднеширотной приземной атмосферы формируется совокупностью физических процессов разделения, генерации и переноса электрических зарядов, происходящих в широком диапазоне пространственно-временных масштабов. Изучение глобальных вариаций атмосферных электрических параметров составляет особый предмет исследований [4, 10, 12, 13]. Причины вариаций глобальных составляющих аэроэлектрического поля и тока могут быть связаны с изменением потенциала ионосферы, волновыми геофизическими процессами, изменением сопротивления столба атмосферы, вызванного космическими лучами или радиоактивными эманациями, глобальной грозовой активностью.

Долгосрочные наземные наблюдения атмосферного электричества, начатые, например, на английской обсерватории Kew в 1861 году персонально Уильямом Томсоном, позволили получить некоторые достоверные результаты о средних значениях, трендах и некоторых типах природных и антропогенных долгосрочных вариаций [19]. Известно, что напряженность аэроэлектрического поля в пограничном слое отражает изменения континентальной радиоактивности, процессов коронирования, концентрации аэрозолей, площадей, занятых туманами, осадками, облачностью [8, 9, 17, 20, 21,] и связана с метеорологическими и климатическими условиями [5, 7, 18, 24, 28]. Динамика электрического поля приземной атмосферы обусловлена турбулентностью и конвекцией пограничного слоя, а также изменениями ионной проводимости, на которые прямое воздействие оказывают радиоактивные эманации земной поверхности, приповерхностные дымки и аэрозоли [7, 8, 20]. В условиях хорошей погоды основным фактором, определяющим динамику электрического состояния приземной атмосферы, служит турбулентное перемешивание ионов, заряженных аэрозолей, торона и радона, которое формирует распределение объемного заряда и напряженности аэроэлектрического поля вблизи земной поверхности [7, 8, 21].

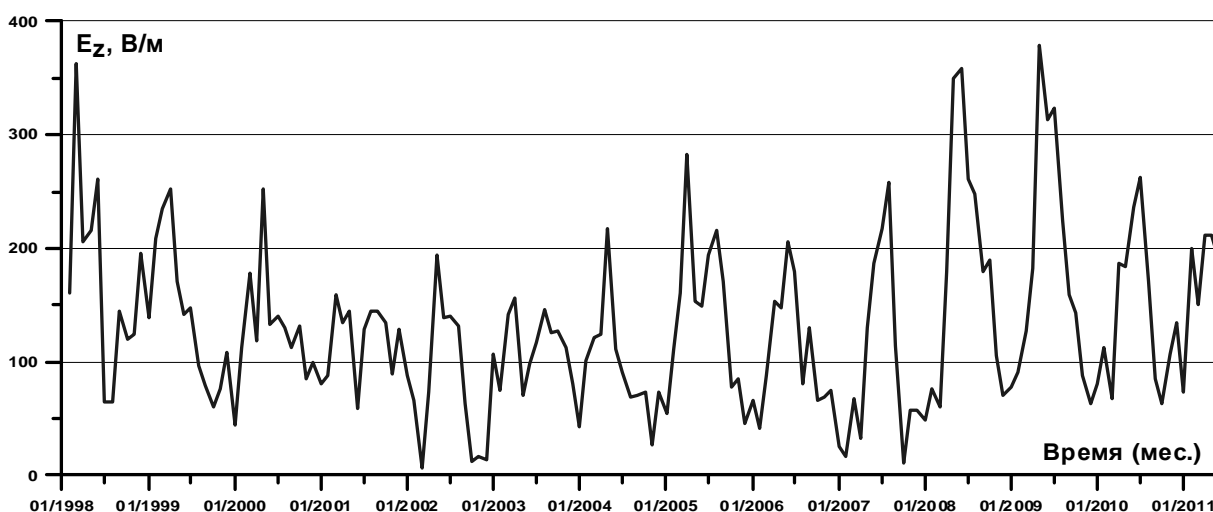


Рис.1 Изменение среднемесячных значений напряженности аэроэлектрического поля по данным наблюдений обсерватории «Борок» 1998 – 2011 гг.

Цель настоящей работы заключалась в изучении динамики атмосферного электрического поля E_z в широком временном диапазоне на основе многолетних цифровых амплитудно-временных рядов, полученных в результате обсерваторских и полевых наземных среднеширотных наблюдений с высоким временным разрешением (<http://geobrk.adm.yar.ru>).

Подобно большинству природных процессов динамику аэроэлектрического поля на временном промежутке достаточно большой протяженности можно представить как стохастический процесс, описываемый суммой трех компонент:

$$W(t) = W_1(t) + W_2(t) + W_3(t),$$

где $W_1(t)$ – тренд; $W_2(t)$ – периодическая компонента; $W_3(t)$ – случайная, шумовая составляющая. С учетом продолжительности амплитудно-временного ряда, сформированного по результатам наблюдений 1998-2012 гг., исследовалась годовая вариация средних значений E_z . На рис. 1 приведена регистрограмма напряженности аэроэлектрического поля, построенная по результатам наблюдений среднеширотной геофизической обсерватории 1998 - 2011 гг. Подчеркнем, что анализируемый ряд среднесуточных значений E_z стационарен относительно среднего и характеризуется самоподобным спектром с показателем наклона – 2,5 (рис. 2). На рис. 3 представлен годовой ход величины E_z , построенный по среднемесячным величинам напряженности поля за четырнадцатилетний период наблюдений. Следует особо подчеркнуть достоверность обнаруженного

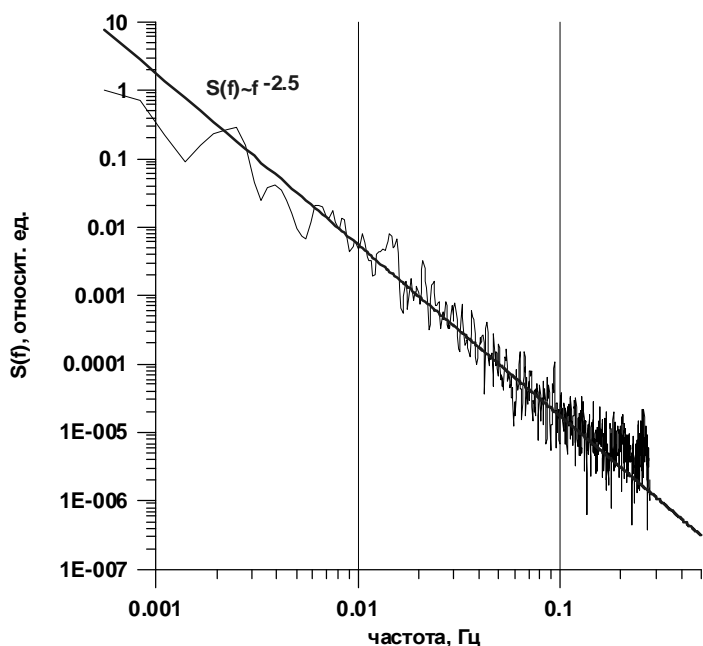


Рис. 2 Нормированная спектральная плотность аэроэлектрического поля по данным обсерватории “Борок” 30 июля 2012 г., 12:00 – 13:00 UT.

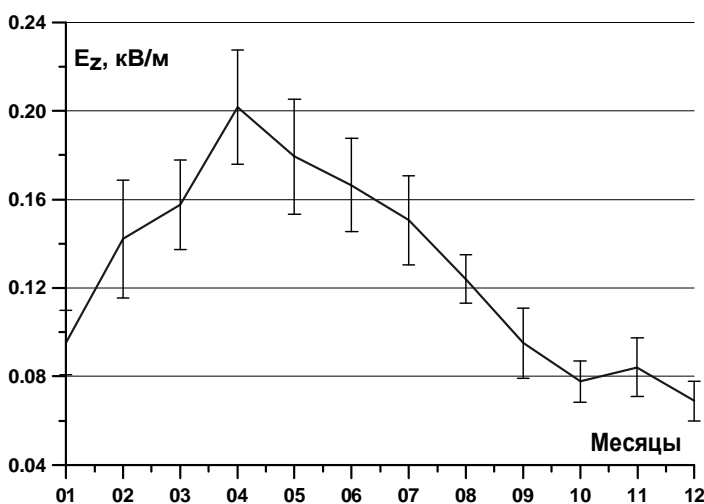


Рис. 3 Годовая вариация напряженности электрического поля атмосферы по данным наблюдений обсерватории “Борок” 1998 - 2011 г.

апрельского максимума среднего значения напряженности электрического поля приземной атмосферы.

Изучение суточной динамики аэроэлектрического поля по данным наземных наблюдений среднеширотной обсерватории представляет особый интерес. Известно, что обнаруженная при наблюдениях над океаном унитарная вариация атмосферного электрического поля и тока считается важнейшим признаком действия глобальной электрической цепи и служит непосредственным прямым доказательством существования единого глобального генератора атмосферного электрического поля. В соответствии с классическими представлениями для суточной вариации атмосферного электрического поля на континентальных станциях характерно наличие одного (в вечерние часы UT) или двух максимумов (в вечерние часы UT и локальный полдень) [10, 12]. По данным наземных аэроэлектрических наблюдений обнаружение унитарной вариации затруднено действием множества локальных источников, интенсивно меняющих проводимость и формирующих объемные заряды, перенос которых определяет внутри суточную динамику аэроэлектрического поля [6, 7, 24]. Однако наличие долгосрочных цифровых данных аэроэлектрических наблюдений и проведение предварительной выборки амплитудно-временных рядов с учетом условий “хорошей погоды” дают возможность обнаружить сходство суточного тренда аэроэлектрического поля и унитарной вариации на континентальных среднеширотных станциях [13]. В качестве примера на рис. 4 приведены суточные вариации

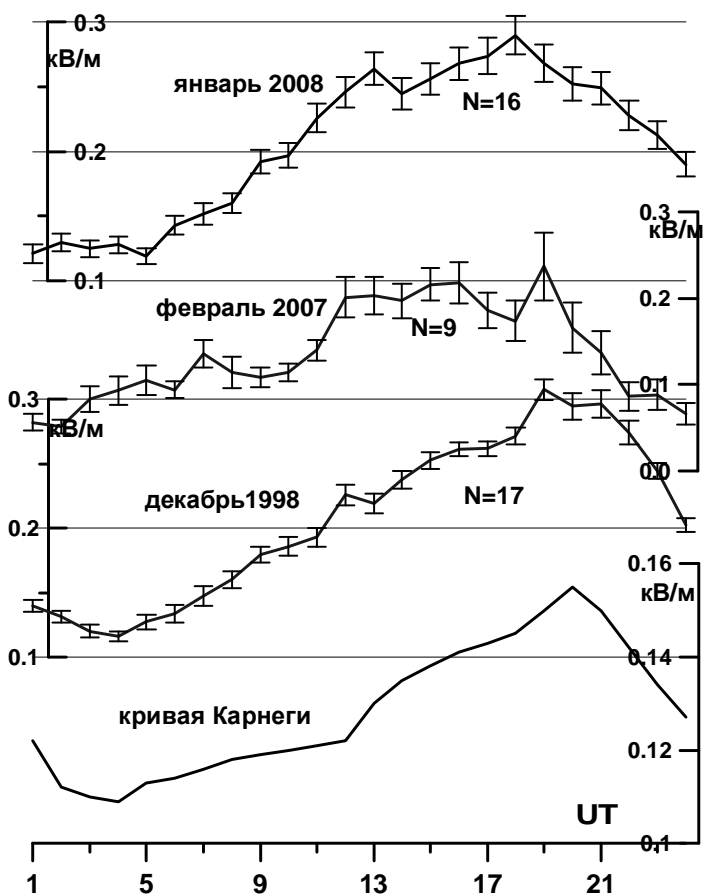


Рис.4 Суточная вариация аэроэлектрического поля по данным наблюдений обсерватории “Борок” и экспедиции “Карнеги”. N – число дней хорошей погоды.

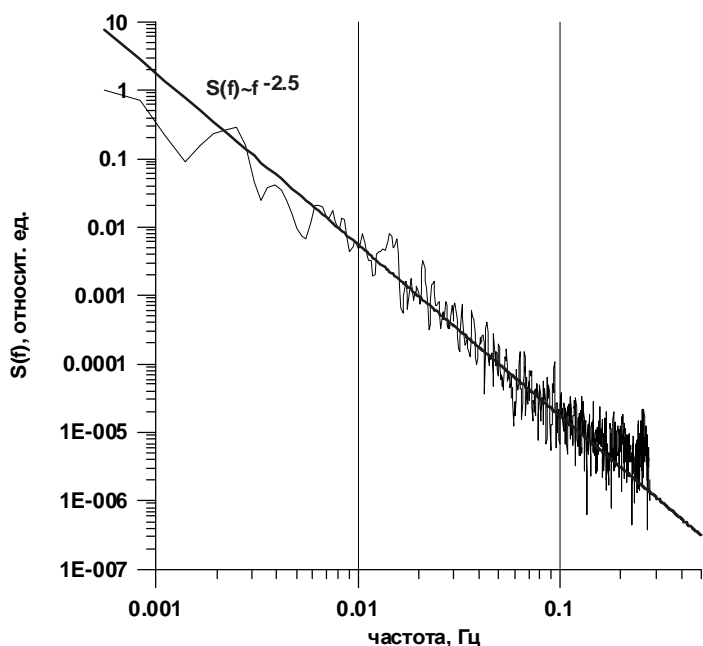


Рис. 5. Нормированная спектральная плотность аэроэлектрического поля по данным наблюдений обсерватории “Борок” 30 июля 2012 г., 12:00 – 13:00 UT.

Изучению процессов генерации ΔE в последнее время посвящено большое количество работ [1, 2, 3, 7, 14, 15, 16, 17]. Одна из ключевых задач исследования динамики электрического состояния приземной атмосферы заключается в анализе спектральных характеристик аэроэлектрических пульсаций. На рис. 5 приведен типичный пример спектра ΔE , рассчитанного по

среднечасовых значений напряженности аэроэлектрического поля, выделенные как месячные средние по данным наблюдений в условиях “хорошей погоды”. Отчетливо прослеживаются характерный для унитарной вариации суточный ход напряженности аэроэлектрического поля с достоверным максимумом около 19:00 UT. С целью получения статистически достоверного результата при исследовании формы суточной вариации во временном интервале 1998–2012 гг. для каждого месяца были построены среднесуточные вариации E_z . Результаты статистического анализа полученного материала показывают, что унитарная вариация (с минимумом в утренние и максимумом в вечерние часы UT) наиболее достоверно воспроизводится в условиях невозмущенной атмосферы средних широт северного полушария в зимние месяцы (декабрь, январь, февраль). Этот вывод согласуется с результатами, полученными на среднеширотной обсерватории Marsta, расположенной в Швеции [59°56' N, 17°35' E]. Суточные вариации E_z , зарегистрированные на обсерватории Marsta в зимние месяцы, также повторяют кривую Карнеги [22]. По данным наземных наблюдений среднеширотной обсерватории Nagusenk, расположенной в Венгрии [47°38' N, 16°43' E], показано, что унитарная вариация градиента потенциала прослеживается по данным всех сезонов временного интервала 1964–1976 гг., а вариация по данным только зимних месяцев практически повторяет форму кривой Карнеги [25]. Аналогичные результаты были получены по данным обсерватории Nagusenk и для периодов 1971–1981 и 1991–2001 гг. [26]. Таким образом, полученные результаты и проведенный обзор позволяют сделать вывод, что среднеширотная суточная вариация аэроэлектрического поля над сушей в зимние месяцы формируется, в основном, генераторами глобального пространственно-временного масштаба [13, 22].

Короткопериодные пульсации аэроэлектрического поля ΔE (частотный диапазон $\Delta f \approx 0,001-1$ Гц) формируются вследствие турбулентного перемешивания объемных зарядов в

данным наблюдений в условиях невозмущенной атмосферы. Самоподобный спектр ΔE характеризуется степенным наклоном в частотном диапазоне $\Delta f = 0,01-1$ Гц. Среднее значение показателя наклона спектров для диапазона частот $\Delta f \cong 0,01-1$ Гц составило $\alpha_S \approx -2.67 \pm 0.03$. Следует особо подчеркнуть, что величины показателей наклона спектров ΔE существенно превышают аналогичные величины колмогоровских спектров полей температуры и скорости ветра.

Таким образом, результаты статистической обработки амплитудно-временных рядов, полученных при наземных наблюдениях 1998–2012 гг., выполненных в среднеширотной обсерватории “Борок”, позволяют утверждать, что:

– ряд среднемесячных значений атмосферного электрического поля во временном интервале 1998–2012 гг. стационарен относительно среднего значения, линейный тренд напряженности атмосферного электрического поля не обнаружен;

– годовой ход напряженности аэроэлектрического поля в средних широтах северного полушария имеет максимум в апреле месяце и минимум в ноябре-декабре;

– суточный ход аэроэлектрического поля содержит вариации как глобального, так и регионального масштаба; наиболее достоверно среднеширотный суточный ход E_z над сушей повторяет унитарную вариацию с минимумом в утренние и максимумом в вечерние часы UT в зимние месяцы года (декабрь, январь, февраль);

– спектр вариаций аэроэлектрического поля содержит достоверные ($P > 0.9$) квазигармоники с периодами 12 месяцев, 5 суток, 24 ч, 11–14 ч, 1 ч, 25–40 мин;

- короткопериодные пульсации аэроэлектрического поля обладают свойством самоподобия со степенным законом изменения нормированной спектральной плотности, среднее значение показателя наклона спектров составляет $\alpha_S \approx -2.67 \pm 0.03$;

- характерной особенностью динамики турбулентных аэроэлектрических пульсаций является наличие когерентных аэроэлектрических структур.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 12-05-00820) и Программы ОНЗ РАН №7.

Литература

1. Анисимов С.В., Мареев Е.А. Аэроэлектрические структуры в атмосфере // Доклады РАН, 2000, Т. 371, № 1. С. 101-104.
2. Анисимов С.В., Мареев Е.А. Спектры пульсаций электрического поля приземной атмосферы // Доклады АН, 2001, Т. 381, №1, С. 107 – 112.
3. Анисимов С.В., Шихова Н.М., Мареев Е.А., Шаталина М.В. Структуры и спектры турбулентных пульсаций аэроэлектрического поля // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2003, Т. 39, № 6, С. 765-780.
4. Анисимов С.В., Мареев Е.А. Геофизические исследования глобальной электрической цепи, Физика Земли, 2008, №10, С.8-18.
5. Анисимов С.В., Шихова Н.М. Исследование электрической составляющей климата среднеширотного региона, Российский журнал наук о Земле, 2009, Т.11, doi: 10.2205/2009ES000363.
6. Анисимов С.В., Шихова Н.М. Перенос электричества в атмосферном слое обмена // «Геофизические исследования», 2010, Т.11, № 1, С.55–63.
7. Анисимов С.В., Галиченко С.В., Шихова Н.М. Формирование электрически активных слоев атмосферы с температурной инверсией // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2012, Т. 48, № 4, С. 442-452, DOI: 10.1134/S0001433812040020.
8. Смирнов В.В. Ионизация в тропосфере - СПб: Гидрометеиздат, 1992, 312 с.
9. Смирнов В.В. Электризация аэрозоля, обводняющегося в биполярно ионизированном воздухе // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2010, Т. 46, № 3, С. 321-331.
10. Тверской П.Н. Атмосферное электричество. Л.: Гостехиздат, 1949. 252 с.
11. Троицкая В.А., Моргунов В.А., Анисимов С.В. Электрическое взаимодействие геосферных оболочек // сб. «Электрическое взаимодействие геосферных оболочек». М.: ОИФЗ РАН, 2000. С.5-11.
12. Чалмерс Дж. Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 420 с.
13. Anisimov S.V. The global electric circuit and lower atmospheric electricity (key point) // Proc. 12-th Int. Conf. on Atmospheric Electricity. - Versailles, France. 2003, P.693-696.
14. Anisimov S.V., Bakastov S.S., Mareev E.A. Spatiotemporal structures of electric field and space charge in the surface atmospheric layer // J. Geophys. Res., 1994, V. 99, P.10603 – 10610.
15. Anisimov S.V., Mareev E.A., Bakastov S.S. On the generation and evolution of electric structures in the surface layer // J. Geophys. Res., 1999, V.104, D12. P.14359 – 14367.
16. Anisimov S.V., Mareev E.A., Shikhova N.M. and Dmitriev E.M. Universal spectra of electric field pulsation in the atmosphere // Geophys. Res. Letters, 2002, V. 29. №12, P. 2217 – 2220, doi: 2002GL015765.
17. Anisimov, S.V, Mareev, E.A., Shikhova, N.M., Sorokin, A.E., Dmitriev, E.M. On electro-dynamical characteristics of the fog. // Atmospheric Research, 2005, 76, 16-28.
18. Harrison, R.G., Climate change and the global atmospheric electrical system // Atmosph. Environ. 1997, V. 31, N 20, P.3483–3484.

19. Harrison R.G. Twentieth-century atmospheric electrical measurement at the observatories of Kew, Eskdalemuir and Lerwick // *Weather*, 2003, 58, 11-19.
20. Harrison, R.G. Columnar resistance changes in urban air // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2005, 67, 763–773.
21. Hoppel W.A., Anderson R.V. and Willet J.C. Atmospheric Electricity in the Planetary Boundary Layer // in: Krider, E.P., Roble, R.G. (Eds.), *The Earth's Electrical Environment*. Natl. Acad. Press, Washington, 1986, P. 149-165.
22. Israelsson S., and H. Tammet. Variation of fair weather atmospheric electricity at Marsta Observatory, Sweden, 1993–1998. // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2001, 16, 1693–1703.
23. Mareev E.A., and S.V. Anisimov. Lifetime of the thunderstorm electric energy in the global atmospheric circuit and thunderstorm energy characteristics // *Atmospheric Research*, 2009, 91, 161–164, doi:10.1016/j.atmosres.2008.05.010.
24. Marshall, T.C., Rust, W.D., Stolzenburg, M., Roeder, W.P., Krehbiel, P.R.,. A study of enhanced fair-weather electric fields occurring soon after sunrise. // *J. Geophys. Res.*, 1999, 104, 24455-24469.
25. Márcz F., Bencze P. Variations of the atmospheric electric potential gradient at the Nagycenk observatory // *Acta Geod. Geophys. Mont. Hung.* 1981, V. 16, P.415–422.
26. Márcz F., and R.G. Harrison. 2003. Long-term changes in atmospheric electrical parameters observed at Nagycenk (Hungary) and the UK Observatories at Eskdalemuir and Kew // *Ann. Geophys.* 21, 2193–2200.
27. Roble R.G. and Tzur I. The Global Atmospheric-Electrical Circuit // in: Krider, E.P., Roble, R.G. (Eds.), *The Earth's Electrical Environment*. Natl. Acad. Press, Washington, 1986, P. 206-231.
28. Williams, E.R. The global electrical circuit: a review // *Atmospheric Research*, 2009, 91, 140–152.

ВАРИАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

С.В. Анисимов, К.В. Афиногенов, С.В. Галиченко
Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Ярославская обл., пос. Борок
aphin@borok.yar.ru

В летние сезоны 2010 - 2012 гг. на полигоне Геофизической обсерватории «Борок» ИФЗ РАН [58°04' N; 38°14' E] в условиях отсутствия промышленных загрязнений и электромагнитных помех проводились сезонные полевые наблюдения аэроэлектрических и метеорологических характеристик приземной атмосферы. Цель работы заключалась в изучении электродинамики нижней атмосферы и исследовании турбулентных аэроэлектрических структур [1, 4].

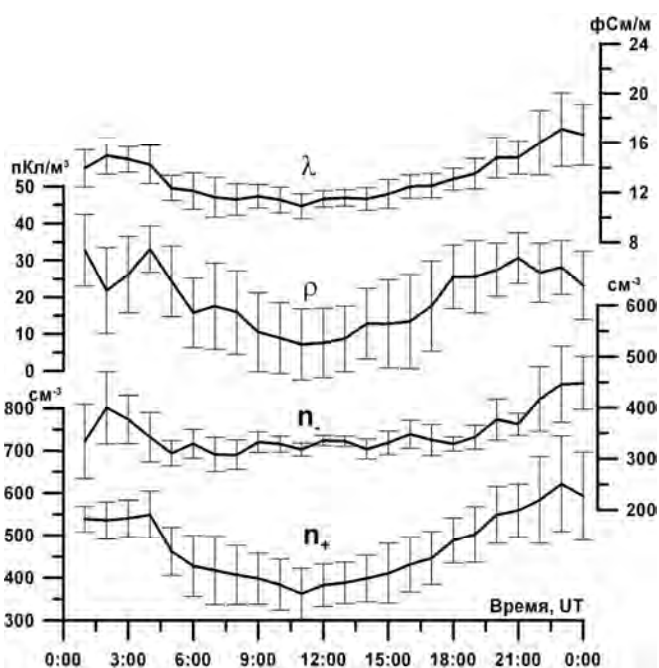


Рис. 1. Суточный ход концентраций положительных (n_+) и отрицательных (n_-) легких атмосферных ионов, удельной электрической проводимости атмосферы (λ) и плотности объемного заряда (ρ) по данным за 13, 14, 15, 24, 25 августа 2011 года (усреднение 1 час).

Полевой измерительный комплекс включал электростатические флюксометры («field mill»), две ультразвуковые цифровые метеостанции, счетчики концентрации легких атмосферных ионов, токовый коллектор (для измерения плотности вертикального атмосферного электрического тока), пиранометр, датчик концентрации радона-222 и радона-220 (торона). Данные регистрировались цифровой автоматизированной системой сбора информации с частотой дискретизации 10 Гц.

На рис. 1 изображен суточный ход концентраций легких атмосферных ионов n_+ и n_- . По данным за 13, 14, 15, 24 и 25 августа 2011 года среднесуточное значение концентраций положительных легких атмосферных ионов n_+ составило 474 см^{-3} ($\pm 260 \text{ см}^{-3}$), легких отрицательных атмосферных ионов n_- – 350 см^{-3} ($\pm 140 \text{ см}^{-3}$). По результатам измерений концентраций легких атмосферных ионов в приземном слое атмосферы были получены значения удельной электрической проводимости λ

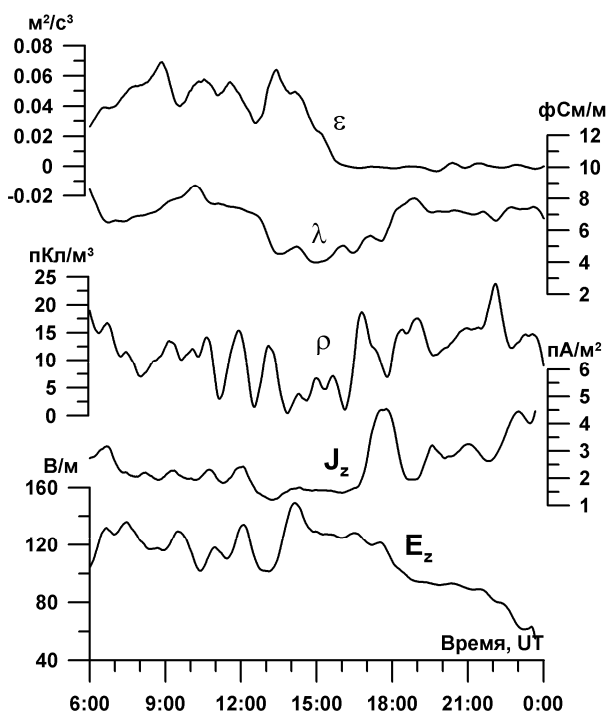


Рис. 2. Регистрограммы вариаций напряженности атмосферного электрического поля (E_z), плотности вертикального атмосферного электрического тока (J_z), плотности объемного заряда (ρ), удельной электрической проводимости (λ) и скорости диссипации кинетической энергии турбулентности в тепло (ε) по данным за 19.08.2012 (усреднение – 30 мин).

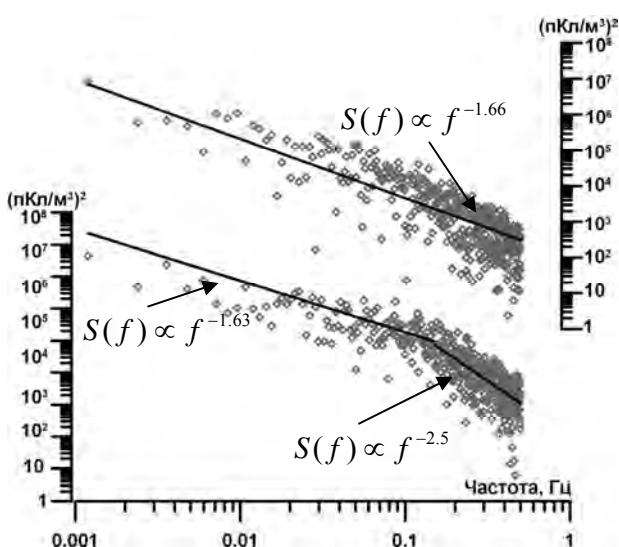


Рис. 3. Спектральная плотность объемного заряда, построенная по данным за 19 августа 2012 года (верхний график – 07:15-07:30 UT, нижний график – 23:30-23:45 UT).

и плотности объемного заряда ρ . На рис. 1 представлен суточный ход плотности объемного заряда, сосредоточенного на легких аэроионах, и удельной электрической проводимости. По данным за 13, 14, 15, 24 и 25 августа 2011 года среднесуточное значение удельной электрической проводимости составило 13 фСм/м (± 4 фСм/м), а среднесуточное значение плотности объемного заряда составило 19 пКл/м³ (± 13 пКл/м³). Следует заметить, что максимальные значения концентраций легких атмосферных ионов и электрической проводимости воздуха наблюдаются в ночное время, а максимальные значения плотности объемного заряда - в первый час после восхода Солнца. Среднее время восхода Солнца для представленных данных 02:00 UT. Возможной причиной увеличения суммарного положительного заряда легких ионов в утренние часы может быть более интенсивное формирование фракций средних и тяжелых ионов за счет гидратации и кластеризации в условиях прогрева поверхности и испарения воды [2]. Возрастание концентрации гидратных комплексов приводит к асимметричному перераспределению электрического заряда по ионным фракциям и приобретению тяжелой фракцией отрицательного заряда [2, 3].

На рис. 2 представлены регистрограммы вариаций напряженности атмосферного электрического поля E_z , плотности объемного заряда ρ , удельной электрической проводимости воздуха λ , плотности вертикального атмосферного электрического тока J_z и скорости диссипации кинетической энергии турбулентности в тепло ε за 19 августа 2012 года. Коэффициент корреляции E_z и λ составляет -0.51. Коэффициент корреляции E_z и ρ составляет -0.46. Коэффициент корреляции между ρ и J_z равен 0.47, а между λ и J_z равен 0.65.

Кросскорреляционный анализ для плотности тока и других электродинамических величин приземной атмосферы при усреднении данных за время, меньшее 20 минут, дает малые значения коэффициентов взаимной корреляции (от 0.01 до 0.3). Это связано с тем, что данные, получаемые с токового коллектора, интегрированы по площади, в то время как остальные данные, фактически, измеряются в точке.

На рис. 3 представлены спектры Фурье вариаций плотности объемного заряда для ночного и дневного времени суток по данным за 19 августа 2012 года. Заметим, что спектр вариаций плотности объемного заряда самоподобен в интервале периодов от 2 до 500 секунд. В течение суток показатель наклона спектра в интервале периодов от 10 до 500 секунд изменяется от -1.6 до -1.75 и в

среднем близок к $-5/3$. Обнаружено, что в интервале периодов от 2 до 10 секунд показатель наклона спектра меняется в течение суток в зависимости от интенсивности турбулентности. Величина, характеризующая интенсивность турбулентности, представлена на рис. 2, график ε . В ночное время, когда турбулентность незначительна (значение ε близко к нулю), показатель наклона спектра находится в диапазоне от -1.9 до -3.1, а в дневное время близок к $-5/3$.

Таким образом, в работе на основе результатов натурных полевых наблюдений исследованы взаимные корреляции вариаций напряженности атмосферного электрического поля, плотности вертикального атмосферного электрического тока, плотности объемного заряда и электрической проводимости атмосферы. Определено, что вариации концентраций легких атмосферных ионов и плотности объемного заряда связаны с вариациями эманаций радона-222. Проведен спектральный анализ вариаций плотности объемного заряда. Определено, что спектр вариаций плотности объемного заряда самоподобен. В течение суток в интервале периодов от 10 до 500 с показатель наклона спектра вариаций плотности объемного заряда близок к $-5/3$. Обнаружено формирование когерентных аэроэлектрических структур в плотности объемного заряда. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 12-05-00820).

Литература

1. Анисимов С.В., Мареев Е.А. Геофизические исследования глобальной электрической цепи, Физика Земли, 2008, №10, С.8-18.
2. Смирнов В.В. Ионизация в тропосфере - СПб: Гидрометеиздат, 1992, 312 с.
3. Смирнов В.В. Электризация аэрозоля, обводняющегося в биполярно ионизированном воздухе // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2010, Т. 46, № 3, С. 321-331.
4. Anisimov S.V., Mareev E.A., Shikhova N.M. and Dmitriev E.M. Universal spectra of electric field pulsation in the atmosphere // Geophys. Res. Lett., 2002, 29(12), P. 2217 – 2220.

АТМОСФЕРНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «БОРОК»

С.В. Анисимов, К.В. Афиногенов, А.В. Гурьев, Э.М. Дмитриев
Геофизическая обсерватория "Борок" ИФЗ РАН, Ярославская обл., пос. Борок
anisimov@borok.yar.ru

Долговременные наземные наблюдения являются экспериментальной основой современных исследований электричества атмосферы. Используемые при этом базы данных обсерваторских наблюдений должны включать результаты измерений не только аэроэлектрических, но также и других аэрофизических полей, тесно связанных с атмосферными электрическими процессами [2, 4].

Наблюдения на Геофизической обсерватории «Борок» (ГО «Борок») ИФЗ РАН [58°04'N; 38°14'E] ведутся в условиях низкого уровня искусственного электромагнитного и естественного сейсмического шума, вдали от источников промышленных загрязнений. В настоящее время на обсерваторском измерительном комплексе (рис. 1) [3] ведутся как геомагнитные [5], так и аэрофизические [4] наблюдения. Непрерывно измеряются атмосферный электрический ток (антенной типа «токовый коллектор»); атмосферное электрическое поле (электростатическим флюксметром); объемная активность приземного радона и торона (радоновой станцией «СРС-05»); вариации атмосферного давления (жидкостным микробарографом); плотность потока солнечного излучения (пиранометром «СМР-3»). Также непрерывно регистрируются основные метеорологические параметры (цифровой метеостанцией «WS-2500»); пульсации трех компонент скорости ветра и температуры, давление и влажность (ультразвуковым метеокомплексом «Метео-2М»); вертикальный профиль трех компонент скорости ветра до высот ~800м (доплеровским атмосферным акустическим локатором «Волна-3»). Непрерывный сбор данных наблюдений, поступающих с измерительных приборов, осуществляется выделенными компьютерами (системами сбора данных), объединенными в локальную сеть сбора данных (рис. 2). Через эту сеть данные наблюдений поступают на сервер, обеспечивающий их архивирование и поддержку базы данных ГО «Борок».

Интернет-доступ к базе данных (<http://geobrk.adm.yar.ru>) обеспечивается через web-сайт, содержащий файлы с описанием базы данных, графическим представлением данных, а также интерфейсные формы для запроса данных пользователями. В открытом доступе представлены результаты измерений вариаций геомагнитного поля Земли, К-индексы геомагнитной активности, результаты измерений атмосферного электрического поля и метеопараметров.

Анализ данных обсерваторских наблюдений позволяет изучать, как отдельные атмосферные события (прохождение атмосферных фронтов, грозовые разряды), так и параметры устойчивых состояний атмосферы (электричество «хорошей погоды», характеристики стабильного приземного слоя атмосферы). Пример суточного хода некоторых аэроэлектрических и метеорологических параметров, измеренных на ГО «Борок» представлен на рис. 3. Все величины сглажены часовым усреднением.

Интенсивность закрашки на эхограмме содара (верхний график) пропорциональна мощности эхо-сигнала. Значения напряженности аэроэлектрического поля несколько завышены, ввиду размещения электростатического флюксметра на крыше регистрационного корпуса.

На приведенных графиках отражается ряд эффектов в суточной динамике электрического поля приземной атмосферы. Видно возрастание электрического поля с восходом солнца (~4:00 UT) одновременно с ростом температуры. Формирование слоя инверсии (~8:00 UT), прослеживаемое по эхограмме, ведет к перераспределению объемного заряда и значительному росту электрического поля, который прекращается с распадом слоя (~12:00 UT).

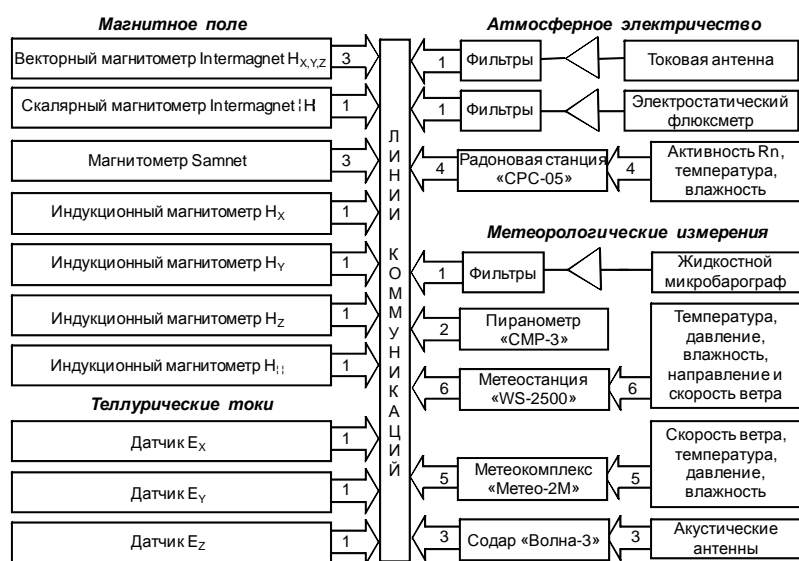


Рис. 1. Измерительный комплекс ГО «Борок» ИФЗ РАН

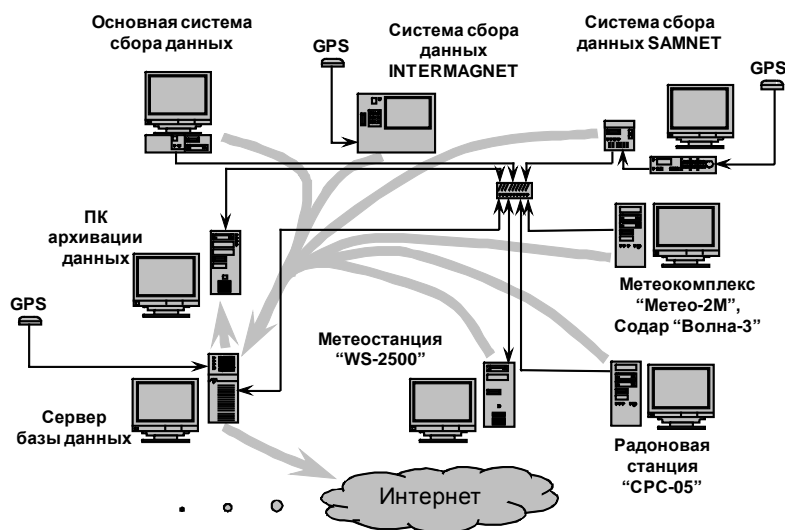


Рис. 2. Локальная сеть сбора данных ГО «Борок» ИФЗ РАН

Суточный максимум электрического поля соответствует максимуму температуры перед закатом (~14:00 UT). С началом понижения атмосферного давления возрастает выход из почвы ^{222}Rn , увеличивая ионизацию и проводимость воздуха (~13:00÷16:00 UT), что ведет к некоторому уменьшению электрического поля. Ночной максимум электрического поля (~20:00÷22:00 UT), по-видимому, связан с максимумом глобальной грозовой активности. Изложенные в докладе подходы находят свое применение в создаваемом на основе базы данных Геофизической обсерватории «Борок» сетевом информационном ресурсе. Низкий уровень индустриального загрязнения в месте расположения ГО «Борок» ИФЗ РАН и комплексный характер данных аэрофизических и геофизических обсерваторских наблюдений позволят успешно использовать вновь создаваемый информационный ресурс в фундаментальных исследованиях естественных аэроэлектрических процессов в нижней атмосфере и глобальной электрической цепи.

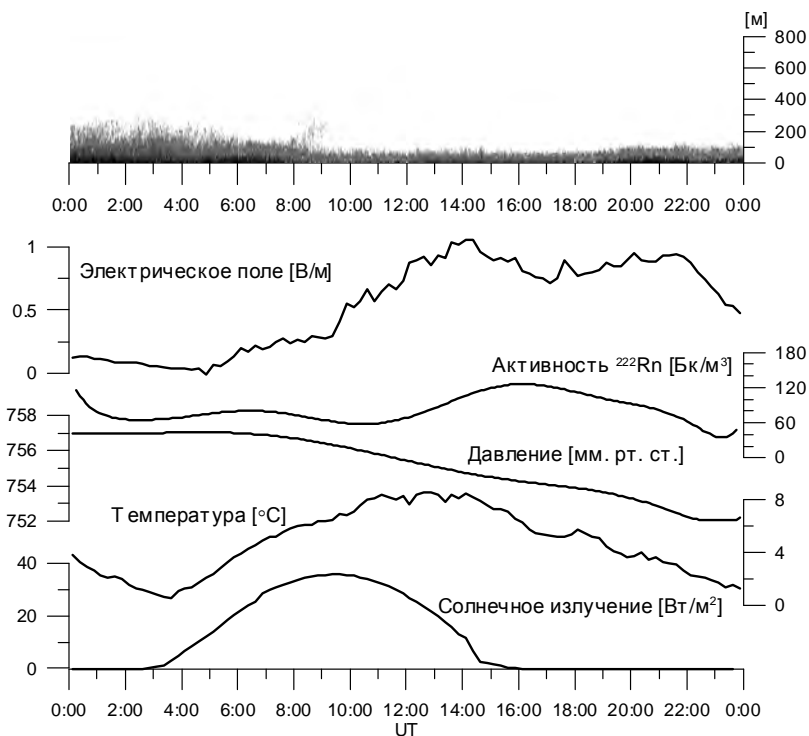


Рис. 3. Вариации аэроэлектрических и метеорологических параметров 4 апреля 2011г. по наблюдениям на ГО «Борок» ИФЗ РАН (пояснения в тексте)

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, грант 12-07-00575-а.

Литература

1. Анисимов С.В., Дмитриев Э.М. Аэроэлектрические и метеорологические наблюдения геофизической обсерватории «Борок» ИФЗ РАН / в сб. трудов VI Всероссийской конференции по атмосферному электричеству. Н.Новгород. 2007. С. 213–214.
2. Anisimov S.V., Aphinogenov K.V., Guriev A.V., Dmitriev E.M., The Borok Geophysical Observatory database for atmosphere electricity researches / in proc. of 14-th International Conference on Atmospheric Electricity. Rio de Janeiro. Brazil. 2011, 4p (electronic publishing, flash ROM).
3. Anisimov S.V., Chulliat A., Dmitriev E.M. Information-measuring complex and database of mid-latitude Borok Geophysical Observatory // Russian Journal of Earth Sciences. 2008. V. 10, ES3007, doi:10.2205/2007ES000227.
4. Anisimov S.V., Dmitriev E.M. Aeroelectrical constituent in the database of Borok Geophysical Observatory / in proc. of 12-th International Conference on Atmospheric Electricity. Versailles. France. 2003. P. 407–410.
5. Chulliat A., Anisimov S.V. The Borok INTERMAGNET magnetic observatory // Russian Journal of Earth Sciences. 2008. V. 10, ES3003, doi:10.2205/2007ES000238.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНВЕКТИВНОГО ПЛАНЕТАРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

С.В. Анисимов, С.В. Галиченко, Н.М. Шихова, К.В. Афиногенов
Геофизическая обсерватория "Борок" ИФЗ РАН, Борок
 svga@borok.yar.ru

Динамическое состояние конвективного планетарного пограничного слоя (ППС) характеризуется нестационарностью, интенсивным турбулентным обменом, наличием когерентных структур и неградиентным переносом субстанций. Турбулентный режим ППС наряду с количественным балансом энергетических потоков и условиями термической стратификации зависит от свойств подстилающей поверхности [6]. Электрическая проводимость в ППС, определяемая в основном легкими атмосферными ионами, существенно зависит от производительности природных и антропогенных источников ионизации, концентраций и кинетики спектра аэрозольных частиц, условий выхода на поверхность эманаций радона и торона [5]. При этом пространственно-временная

динамика перечисленных составляющих определяется источниками, стоками и турбулентным переносом ионизирующих и поглощающих субстанций. Области ненарушенной погоды, являющиеся нагрузочными участками глобальной электрической цепи (ГЭЦ), одновременно с этим формируют вклад в потенциал ГЭЦ, выступая в роли дополнительного конвективного генератора [2]. Численное моделирование процессов в конвективном пограничном слое позволяет получить высотные профили электродинамических величин и сделать оценку вклада конвективного генератора областей ненарушенной погоды в глобальный ток.

Электродинамическое состояние ППС исследовалось методом разнесенного синхронного приема вариаций аэроэлектрического поля с использованием электростатических флюксметров ("field mill") в районе полевого измерительного полигона Геофизической обсерватории "Борок" ИФЗ РАН (58°04'N; 38°14'E) в 2011-2012 гг. Высотные профили направления и скорости ветра в диапазоне высот от 60 м до 800 м с разрешением 5 м регистрировались при помощи акустического доплеровского локатора (содара) "ВОЛНА-3". Метеорологические наблюдения осуществлялись двумя ультразвуковыми метеостанциями "Метео-2Н", расположенными на высотах 2 м и 10 м, с тактовой частотой 10 Гц. Измерения концентраций положительных и отрицательных атмосферных ионов с подвижностью большей $1 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ проводились счетчиками "Борт-2" [5]. Мониторинг объемной активности продуктов распада радона и торона проводился при помощи сейсмической радоновой станции "СРС-05".

В рамках полулагранжева описания турбулентности в работе проведено исследование электрических характеристик конвективного пограничного слоя. Система уравнений баланса легких атмосферных ионов и аэрозольных частиц, а также уравнение Максвелла для электрического поля применены к статистическому ансамблю лагранжевых траекторий элементов среды (трейсеров). Вычисление пространственного распределения трейсеров по системе стохастических дифференциальных уравнений составляет блок турбулентного переноса [7]. В качестве параметров модели применялись параметризованные высотные профили второго σ_w^2 и третьего $\langle w^3 \rangle$ центральных моментов вертикальной скорости и средней скорости диссипации энергии турбулентных пульсаций ε . Эхограммы и данные натурных наблюдений высотных профилей компонент скорости ветра, полученные при помощи содара "ВОЛНА-3", а также данные с двух ультразвуковых метеостанций "МЕТЕО-2Н" использовались для определения статистических характеристик турбулентности. Зависимость высоты конвективного пограничного слоя от времени вычислялась при помощи прогностического уравнения [4] и данных содара. Для количественной оценки скорости ионообразования брались данные радоновой станции "СРС-05". При моделировании применялись статистические ансамбли, состоящие из 10^4 - 10^5 трейсеров со степенным распределением по переносимому объему среды. В результате рассчитаны модельные высотные аэроэлектрические профили напряженности поля, проводимости, объемного заряда и плотности вертикального тока. Примеры расчетных высотных профилей напряженности электрического поля пограничного слоя на начальной стадии развития конвекции приведены на рис. 1. Время релаксации электрического заряда в нижней атмосфере

$$t_r \sim \varepsilon_0 / \sigma \quad (1)$$

(ε_0 – электрическая постоянная, σ – удельная проводимость) при наблюдаемых и расчетных значениях удельной проводимости $\sim 10^{-14}$ См/м сравнимо с масштабом времени конвективного пограничного слоя.

$$t_* \sim z_i / w_* \quad (2)$$

(z_i – высота ПС, w_* – масштаб скорости вертикальных движений). Сравнение приведенных величин (1) и (2) позволяет заключить, что объемный заряд участвует в турбулентном переносе во всей толще пограничного слоя, как пассивная примесь. Лагранжев интегральный масштаб времени

$$T_L \sim \sigma_w^2 / \varepsilon, \quad (3)$$

имеющий смысл времени декорреляции вертикальной скорости движущейся в потоке частицы, может составлять значительную долю величины t_* . При этом в объеме среды, занятом организованным движением, электрическое поле, являясь интегральной величиной плотности объемного заряда, испытывает возмущение [1]. На рис. 2 приведен типичный пример эхограммы акустического сигнала, отраженного от турбулентных неоднородностей температуры, регистрограммы напряженности атмосферного электрического поля и результат модельного расчета напряженности электрического поля у поверхности. Из рисунка видно, что переход к конвективному режиму сопровождается ростом высоты ППС, увеличением амплитуды короткопериодных пульсаций и средней

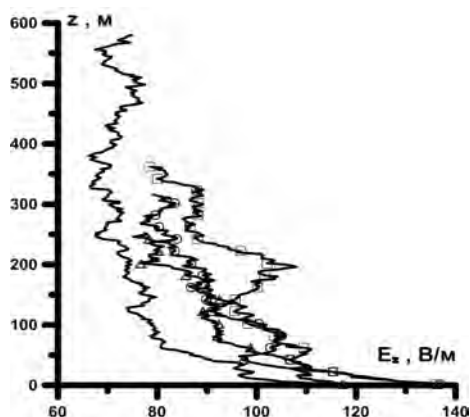


Рис. 1. Высотные профили электрического поля для моментов времени LT 8:00 (Δ), 8:20 (\circ), 8:30 (\square), 9:00 (\ast).

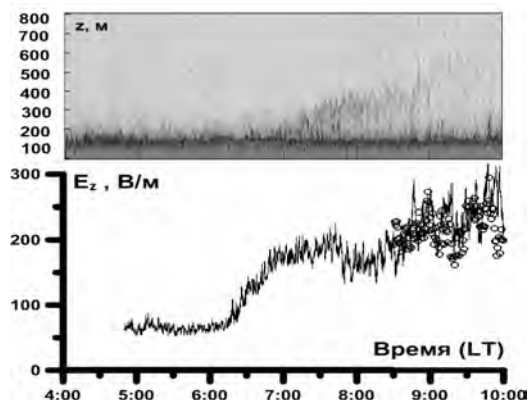


Рис. 2. Содарная эхограмма (вверху), регистрограмма аэроэлектрического поля (кривая внизу) по данным 8 авг. 2012 г. ГО "Борок" и результат модельного расчета электрического поля (O).

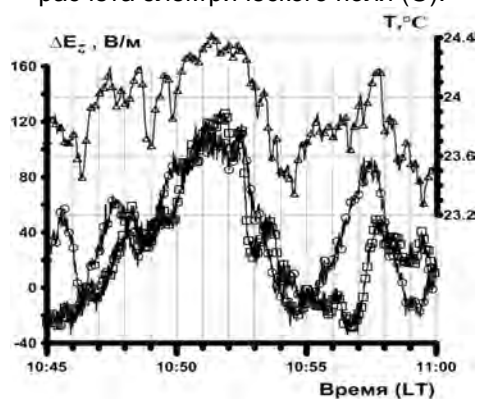


Рис. 3. Вариации напряженности аэроэлектрического поля ΔE_z в разнесенных на 300 м точках (O), (□) и температуры воздуха (Δ) по данным 12 июля 2011 г. ГО "Борок".

величины напряженности поля. Приток тепловой энергии и развитие конвекции влечет появление дополнительных пространственно-временных масштабов и расширение диапазона степенных аппроксимаций спектров электродинамических величин. На рис. 3 показаны стандартизованные вариации аэроэлектрического поля ΔE_z в разнесенных на 300 м точках и синхронная запись температуры воздуха. Кросс-корреляционный анализ выявляет наличие когерентных структур в электрическом поле и высокие значения (до 0.9) коэффициента взаимной корреляции вариаций напряженности поля и температуры воздуха [3].

Таким образом, вертикальный перенос объемного заряда в условиях растущей высоты ППС увеличивает амплитуду короткопериодных пульсаций и вариабельность аэроэлектрического поля. Представленная стохастическая модель позволила оценить плотность конвективного электрического тока, исследовать влияние ионо- и аэрозолеобразования на соотношение плотностей электрических токов проводимости и конвекции. Установлено, что плотность конвективного электрического тока зависит от стадии развития конвекции, концентрации аэрозольных частиц, продуктивности ионизации, и составляет в среднем по высоте ППС около 50% от величины плотности тока проводимости, достигая максимального значения в приземном слое.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-05-00820) и Министерства образования и науки Российской Федерации (договор № 11.G34.31.0048).

Литература

1. Анисимов С.В., Галиченко С.В., Шихова Н.М. Формирование электрически активных слоев атмосферы с температурной инверсией // Физика атмосферы и океана, 2012, Т.48, № 4. С. 442-452.
2. Анисимов С.В., Мареев Е.А. Геофизические исследования глобальной электрической цепи // Физика Земли, 2008, № 8. С. 8-18.
3. Анисимов С.В., Мареев Е.А., Шихова Н.М. Механизмы связи аэроэлектрического и температурного полей нижней атмосферы // Радиофизика, 2006, Т.49, №1. С. 35-52.
4. Зилитинкевич С.С., Тюрязов С.А., Троицкая Ю.И., Мареев Е.А. Теоретические модели высоты пограничного слоя атмосферы и турбулентного вовлечения на его верхней границе // Физика атмосферы и океана, 2012, Т.48, № 1. С.150-160.
5. Смирнов В.В. Ионизация в тропосфере. С.-П.: Гидрометеиздат, 1992. -312 с.
6. Foken T. Micrometeorology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. -306 p.
7. Wilson J.D. and Sawford B.L. Review of Lagrangian Stochastic Models for Trajectories in the Turbulent Atmosphere // Boundary-Layer Meteorology, 1996, 78. Pp. 191-210.

НАБЛЮДЕНИЯ ВАРИАЦИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ТЯНЬ-ШАНЕ В РАЗНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ, ВКЛЮЧАЯ СЕЙСМИЧЕСКИЕ

В.П. Антонова¹, В.И. Дробжев¹, Ю.В. Шлюгаев²

1 - Институт ионосферы АО Национальный центр космических исследований и технологий, Алматы, Казахстан

2 - Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия
valanta@rambler.ru

Экспериментальная установка «ELIS-TS» по измерению квазистатического электрического поля, E_z компоненты, была установлена на высокогорной Тянь-Шаньской станции (3340 м над уровнем моря, 20 км от г. Алматы) вблизи разлома земной коры в 2007 году. По принципу действия – это электростатический флюксметр («field mill»); диапазон измерения ± 50 кВ/м, чувствительность 10 В/м, временное разрешение 0.05 сек в медленном режиме записи. В грозовых условиях временное разрешение составляет 0,00005 сек. Установка является составной частью комплекса «Гроза» для изучения физики инициирования молний и взаимосвязи космических лучей с динамическими процессами в грозовой атмосфере [4].

Выявленные аномальные эффекты в суточных вариациях электрического поля с опережением землетрясений от нескольких часов до нескольких суток в сейсмически активных регионах мира дали нам возможность использовать измерения электрического поля с целью поиска предвестников землетрясений [1-3, 5-6]. Алматы окружен рядом потенциальных источников сильных землетрясений. Поэтому проблема прогноза землетрясений всегда была и будет актуальной для этого региона. Для исследования вариаций литосферного происхождения установка была дополнена блоком, позволяющим усиливать слабые флуктуации в 30-40 раз, и включена в непрерывный круглогодичный режим работы с просмотром базовых данных электрического поля в реальном времени. Некоторые результаты наблюдений квазистатического электрического поля на высокогорной Тянь-Шаньской станции за период 2007-2012 гг в разных геофизических условиях, включая периоды активизации сейсмических процессов, приведены в данной работе..

В условиях хорошей погоды исследована суточная вариация электрического поля и ее особенности в зависимости от сезона. На рис.1 представлены графики с характерным суточным ходом значений электрического поля на высокогорной станции для разных сезонов. Главная особенность суточного хода – отсутствие унитарной вариации (кривая Карнеги), которое обусловлено расположением станции в глубине материка. Унитарная вариация не обнаружена ни на одной реализации на всем периоде измерений электрического поля на станции (2007-2012)гг независимо от сезона. Высокогорное расположение станции в данном случае не является условием ее выделения. Среднее значение электрического поля в зимний период значительно выше, чем в летний на 150-200 В/м, что совпадает с наблюдениями на других станциях, но повышенный фоновый уровень на Тянь-Шаньской станции регистрируется здесь значительно дольше, поскольку условия, вызывающие его увеличение сохраняются здесь в течение ~ 9 месяцев в году.

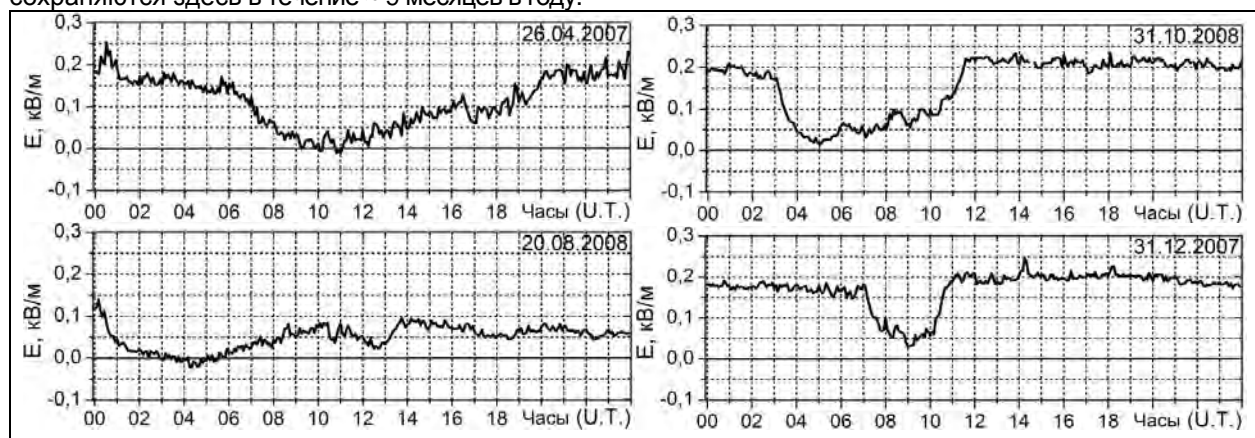


Рис. 1. Суточная вариация электрического поля на высокогорной станции в условиях хорошей погоды в разные сезоны: весна, лето, осень, зима (разница между LT и UT составляет 6 часов).

Другим характерным свойством суточной вариации вертикальной составляющей электрического поля на высокогорной станции в условиях хорошей погоды является наличие бухтообразного понижения E_z в освещенное время суток, рис.1. Глубина бухты ~ 100÷200 В/м. Прослеживается явная сезонная зависимость ширины (длительности) бухты. Зимой, в период зимнего солнцестояния, длительность бухты минимальна и составляет 3-4 часа. Осенью длительность бухты больше, ~ 9 часов. В период летнего солнцестояния она растянута на еще более длительный период,

Аномальные изменения электрического поля во время хорошей погоды с амплитудой достигающей 5 кВ/м мы обнаружили 1-2 мая 2011 года. По данным Казахстанского Национального центра за двое суток насчитывалось более 8 толчков от землетрясений с магнитудой больше 4.0. Основной толчок с магнитудой 5,4 был 1 мая в 02:31 UT, 76 км к северо-востоку от Алматы, За 2,5 часа до него был зафиксирован слабый форшок. После землетрясения следовала серия аномально высоких афтершоков (<http://www.kncc.kz>). Скачок электрического поля 1 мая на высокогорной станции был зарегистрирован за 1,5 часа до начала землетрясения. Аномально высокие положительные вариации электрического поля продолжались > 7 часов. После более слабого толчка землетрясения (магнитуда 3,8) 2-го мая также регистрировались положительные аномальные вариации длительное время, но с меньшей амплитудой. На рис. 2 представлены минутные значения электрического поля с 27 апреля по 3 мая 2011 года. На панелях рисунков отмечены погодные условия. Видно, что аналогичные аномалии электрического поля регистрировались и до землетрясения (28 и 30 апреля). Особенности аномалий не идентифицируются ни с одним источником возмущений метеорологического или космофизического происхождения. Совпадение их с активизацией сейсмических процессов позволило нам сделать вывод о литосферном происхождении источника возмущений.

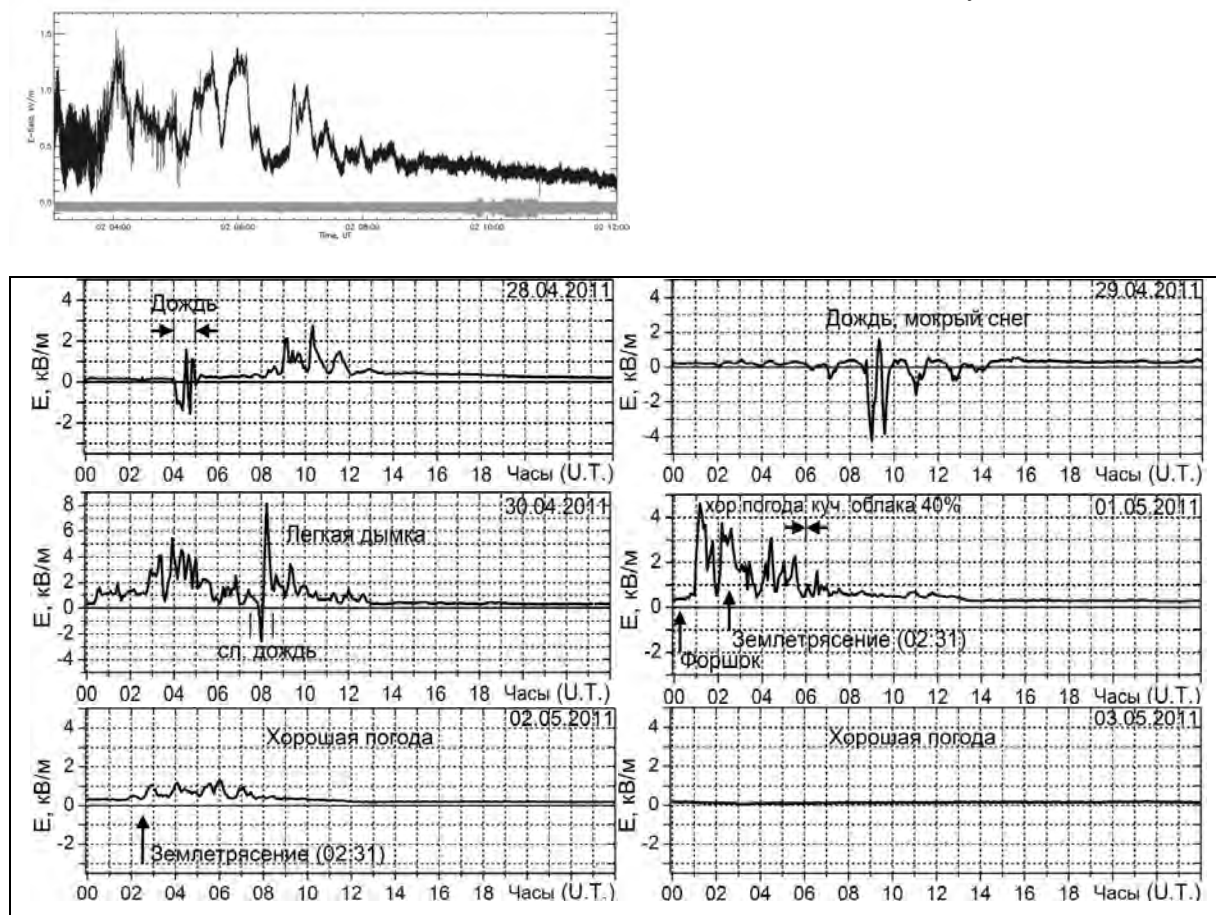


Рис.2. Значения электрического поля накануне и во время серии землетрясений в окрестности г. Алматы 1-2 мая 2011 г.

Литература

1. Бузевич А.В., Смирнов С.Э. Метод прогноза камчатских землетрясений по вариациям геомагнитного и атмосферного электрического полей Земли на фоне гелиомагнитосферных процессов // В сб. «Проблемы геодинамики и прогноза землетрясений», Хабаровск, 2000 - С. 179-186.
2. Руленко О.П. Тензочувствительность предсейсмических отрицательных аномалий электрического поля в приземном воздухе // Российская конф-ция по атм. электричеству, Владимир, 2003, Т.2.- С. 82-85.
3. Enomoto Y., Tsutsumi A., Fujinawa Y. et al. Candidate precursors: pulse-like geoelectric signals possibly related to recent seismic activity in Japan // Geophys. J. Int., 1997, V.31. № 3. P. 485-494.
4. Gurevich A. V., Antonova V. P., A. P. Chubenko, et al. Strong Flux of Low-Energy Neutrons Produced by Thunderstorms. // Physical Review Letters, 2012, 108, 125001.
5. Hao Jian-Guo, Tang Tian-Ming, Li De-Rui. A kind of information on short-term and imminent earthquake precursors: - research on atmospheric electric field anomalies before earthquakes // Acta Seismologica Sinica., 1998. V.11. №.1. P. 121-131.
6. Vershinin E.F., Buzevich A.V., Yamoto K. et al. Correlations of seismic activity with electromagnetic emissions and variations in Kamchatka Region // Atmospheric and ionospheric electromagnetic phenomena associated with earthquakes / Ed. M.Hayakawa. - Tokyo: Terra Scientific Publishing Company, 1999. P.513-517.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ, МИКРОСТРУКТУРНЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНВЕКТИВНЫХ ОБЛАКОВ

Б.А. Ашабоков, Д.Д. Кулиев, К.А. Продан, А.В. Шаповалов, В.А. Шаповалов
Высокогорный геофизический институт Росгидромета
atajuk@mail.ru

Несмотря на несомненные успехи физики облаков, многие процессы, способствующие формированию макро- и микроструктурных характеристик облаков, до настоящего времени изучены недостаточно. Это в первую очередь относится к процессам электризации облачных частиц, к влиянию электрического поля на микрофизические процессы, к обратному влиянию – микроструктуры облака на заряд и поле и к другим процессам. Исследование этих процессов требует комплексного подхода и использования эффективных методов, важнейшее место среди которых занимает математическое моделирование.

В отличие от моделей с параметризованной микрофизикой, модели с детальным учетом микрофизических процессов позволяют исследовать формирование микроструктурных характеристик облаков, образование облачных частиц и другие процессы. В большинстве таких моделей для описания микрофизических процессов используются кинетические уравнения для распределения частиц по размерам или массам.

Гидротермодинамический блок модели состоит из уравнений, описывающих влажную конвекцию в приближении Буссинеска, в которых учитывается адвективный и турбулентный перенос, силы плавучести, трения и барических градиентов.

Микрофизический блок модели описывает процессы нуклеации, конденсации, коагуляции капель с каплями, сублимации, аккреции, замерзания капель, осаждения облачных частиц в поле силы тяжести, их перенос воздушными потоками, а также взаимодействие облачных частиц под влиянием электрического поля облака.

Система уравнений записана для функций распределения по массам капель $f_1(\vec{r}, m, t)$, ледяных частиц $f_2(\vec{r}, m, t)$ и осколков замерзания капель $f_3(\vec{r}, m, t)$

В модели учитывается физический процесс разделения зарядов на стадии формирования осадков – зарядение переохлажденных капель при их замерзании (знак заряда «минус») с образованием осколков замерзания (микровыбросов), заряженных положительно.

Для расчета электрического заряда и поля облака были аппроксимированы экспериментальные зависимости выбросов микрочастиц от размера замерзающей капли и значений коэффициентов разделения зарядов, связанных с замерзанием капель воды и взаимодействием кристаллов с переохлажденными каплями. На каждом временном шаге рассчитываются объемные заряды в облаке, потенциал электростатического поля, создаваемого этими зарядами, а также горизонтальные и вертикальные составляющие напряженности поля облака.

Для сопоставления с данными наблюдений в модели рассчитывается радиолокационная отражаемость облака на длинах волн 3.2 и 10 см.

Размеры пространственной области при расчетах задавались от 40 до 80 км по горизонтали и 16-18 км - по вертикали. Шаг сетки по координатам X, Y составлял 500 м, по Z - 250 м. Облако инициировалось заданием импульса у поверхности земли с перегревом $\Delta T=1-5$ °C. Форма и размеры импульса варьировались.

Для анализа результатов расчетов было разработано программное обеспечение трехмерной визуализации данных, адаптированное для изучения строения облаков.

Остановимся на результатах исследований формирования термогидродинамических, микроструктурных и электрических параметров конвективных облаков при различных состояниях атмосферы.

Результаты моделирования показывают, что процессы в конвективных облаках оказывают взаимное влияние друг на друга (имеет место взаимодействие процессов). На рис. 1 приведены область сосредоточения крупнокапельной фракции (1) и область формирования крупных ледяных частиц (2) на 20 минуте развития облака. Также изображена радиолокационная отражаемость (изоконтуры через 5 dBZ).

При расчете электрических параметров облака принято условие, что формирование и накопление электрических зарядов в облаке происходит в результате замерзания капель и процесса аккреции (взаимодействия капель и кристаллов). Вследствие разности скоростей падения в воздухе микроосколков, заряжающихся преимущественно положительно, и более крупных частиц, крупы или града, заряжающихся преимущественно отрицательно, происходит пространственное разделение зарядов. В предвершинной части облака преобладает положительный объемный заряд, ниже – отрицательный. Положительный заряд в единице объема на 20-й минуте достигает значений $-1.89 \cdot 10^9$ Кл/м³, отрицательный $-1.42 \cdot 10^9$ Кл/м³. По результатам моделирования исследовано

пространственное распределение суммарного объемного заряда в облаке в различные моменты времени.

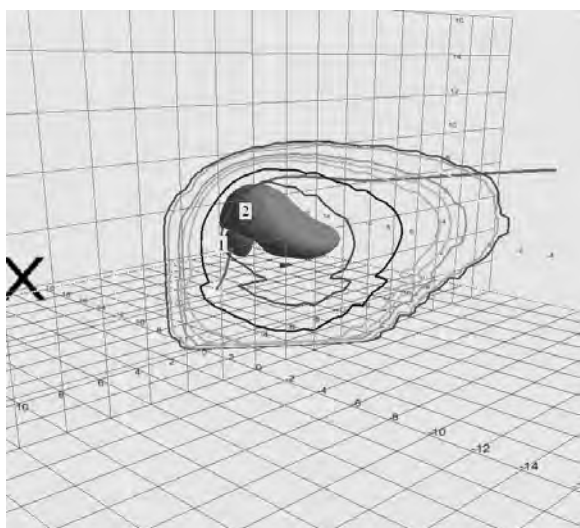


Рис. 1 – Область сосредоточения крупнокапельной фракции (1) и область формирования крупных ледяных частиц (2) на 20 минуте развития облака. Приведены также контуры радиолокационной отражаемости. Высота облака – 10 км, максимальная отражаемость 53 dBZ.

На 20-й минуте развития облака потенциал электрического поля составлял порядка $8,1 \cdot 10^8$ В.

Компоненты напряженности поля имеют значения $E_x, E_y \approx 1200$ В/см, а $E_z \approx 2000$ В/см.

Распределение напряженности электрического поля в облаке на 20-й минуте эволюции приведено на рис. 2.

С течением времени заряд в облаке, и, соответственно потенциал поля увеличиваются.

Максимальные значения потенциала электрического поля, полученные в расчетах, имели значения около 850 МВ, что согласуется с результатами других авторов.

Расчитанные в каждый момент времени в узлах пространственной сетки значения напряженности электростатического поля учитывались при расчете коэффициентов коагуляции капель и кристаллов.

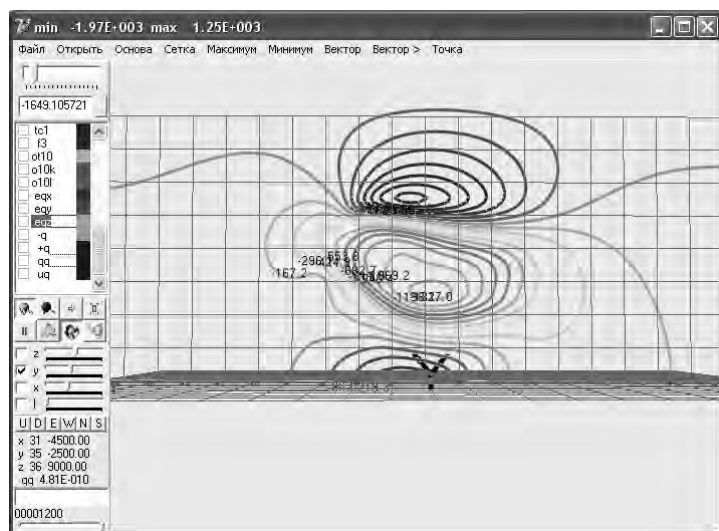


Рис. 2 – Напряженность электростатического поля, В/см..

Заключение

Проведены численные эксперименты по исследованию формирования конвективных облаков при различных стратификациях атмосферы и фоновом ветре.

Определены термогидродинамические параметры в зоне конвективного облака, исследован характер циркуляции воздуха.

В трехмерном виде проанализировано взаимодействие динамических и термодинамических процессов, которое проявлялось, в первую очередь, в деформации полей термодинамических параметров под влиянием динамических процессов.

Исследовано формирование положительного и отрицательного объемных электрических зарядов, рассчитаны характеристики электростатического поля.

Определено, что за счет электрической коагуляции время роста частиц осадков в мощном конвективном облаке существенно сокращается (около 30%).

КОРОНА В МНОГОЭЛЕКТРОДНОЙ СИСТЕМЕ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ГРОЗОВОГО ОБЛАКА

Э.М. Базелян¹, Н.Л. Александров², Ю.П. Райзер³
1 - ОАО "Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского"
2 - МФТИ, г. Долгопрудный
3 - ИГМ РАН, Москва
bazelyan@eninnet.ru

Корона в электрическом поле атмосферы играет важную роль в переносе электрических зарядов в глобальной электрической цепи. Исследования последних лет выявили ее значимость и в процессах ориентировки молнии, где коронный заряд может существенно изменять условия развития встречных лидеров от наземных сооружений [1]. Было установлено, что характеристики короны в поле атмосферы принципиально отличаются от измеренных в лабораторных промежутках, где процесс практически всегда является стационарным, поскольку воздействующее напряжение там можно считать неизменным во время дрейфа ионов между электродами. Нестационарная корона от одиночного заземленного электрода детально описана нами аналитически и численно [2]. Однако это описание нельзя использовать для многоэлектродных систем, образованных многочисленными заземленными сооружениями в поле грозового облака (лесные массивы, кустарники, районы городской застройки и т.д.). Проблема создается не только взаимным влиянием друг на друга соседних электродов, но и облаков их объемного заряда, типичные размеры которых по порядку величины достигают 10^2 м. В результате изменяется как пороговое поле атмосферы E_{cor} , зажигающее корону, так и динамика изменения во времени коронного тока, а также его зависимость от геометрических размеров коронирующего электрода.

Созданная компьютерная модель описывает корону в многоэлектродной системе из стержневых электродов с полусферической вершиной, которые размещаются на равном расстоянии от ближайших соседних. Предполагается, что все электроды находятся в равных условиях (краевые эффекты на границах системы не учитываются). При отрицательном поле грозового облака электроды эмитируют в атмосферу положительные ионы. Темп их производства определяется выполнением граничного условия $E(r_0) = E_{\text{cor}} - \text{const}$ у коронирующей вершины радиуса r_0 (для оценки E_{cor} использована соответствующая модификация формулы Пика). Легкие молекулярные и тяжелые аэрозольные ионы дрейфуют в электрическом поле грозового облака, искаженном объемным зарядом короны всех электродов системы. Для упрощения вычислений предполагается, что границы фронтов объемного заряда при своем движении от коронирующей вершины к грозовому облаку сохраняют полусферическую форму.

В большинстве конкретных расчетов предполагалось, что коронирующие электроды размещаются на концентрических окружностях вокруг условно центрального электрода, причем, число электродов на окружности с номером N равнялось $6N$, а расстояние между соседними окружностями принималось равным шагу расстановки на них коронирующих электродов.

На рис. 1 показана динамика изменения во времени тока короны от одиночной коронирующей

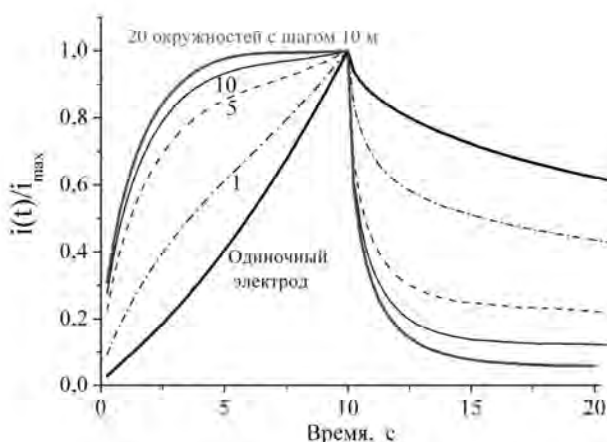


Рис. 1
Динамика изменения во времени тока короны

вершины радиусом 1 см на высоте 10 м и в многоэлектродной системе с различным числом таких же электродов, стоящих на концентрических окружностях. Электрическое поле грозового облака E_0 нарастало линейно до 20 кВ/м в течение 10 с, а далее оставалось неизменным. Для удобства сравнения расчетные значения каждой кривой нормированы ее максимальным током (от 23 мкА для единичного электрода до 1,7 мкА для системы с 20 окружностями). Свойственный единичному электроду линейный рост тока нарушается уже при одном круговом слое с коронирующими очагами. В случае 10 слоев участок насыщения тока выражен совершенно явно, а при 20 слоях рост коронного тока прекращается полностью, начиная с момента времени ~ 5 с, хотя внешнее электрическое поле грозового E_0 достигло здесь только половины своего амплитудного значения и изменяется поведение коронного тока после

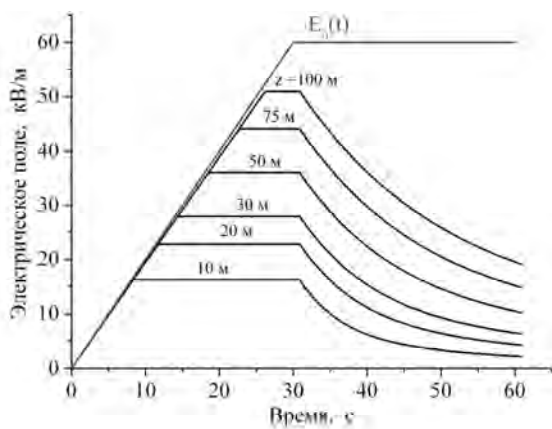
продолжало линейно увеличиваться. Столь же резко

стабилизации $E_0(t)$. Здесь величина тока снижается тем быстрее, чем больше электродов в составе системы. Из других особенностей многоэлектродной системы следует отметить практически полную независимость коронного тока от подвижности ионов и от высоты коронирующих электродов. Так, увеличение высоты электродов от 10 до 50 м при сохранении всех других параметров системы из 50 окружностей с установившимися электродами увеличило амплитудное значение коронного тока всего на 10% (для одиночных электродов ток вырос бы в 7,6 раза).

Стремление к полной стабилизации тока короны при линейно нарастающем поле атмосферы и его резкое снижение практически до нулевого уровня при постоянном $E_0(t)$ указывает на приближение свойств многоэлектродной коронирующей системы к идеализованной плоской, имитирующей ионный поток в атмосферу при $E_0 = E_{0cor}$ и удерживающей поле на заземленной плоскости на этом уровне. В частности при линейном росте поля грозового облака E_0 плотность коронного тока с единицы поверхности земли стабилизируется на уровне $j(t) = \varepsilon_0 dE_0/dt$, а при неизменном поле падает до нуля. При этом количество внедренного в атмосферу заряда с единицы поверхности σ зависит от геометрии электродов системы только посредством величины порогового поля E_{0cor} , поскольку $\sigma(t) = \varepsilon_0[E_0(t) - E_{0cor}]$. Максимальная плотность заряда короны при типичном значении поля грозового облака 20 – 60 кВ/м независимо от темпа его роста лежит в пределах $0,18 \div 0,53$ мкКл/м

Если использовать представленные выражения для оценки коронного тока и внедренного заряда для каждого из электродов системы по “принадлежащему” ему участку земной поверхности, расхождение со строгим численным расчетом не превысит 10%. Погрешность определяется только индивидуальным объемным зарядом каждого из электродов системы, который накапливается у коронирующей вершины пока радиус индивидуального облака не станет сравнимым с расстоянием между электродами, а заряженные слои объединятся в единый плоский слой.

Объединенное плоское облако объемного заряда короны и его зеркальное отражение в поверхности земли создают двойной электрический слой, который в идеально плоском асимптотическом приближении никак не влияет на распределение электрического поля выше переднего фронта объемного заряда. Внутри слоя характер изменения поля объемным зарядом зависит от скорости роста $E_0(t)$. Для плоской короны при монотонном увеличении поля $E_0(t)$ датчик в слое объемного заряда покажет увеличение регистрируемых значений при $d^2 E_0/dt^2 > 0$ и, напротив, их снижение при $d^2 E_0/dt^2 < 0$. В частности, для линейного роста поля, когда $d^2 E_0/dt^2 = 0$, поле перестанет расти, после того как его достигнет фронт объемного заряда короны (рис. 2). Легко уяснить, что размещение



датчика

поля внутри слоя объемного заряда короны может привести к очень существенной погрешности измерения поля грозового облака, величина которой не прогнозируется заранее даже в качественном отношении.

Электрическое поле на поверхности земли в месте расположения реальной многоэлектродной коронирующей системы стабилизируется зарядом короны, но на уровне, превышающем E_{0cor} тем в большей степени, чем больше расстояние между соседними электродами. Последнее определяется индивидуальными слоями объемного заряда, которые формируются у каждой из коронирующих вершин системы. Когда рост поля грозового облака прекращается и коронный ток падает до нуля, заряды из индивидуальных слоев перемещаются в общий плоский слой над системой, вследствие чего поле у поверхности земли приближается к E_{0cor} .

Рис. 2
Изменение электрического поля над плоской коронирующей системой
точках над плоской коронирующей системой

В работе произведен теоретический анализ и получены приближенные аналитические выражения для расчета тока короны в многоэлектродной системе.

Литература

1. Александров Н.Л., Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Роль заряда короны в ориентировке молнии // Физика плазмы. 2005. Т.31, С. 84-101.
2. Bazelyan E.M., Raizer Yu.P., Aleksandrov N.L. Corona initiated from grounded objects under thunderstorm conditions and its influence on lightning attachment// Plasma Sources Sci. Technol. 2008. V.17 (17pp).

РАДИОЗОНДОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Н.В. Балугин, А.З. Дубовецкий, М.Н. Хайкин, А.В. Кочин
Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета, Долгопрудный
amarl@mail.ru

Измерение вертикального профиля электрического поля Земли имеет важное значение для понимания процессов образования, накопления и диссипации электрических зарядов в атмосфере. Работы в этом направлении проводятся во многих странах в течение длительного времени [1,2]. Основной объем экспериментальных данных получен с помощью самолетных измерений, которые имеют ряд естественных ограничений. Измерения электрического поля с помощью датчиков, размещенных на радиозондах, также проводился в ряде стран [3]. Однако в техническом плане эта задача является сложной, так как требуется создание экономичного и компактного датчика напряженности электрического поля (ДНЭП), способного работать до температуры – 80°C и давлении до 0.01 от атмосферного. В ходе работ по разработке новой системы радиозондирования эта задача была успешно решена.



Рис.1. Внешний вид ДНЭП

Разработанный датчик (рис.1), основанный на широко используемой схеме флюксметра с вращающейся экранирующей пластиной, имеет высокие метрологические характеристики: смещение нуля менее 2 В/м, нелинейность измерительной характеристики не более 1% в диапазоне от 0 до 1000 В/м и дрейф нуля менее 1 В/м. ДНЭП позволяет производить масштабирование с целью увеличения диапазона измерений. Габаритные размеры ДНЭП составляют: высота 130 мм, диаметр 120 мм, вес менее 300 грамм, потребляемая мощность около 5 Вт. Зависимость смещения нуля от температуры и влажности приведены на рис. 2. Рис. 3 показывает пример изменения напряженности электрического поля на поверхности Земли в момент прохождения облака с выпадающими из него осадками над местом наблюдения.

Перед выпуском датчика в полет производится его калибровка в специализированной калибровочной камере.

Информация передается с борта радиозонда по телеметрическому каналу в общем потоке метеорологической информации с циклом опроса 1 сек. (что соответствует разрешению по высоте 5 м.) и архивируется в файле на компьютере наземного аэрологического комплекса для дальнейшей обработки и анализа.

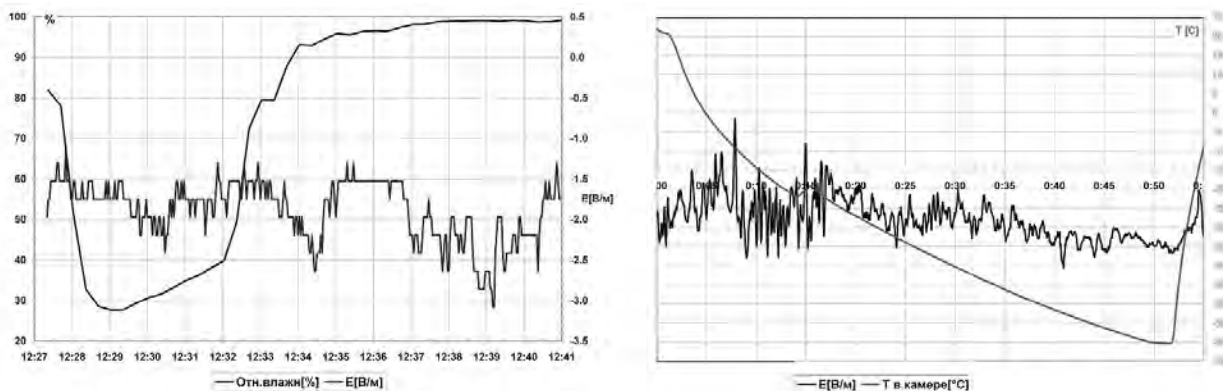


Рис.2. Зависимость смещения нуля от влажности (слева) и температуры (справа)

Разработано техническое решение для обеспечения возможности производить измерения вертикального профиля электрического поля на сетевых аэрологических станциях в случае запуска специализированных радиозондов, оборудованных датчиками электрического поля. Для учета влияния зарядов оболочки и радиозонда на результаты измерений использованы данные об ориентации радиозонда с последующим вычислением величины мешающего поля оболочки и радиозонда методом спектрального анализа. Одновременно с измерениями на радиозонде производятся наземные измерения электрического поля аналогичным датчиком в точке выпуска радиозонда.

В ходе выпусков радиозондов на АЭ Долгопрудная получены результаты измерения вертикальных профилей электрического поля Земли, которые соответствуют известным представлениям о структуре распределения электрических зарядов в атмосфере.

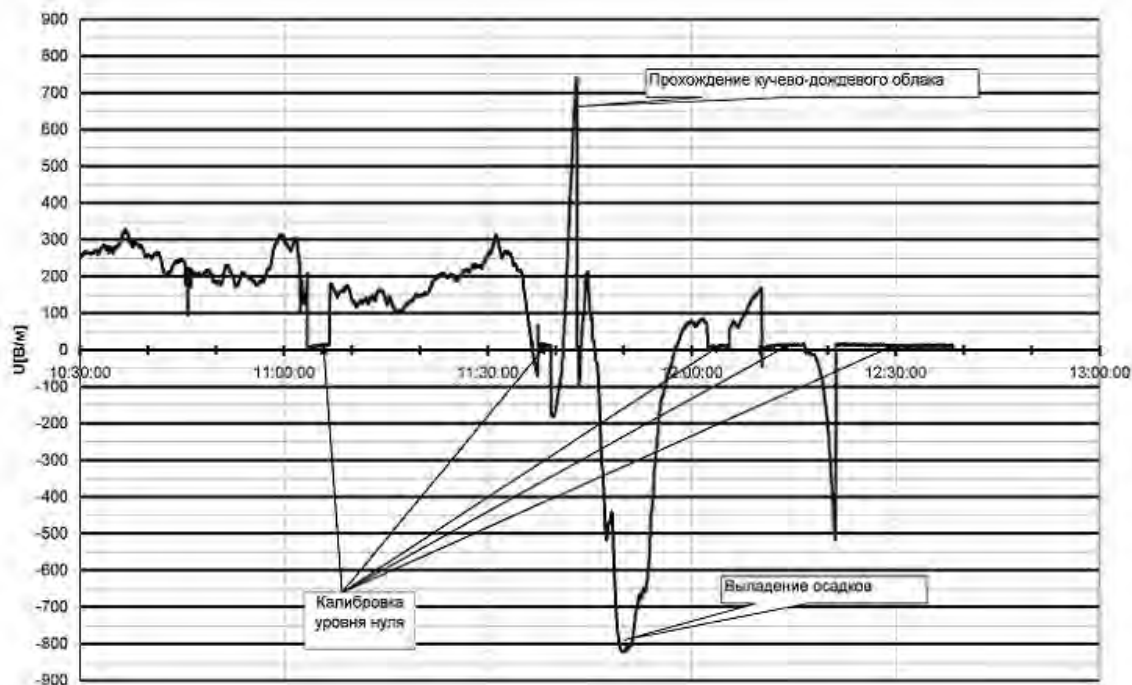


Рис.3. Пример изменения напряженности электрического поля при прохождении облака с выпадающими из него осадками

Литература

1. Мучник В.М. Физика грозы. Гидрометеиздат, 1974.- 352 с.
2. Stolzenburg, M., Marshall, T.C., Rust, D.W. Serial soundings of electric field through a mesoscale convective system // Journal of Geophysical Research, 2001, Vol. 106, No. D12. Pp. 12,371-12,380.
3. Marshall, T. C., Rison, W., Rust, W.D. , Stolzenburg, M., Willett, J. C., Winn, W. P. Rocket and balloon observations of electric field in two thunderstorms // J. Geophys. Res., 1995, Vol. 100, No. D10. Pp. 20,815-20,828.

ИНИЦИИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ МОЛНИИ РАКЕТОЙ «АЛАЗАНЬ - 6» С ТОКОПРОВОДЯЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

М.Н. Бейтуганов¹, Х.Х. Машуков², Х.Х. Чочаев¹

1 - ФГБУ «Северо-Кавказская военизированная служба» Росгидромета

2 - ФГБУ "Высокогорный геофизический институт"

bmn3112m@rambler.ru

Активные воздействия на облака проводятся с целью вызывания осадков и предотвращения выпадения града. Для достижения этих целей в облако вносят частицы кристаллизующих реагентов (ЧКР) или гранулы хладореагентов. Наибольшее распространение при активных воздействиях для предотвращения града и вызывания осадков получило внесение в облако ЧКР, в основном, частиц йодистого серебра – Ag J.

Для доставки ЧКР в облако в РФ и ряде других стран используются противогорадовые ракеты типа «Алазань-6». Шлейф аэрозольного дыма от ракеты может иметь протяженность более 6000 м. Физика действия реагента - образования на ЧКР ледяных кристалликов, которые сталкиваясь с переохлажденными каплями приводят к их замерзанию. Между естественными зародышами града и искусственно создаваемыми при внесении реагента зародышами происходит перераспределение водности, и размер града уменьшается. При падении в теплой части атмосферы, образующиеся градины могут полностью растаять или выпасть в виде крупы. Этот механизм лежит в основе наиболее обоснованного с физической точки зрения метода предотвращения града допускающего, что зона зарождения и роста градовых частиц происходит в одном и том же объеме, называемой зоной аккумуляции.

Существует также метод предотвращения града, в основе которого лежит преждевременное осадкообразование. Этот метод основан на предположении о том, что зона зарождения и зона роста града пространственно разнесены. Тогда вызывая осадки, в зоне роста с помощью ЧКР и ограничивая тем самым водность – источник для роста града можно прервать процесс образования града.

Возражения по этому методу связаны со временем, необходимым для образования частиц осадков на ЧКР которые способны, преодолевая восходящие потоки, выпасть из предполагаемой зоны роста.

Тесная связь градообразования с грозовыми облаками, отмечена в [1]. Анализ выпадения града в более чем 4 тысяч случаев показал, что только в 4% из них не отмечались видимые или слышимые молниевые разряды, т.е., без гроз града не бывает.

Известно также:

- 1) - на 10 случаев гроз приходится одно градовое явление;
- 2) - на 10 отрицательных разрядов молний на землю приходится 1 положительный;
- 3) - выпадение града на землю имеет место при положительных молниях на землю.

Поэтому можно предположить, что при определенном количестве наземных и внутриоблачных отрицательных молний, превращающих естественные частицы микропримеси атмосферы в кристаллизующие ядра, грозовая стадия развития облака не переходит в градовую стадию.

Предлагаемый метод предотвращения града инициированием искусственных молний основан на многих физических явлениях в грозовом и градовом облаках обусловливаемых молниями.

В стримерной зоне лидера молнии, простирающейся до 200-300 м, в облачное пространство ею внедряется избыточный объемный заряд с концентрацией ионов 10^{17} м^{-3} , одноименной по знаку заряду головки лидера молнии: если лидер имеет отрицательный заряд, то объемный заряд обусловлен электронами, если положительный, то объемный заряд будет обусловлен положительными ионами. Внедрение заряда происходит на всем пути распространения молнии, обратный же удар нейтрализует частично внедренный заряд.

Об объеме, занимаемом внедренным зарядом можно судить из следующего. Лабораторный электрический разряд в лидерной форме, в головке которого «сидит» стримерная зона в форме конуса с вершиной в головке, имеет телесный угол $\alpha=15^\circ$. Допуская, что стримерная зона лидера молнии имеет такой же угол, при длине стримерной зоны 200-300 м, получим радиус основания конус равным $R=b= a \cdot \tan \alpha / 2$, где a -протяженность стримерной зоны, т.е. $R=26 \div 39$ м. Таким образом, избыточный заряд сосредоточен в объеме цилиндра высотой в длину молнии и диаметром 50÷80 м.

Объем пространства, где одна молния внедряет избыточный заряд, оценивается в 1 км^3 более. Избыточный заряд на положительных и отрицательных ионах в этом объеме начинает осаждаться на гидрометеоры и на частицы микропримеси атмосферы, концентрация которых достигает 10^{11} м^{-3} и с размерами от ионов Ланжавена до десятков микрометров.

Заряженные из-за осаднения ионов частицы становятся ядрами конденсации в теплой части облака или ядрами сублимации в холодной части. В первом случае образуются капельки, во втором -

кристаллики. Капли растут вследствие коагуляции с другими капельками, а кристаллики - в следствие аккреции. Коагуляция капелек и кристалликов ускоряет их рост. Отличительной, но весьма важной особенностью отрицательно заряженных частиц микропримеси атмосферы является возможность их превращения в ядра кристаллизации, которые способны расти эпитаксически, т.е., в виде пластинок, превращаясь в зародыши града. В этом плане отрицательные молнии, заряжая частицы микропримеси атмосферы отрицательным зарядом, и превращая их в зародыши града, сыграют ту же роль, что и ЧКР при активных воздействиях.

Стримерная зона лидера молнии характеризуется наличием в этом пространстве напряженности поля 300-500 кВ/м. Заряженные и незаряженные переохлажденные капли в слабых полях имеют сферическую форму. Когда стримерная зона достигает среду с такими каплями, в импульсном поле они теряют сферичность, что приводит к неоднородному оттоку тепла от поверхности капли и снижению температуры в местах поверхности с меньшим радиусом кривизны. В этих местах может зародиться ледяная фаза, приводящая к замерзанию переохлажденной капли.

Стримерная зона с повышенной напряженностью поля, воздействуя на нейтральные и заряженные капли, приводит к их коронированию. Корона сопровождается осаждением ионов или электронов из тела электронной лавины, что приводит к зарядению нейтральных и частичной или полной нейтрализации заряженных капель. Коронный разряд с переохлажденных капель также будет способствовать их замерзанию.

Возникающая от обратного удара молнии ударная волна мгновенно снижает температуру среды на десятки градусов. Так по Воннегуту и Муру ударная волна может понизить температуры среды с -10°C до -40°C . Таким образом, капельки облаков и осадков, подвергаемые действию ударной волны, в основном, замерзают, что выводит их из коагуляционных процессов как жидкие капли и превращает их в зародыши града. Эти зародыши, скорее всего капельные. Дополнительным, кроме снижения температуры среды, воздействием ударной волны на капли является их сплющивание, приводящее к изменению сферичности капли и зарождению ледяной фазы в переохлажденных каплях.

Искусственные молнии, которыми предполагается предотвратить градобитие, а также обеспечить молниезащиту важных наземных объектов могут быть инициированы в грозо – градовых облаках с помощью: плазменных образований, получающихся при подрыве взрывчатых веществ, длинных проводников и летательных аппаратов[2,3]. Перспективным методом инициирования искусственной молнии явится противорадовая ракета с проводящей поверхностью, имеющей «хвост» из проводника длиной порядка 5 м и диаметром 3 – 5 мм. Прямое использование существующих ракет для этих целей возможно при их покраске проводящей краской. В этом случае прямое предназначение противорадовых ракет, как средство доставки реагента в облако, будет дополнена возможностью инициирования искусственных молний по трассе полета, а также и в момент ее ликвидации.

В ФГБУ «Северо – Кавказская военизированная служба» в 2010 – 2012 гг, используя окрашенные проводящей краской ракеты «Алазань-6», инициируются искусственные молнии, которые идентифицируются с помощью грозопеленгатора LS800, установленного на научно-исследовательском полигоне Высокогорного геофизического института. Одна из этих молний одновременно проявилась в 5 далеко отстоящих друг от друга точках пространства.

Таким образом, альтернативой существующим методам предотвращения града, основанным на внесении в облако кристаллизующих реагентов и хладореагентов, явится инициирование в грозоградовых облаках отрицательных искусственных молний различными способами, в том числе и с помощью противорадовых ракет с проводящей поверхностью, но без кристаллизующих реагентов или с их малым содержанием.

Литература

1. Женев Р. Град. Гидрометеоиздат, Л., с. 38
2. Бейтуганов М.Н., Несмеянов П.А. Исследование возможности провоцирования электроразрядных явлений плазменными образованиями.//Шестая российская конференция по атмосферному электричеству. Нижний Новгород, 2007.с.107-108.
3. Бейтуганов М.Н., Машуков Х.Х. Модернизация противорадовых ракет для инициирования искусственных молний. Сб. трудов VI Российской конференции по атмосферному электричеству. Нижний Новгород, 2007 г., с. 142-144.

АНОМАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ ВО ВРЕМЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ 2010 ГОДА

Н.С. Беллюстин¹, Е.Н. Ермакова¹, А.Н. Караштин¹, О.С. Караштина¹, А.А. Панютин²
1 - Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород, Россия
2 - Нижегородский ЦГМС-Р, Нижний Новгород, Россия
tolk@nirfi.sci-nnov.ru

В настоящее время представляется актуальным создание мультимодальной системы мониторинга и прогнозирования грозовой активности. В целях исследования возможностей такой системы в настоящей работе нами сопоставляются результаты одновременных наблюдений локальной грозовой активности в Нижегородской области с использованием метеорологического радиолокационного комплекса МРЛ-5АКСОПРИ [1,2], расположенного в Н. Новгороде, грозопеленгатора ДВ диапазона, входящего в состав специализированного комплекса для исследования радиоизлучения молниевых разрядов [3], расположенного на полигоне Научно-исследовательского радиофизического института (НИРФИ) в районе р.п. Васильсурск (стенд СУРА) в 140 км к востоку от Н. Новгорода, и индукционных магнитометров КНЧ диапазона, расположенных на приемных пунктах НИРФИ «Новая Жизнь» в 30 км к юго-западу от стенда СУРА и «Старая Пустынь» в 80 км к югу от Н. Новгорода.

При обычных погодных условиях, как для локальных грозовых очагов, так и при прохождении грозовых фронтов, результаты наблюдений в целом хорошо согласуются друг с другом как в части определения местоположения гроз с помощью метеорологического радиолокационного комплекса и грозопеленгатора, так и в части определения направления на грозовой источник с помощью индукционных магнитометров. Однако в случаях редких атмосферных явлений локального характера рассогласование в интерпретации данных, измеренных различными инструментами, оказывается весьма существенным. Это требует совершенствования методики совместной обработки данных различных инструментов.

В конце июля – начале августа 2010 г. в Нижегородской области регистрировались необычные электрические явления в атмосфере в районе наиболее сильных лесных пожаров вблизи г. Выкса. Они были зарегистрированы в период с 30 июля по 3 августа грозопеленгатором и индукционными магнитометрами в то время, когда метеорологический радиолокационный комплекс не показывал отражения от кучевой облачности с очагами гроз в этом районе.

На рис.1 приведены результаты обработки низкочастотных данных за 03 августа 2010 г.

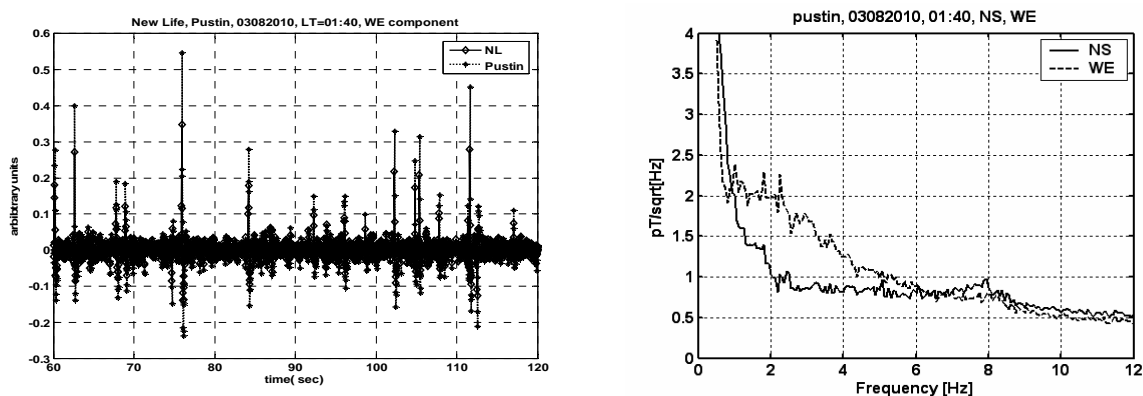


Рис.1 Временная реализация магнитной компоненты восток-запад в приемных пунктах «Новая Жизнь» и «Старая Пустынь» (слева) и спектры обеих (восток-запад и север-юг) компонент в приемном пункте «Старая Пустынь» (справа).

Анализируются временные реализации и усредненные спектры магнитных компонент фонового шума. В период блокирующего антициклона над Нижегородской областью были обнаружены особенности спектров магнитных компонент, характерные для локальной грозовой активности. Как известно, в интенсивность фонового шума в указанном диапазоне вносят вклад экваториальные грозные очаги, которые обеспечивают увеличение интенсивности шума на частотах Шумановского резонанса. Источники грозовой активности, расположенные на расстояниях менее 500 км вклад в Шумановский резонанс не дают. Поэтому локальные грозные очаги могут существенно поднимать интенсивность магнитных компонент на частотах ниже первого Шумановского резонанса, причем, чем ближе источник, тем сильнее увеличивается интенсивность на частотах менее 7.8 Гц [3]. Иногда это приводит к полной маскировке резонансного увеличения интенсивности. Во временных реализациях в подобных случаях появляются импульсы в два и более раз превосходящие по

амплитуде уровень фонового шума, создаваемый дальними грозовыми очагами. Такой характер спектров и временной реализации магнитной компоненты восток-запад мы наблюдаем на рис.1. Амплитуда наблюдаемых импульсов в «Старой Пустыни» примерно в 1.5 раза больше, чем в «Новой Жизни», что подтверждает локальность наблюдаемого явления.

Данные метеорадара, приведенные на рис.2 не показывают сильной кучевой облачности на этих расстояниях. На этом рисунке более темный цвет соответствует областям слабой облачности.

Данные грозопеленгатора, приведенные на рис.3, напротив, подтверждают существование источников разрядов в юго-западном направлении от стенда СУРА.

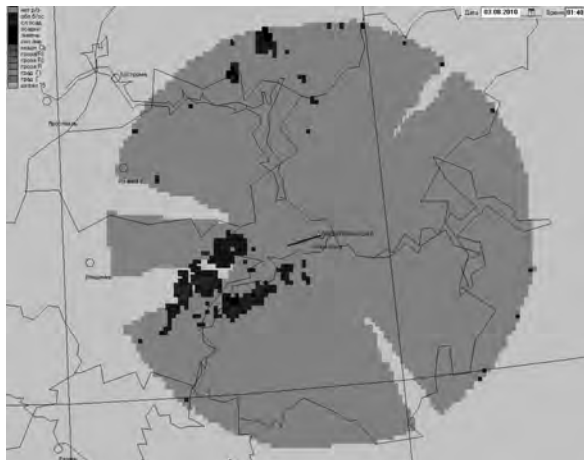


Рис.2. Карта МРЛ5



Рис.3. Данные грозопеленгатора

Предварительное объяснение этих результатов заключается в следующем. Во время больших лесных пожаров, наблюдавшихся в рассматриваемый период на юго-западе Нижегородской области и охвативших площади в тысячи квадратных километров, в больших количествах образуются аэрозоли различных фракций. Их накоплению в указанный выше период 2010 г. способствовала сильная температурная инверсия, наблюдавшаяся по данным радиозондирования в приземном слое атмосферы в условиях долговременного антициклона. В результате электризации аэрозолей в восходящих потоках горячего воздуха от сильных пожаров в атмосфере могут возникать значительные электрические поля и происходить электрические разряды, которые и фиксировались высокочувствительными грозопеленгатором и индукционными магнитометрами.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, гранты 11-05-97036, 12-02-01294, 11-02-97104, 11-02-97101.

Литература

1. Степаненко В.Д., Радиолокация в метеорологии. - Л.: Гидрометеиздат, 1973, 344 с.
2. Степанен В.Д., Гальперин С.М. Радиотехнические методы исследования гроз. - Л.: Гидрометеиздат, 1983, 204 с.
3. Караштин А.Н., Шлюгаев Ю.В., Гуревич А.В. Наблюдения радиоизлучения молниевых разрядов в широком диапазоне частот // Сборник трудов VI Российской конференции по атмосферному электричеству, Нижний Новгород, 2007.
4. Surkov V.V., Hayakawa M., Schekotov A.Y., Fedorov E.N., and O.A. Molchanov, Ionospheric Alfvén resonator excitation due to nearby thunderstorms // J. Geophys. Res., V. 111, A01303, doi:10.1029/2005JA011320, 2006.

МЕТОДЫ ВТОРИЧНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГА ГРОЗООПАСНОСТИ

А.К. Богушов, А.В. Панюков
Южно-Уральский государственный университет
abogushov@gmail.com

В области оперативного гидрометобеспечения все большее внимание фокусируется на практических вопросах грозового электричества: предупреждение об опасных явлениях погоды, связанных с мощными конвективными облаками (грозы, смерчи-торнадо, град, шквалы, избыточные осадки); прогноз поражения самолета молниями; защиты линий электропередач от попадания молний; уточнение количества выпадающих осадков при наблюдениях зон грозовой активности с ИСЗ; предупреждение о возможности возникновения лесных пожаров; прогноз эволюции тропических

циклонов и другие [5, 6, 9]. Этому способствует развитие и внедрение в оперативную практику инструментальных методов обнаружения гроз - систем и датчиков типа ALDF, LDAR, SAFIR и т.д. В результате начали накапливаться фактические данные об особенностях электрической активности мощных конвективных облаков, которые в силу определенных причинно-следственных связей и с некоторой заблаговременностью дают информацию о существенной микрофизической перестройке облака и возможных опасных явлениях, т.е. на их основе становится возможным формировать информационные признаки (предикторы) опасных явлений. К таким предикторам можно отнести резкое увеличение числа внутриоблачных молний (60 разрядов в минуту и более) за 10-15 мин до появления торнадо или за 5-10 мин до формирования опасных для авиации шквалов (микробарстов). В рамках проекта МНТЦ №1822 (<http://www.istc.ru/istc/db/projects.nsf>) разработан образец однопунктового грозопеленгатора-дальномера. В результате проведенных полевых испытаний данного образца в период май - август 2004 г. было зарегистрировано более 2,5 млн. атмосфериков. Из них не более 10% были классифицированы как излучение от молниевых разряда, остальные были классифицированы как предгрозовое излучение. Регистрация предгрозового излучения облаков (т.е. до первой вспышки молнии) однопунктовой системой грозолокации, для целей прогнозирования развития грозы, было обеспечено расширением динамического диапазона приемной аппаратуры и дальнейшим развитием математического и программного обеспечения [8]. Ранее подобное предгрозовое излучение либо отфильтровывалось, либо обрабатывалось некорректно однопунктовыми системами местоопределения гроз. База данных полевых испытаний дает большой экспериментальный материал для проверки адекватности моделей грозового очага и тестирования разрабатываемых программного обеспечения и устройства.

Известно, что при использовании однопунктовых систем пассивного мониторинга грозовой активности возникает неустранимая ошибка обнаружения пеленга на разряд, эквивалентный дипольный момент которого не является вертикальным [10]. В работе [10] выведены функции плотности распределения вероятностей размещения источника излучения в пространстве от измеряемых параметров (r, u, v) . Данные функции показывают возрастание степени неопределенности при отклонении ориентации эквивалентного диполя от вертикали. Данное отличие наиболее характерно для внутри облачных и межоблачных разрядов, образующих предгрозовое излучение.

В работах [1–3, 11] предложены методы снятия данной неопределенности с помощью карты плотности вероятности, для построения которой используется все множество зарегистрированных разрядов в течение определенного времени T . Данная карта представляет разбиение пространства на ячейки $[i, j, k]$, для которых вычисляется вероятность размещения в них источника излучения

$$\text{Prob}[i, j, k] = \frac{\sum_{d \in R(T)} P_{[i, j, k]}(d)}{\max_{[l, m, p]} \sum_{d \in R(T)} P_{[l, m, p]}(d)},$$

где $D(T)$ – множество разрядов, зарегистрированных за время T , $P_{[l, i, k]}(d)$ – вероятность попадания зарегистрированного разряда d в ячейку $[l, j, k]$. Для определения $P_{[l, i, k]}(d)$ используются функции плотности распределения вероятностей размещения источника излучения в точках пространства, выведенные в работе [10].

Другим способом устранения возникающей неопределенности, являются методы кластеризации [3, 7]. Подобный подход позволяет определить количество грозовых ячеек, их центры, выявить разряды входящие в каждую из ячеек и определить возможное размещение для каждого разряда. Область, которая покрыта кластером, является потенциально опасной. Для оценки меры опасности каждого кластера предлагается использовать количество разрядов кластера или суммарную мощность всех разрядов входящих в кластер.

Для того, чтобы разбить множество $D(T)$ на кластеры $\{C_i \subset D(T) : i = 1, 2, \dots\}$ можно воспользоваться следующим подходом. Пусть для каждого зарегистрированного разряда $d \in D(T)$ определено множество $L(d) \subset \mathbf{R}^3$ точек его возможного размещения с вероятностью, превышающей некоторый уровень. Построим граф $G(\rho_0) = (D(T), E(\rho_0))$, где $E(\rho_0) = \{[r, s] : r, s \in D(T), \rho(L(r), L(s)) \leq \rho_0\}$. В качестве $\rho(L(r), L(s))$ можно считать расстояние по Хаусдорфу между множествами. В качестве кластеров объявляются клики графа, т.е. полные подграфы, образующие минимальное по мощности реберное покрытие. Таким образом, каждая клика представляет собой грозовую ячейку и для нее можно определить ее центр

$$x(C_i) = \arg \min_{y \in \mathbf{R}^3} \sum_{d \in C_i} \rho(y, L(d)).$$

При этом, после выявления центров всех кластеров, необходимо определить наиболее вероятное местоположения источников излучения $d \in D(T)$

$$x(d) = \arg \min_{d \in C_i} \min_{y \in L(d)} \sum \rho(y, x(C_i))$$

Литература

1. Богушов А.К., Панюков А.В. Вторичная обработка результатов пассивного мониторинга грозовой деятельности // Сборник трудов 40-й молодежной школы-конференции. 2009. Екатеринбург. С. 286-290.
2. Богушов А.К., Панюков А.В. Применение методов вторичной обработки информации о грозовой активности для предупреждения аварий // Безопасность критических инфраструктур и территорий: Материалы III Всероссийской конференции и XIII Школы молодых ученых. -Екатеринбург: УрО РАН. - 2009. - С.117 - 118.
3. Богушов А.К., Панюков А.В. Размещение взаимосвязанных объектов в условиях неопределенности // IV Всероссийская конференция «Проблемы оптимизации и экономические приложения»: Материалы конференции (Омск, 29 июня – 4 июля, 2009) / Омский филиал Института математики СО РАН. – Омск: Полиграф. Центр КАН, 2009ю – С.113.
4. Богушов А.К. Построение карты плотности вероятности по результатам пассивного мониторинга грозовой активности // I Научная конференция аспирантов и докторантов: Материалы конференции (Апрель, 2009, Челябинск). – Челябинск: Изд. Центр ЮУрГУ. – С. 281 - 284.
5. Горелик А.Г. Радиолокационная метеорология и перспективы ее развития. // III Всероссийская конференция "Радиолокация и радиосвязь" (Москва, 26-30 октября 2009-г.). – М: ИРЭ РАН. -- 2009. -- С. 400 – 404
6. Мареев Е.А., Стасенко В.Н. Российские исследования в области атмосферного электричества в 2003-2007 гг. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – Т. 45, № 55. – 2009. – С. 709 – 720..
7. Кононов, И.И. Кластерный анализ грозовой активности / И.И. Кононов, И.Е.Юсупов // Радиотехника и электроника, 2004, том 49, №3, с.283–291.
8. Панюков-А.В., Будув-Д.В. Библиотека методов определения местоположения дипольного источника излучения // Программа для ЭВМ, базы данных, топология интегральных микросхем. Официальный бюллетень Российского агентства по патентам и товарным знакам №2(1). – 2002. -- С.149 -- 150.
9. Стасенко В.Н., Гальперин С.М. Степаненко В.Д., Щукин Г.Г. Методология исследования грозовых облаков и активных воздействий на них // Проектирование и технология электронных средств. Спец. вып. -- 2004. -- С. 2-6.
10. Panyukov A.V. Estimation of the location of an arbitrary oriented dipole under single-point direction finding // Journal of geophysical research. – 1996. – Vol. 101, №D10. – P. 14,997 – 14,982.
11. Panyukov A.V., Avramenko A.G. Increasing Accuracy of Single Point Thunderstorm Locating System. // International Conference "Electrical and Control Technologies - 2006". Selected papers of conference - Kaunas. - 2006. - P. 63 - 65.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ЗАРЯЖЕННОГО АЭРОЗОЛЯ

Д.И. Бударрагин¹, В.Ю. Климашев², А.А. Емельянов², Д.И. Иудин³

1 - Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

2 - Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород

3 - Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород; Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород; Российский новый университет, Москва

iudin_di@nirfi.sci-nnov.ru

Введение.

Аэрозоли - дисперсные системы, состоящие из мелких твердых или жидких частиц, взвешенных в газовой среде (обычно в воздухе), чрезвычайно распространены в природе и технике. Естественные аэрозоли образуются вследствие природных явлений, прежде всего атмосферных (грозы, смерчи, песчаные бури), а также при вулканических извержениях и масштабных лесных пожарах, выбрасывающих облака пепла и дыма. Искусственные аэрозоли образуются в результате хозяйственной деятельности человека, в частности, при абразивоструйной обработке поверхностей, камерном напылении или, например, при ядерных взрывах. Практически все перечисленные выше естественные и технологические процессы, приводящие к возникновению аэрозольных систем, сопровождаются их интенсивной электризацией с последующей инициацией электрического пробоя атмосферного воздуха. Электрический пробой заряженного аэрозоля, как и обычный разряд в газе - лавинный процесс, связанный с тем, что носитель заряда, электрон, на длине свободного пробега приобретает энергию, достаточную для ионизации молекул газа и увеличивает концентрацию носителей заряда. Генерация носителей происходит лавинообразно. Однако в аэрозольной системе при этом не только создаются свободные носители заряда (увеличивается концентрация электронов), но и уменьшается связанный заряд, локализованный на взвешенных частицах. Таким образом, общий ток разряда, представленный, разумеется, свободными носителями, осуществляет нейтрализацию связанного объемного заряда аэрозоля.

Наиболее распространенным и изученным примером пробоя заряженного аэрозоля является молния. Несмотря на значительные теоретические и экспериментальные усилия последних десятилетий проблема инициации молниевых разрядов остается одной из самых интригующих загадок атмосферного электричества [1,2]. Основные усилия направлены здесь на поиск возможных механизмов усиления локальных электрических полей в грозовом облаке и группируются вокруг инициации положительного стримера на гидрометеорах, индуцированного космическими лучами пробоя на убегающих электронах или их комбинации [3].

Модель.

Остановимся на рассмотрении особенностей электрического поля заряженного аэрозоля, обусловленных локализацией связанного заряда на взвешенных частицах. Будем предполагать, что распределение заряда на частицах имеет нормальный вид и Q - некая характерная абсолютная величина заряда частиц, которая, в свою очередь, зависит от функции распределения частиц по размерам. Для выбранного нами распределения выполняются следующие очевидные соотношения:

$\langle q \rangle = 0$, $\langle q^2 \rangle = Q^2$. Предположим также, что частицы случайно-однородно распределены в объеме облака и объемная плотность заряда $\rho(\mathbf{r})$ представляет собой пространственный белый шум, удовлетворяющий следующим соотношениям:

$$\langle \rho(\mathbf{r}) \rangle = 0, \quad \langle \rho(\mathbf{r}_1) \rho(\mathbf{r}_2) \rangle = Q^2 n \delta(\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2), \quad (1)$$

где n - концентрация облачных частиц и $\delta(\mathbf{r})$ - дельта-функция Дирака (произведение $Q^2 n$ характеризует интенсивность источника пространственного белого шума). Далее строится квазиэлектростатическое описание ансамбля внутриоблачных зарядов, основанное на выполнении следующих условий:

$$Q \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)^{-1} \gg \frac{L}{c} \quad \text{и} \quad \frac{n^{-1/3}}{u} \gg \frac{L}{c}, \quad (2)$$

где L - линейные размеры грозовой ячейки, u - характерная скорость частиц и c - скорость света.

Потенциал электростатического поля системы зарядов с пространственной плотностью $\rho(\mathbf{r})$ определяется решением уравнения Пуассона $\Delta \varphi = -4\pi \rho(\mathbf{r})$, решение которого приводит к следующему соотношению:

$$\langle \varphi^2(\mathbf{r}_1) \rangle = Q^2 n \cdot \int d^3 \mathbf{x} \frac{1}{|\mathbf{r} - \mathbf{x}|^2} = 4\pi Q^2 n \cdot r. \quad (3)$$

Окончательно

$$\langle \varphi^2(\mathbf{r}) \rangle^{1/2} = 2Q \sqrt{\pi n r}. \quad (4)$$

Результаты численного моделирования.

На рис. 1 и 2 представлено распределение нулевой эквипотенциали в системе из 3000 точечных зарядов.

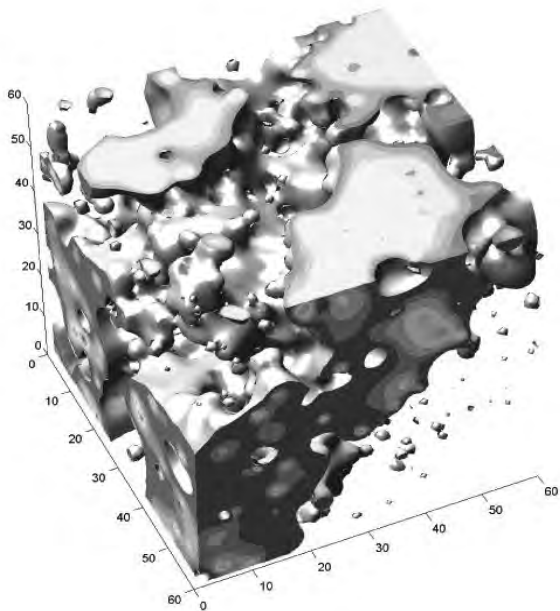


Рис. 1. Распределение положительных значений потенциала в системе из 3000 точечных зарядов

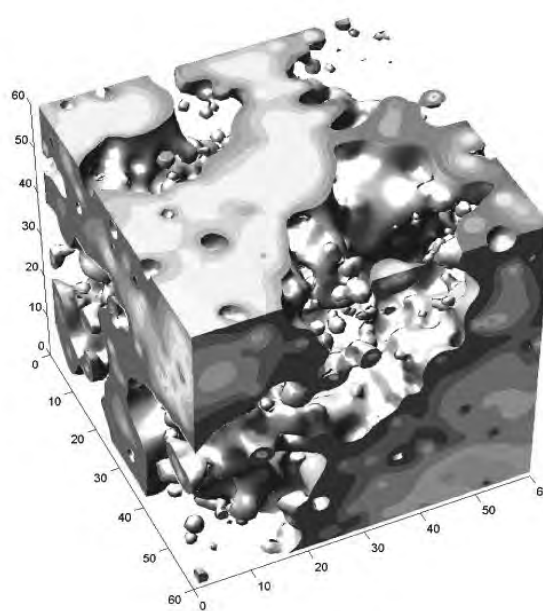


Рис. 2. Распределение отрицательных значений потенциала в системе из 3000 точечных зарядов

Видно, что пространственные структуры на рис. 1 и 2 комплементарны. Из соотношения (6) следует, что квазистатическое поле, создаваемое заряженным аэрозолем, характеризуется значительными пространственными флуктуациями и обладает свойством масштабной инвариантности. При этом среднеквадратичные флуктуации разности потенциалов между пространственно разнесенными областями системы пропорциональны корню квадратному из ее линейных размеров и могут достигать значительных величин даже в отсутствие регулярного поля. При этом интенсивность флуктуаций пропорциональна концентрации аэрозоля и квадрату характерной абсолютной величины заряда составляющих его частиц.

Настоящая работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 11-01-97028; при поддержке Министерства образования и науки РФ (ГК № 16.740.11.0488, ГК № 11.519.11.5017 и ГК № 16.518.11.7006).

Литература

1. Iudin D.I. Fractal dynamics of electric discharges in a thundercloud / D.I. Iudin, V. Yu. Trakhtengerts, and M. Hayakawa // 2003, Phys. Rev. E 68, 016601.
2. Мареев Е. А. Современные проблемы исследования грозового электричества. / Е. А. Мареев, Иудин Д.И., Трахтенгерц В.Ю., Сорокин А.Е., Шаталина М.С. // Проектирование и технология электронных средств, с.7 - 16, 2004.
3. Petersen D. A brief review of the problem of lightning initiation and a hypothesis of initial lightning leader formation / Petersen D., Bailey M., Beasley W. H., and Hallett J. // JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 113, D17205, doi:10.1029/2007JD009036, 2008.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРОЗОВОЙ И ЛИВНЕВОЙ АКТИВНОСТИ ПО ТЕРРИТОРИИ РОССИИ НА ОСНОВАНИИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА

Н.Е. Веремей, Ю.А. Довгалюк, С.В. Ефимов, В.П. Мелешко, И.М. Школьник, А.М. Носова,
А.А. Печенкин

Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова Росгидромета, Санкт-Петербург
sinkev@main.mgo.rssi.ru

На территории РФ часто наблюдается развитие кучево-дождевых облаков, сопровождающееся такими явлениями, как ливни, грозы, и др. Эти явления представляют опасность для разных отраслей хозяйства (авиация, сельское хозяйство, связь, электроэнергетика и др.), а также угрозу для жизни человека. В связи с этим изучение пространственно-временного распределения, повторяемости и интенсивности таких явлений является важной задачей.

В связи с дороговизной и сложностью натуральных экспериментальных исследований конвективных облаков эффективным средством их изучения являются численные модели.

Моделирование изменений климатических факторов на сегодняшний день выполняется с использованием моделей глобального и регионального масштабов [2, 3], в том числе ансамблей таких моделей. В них используются большие пространственные масштабы (характерные значения шагов по координатам для глобальных моделей – 100 – 200 км, для региональных – 10 – 50 км), что позволяет охватить большие территории. Однако особенностью этих моделей является параметризованный подход к описанию облачной конвекции, что не позволяет с достаточной полнотой и подробностью исследовать процессы формирования конвективных облаков, осадков и связанных с ними опасных явлений. В том числе, нет возможности получить ряд параметров облаков (высоты верхней и нижней границ, водность, ледность, радиолокационная отражаемость, интенсивность осадков и др.). Преодоление этой проблемы возможно при комплексном использовании крупномасштабных моделей с локальными моделями облачной конвекции.



Рис. 1. Схема взаимодействия МКО с моделями более крупного масштаба

В работе исследуется возможность использования локальной численной модели конвективного облака (МКО), разработанной в ГГО [1], для исследований климатических изменений грозовой и ливневой активности для территории РФ в комплексе с моделями более крупного масштаба. Данный подход применяется впервые.

Класс МКО: нестационарная, полуторамерная, с блочной структурой, с параметризованным описанием микрофизических процессов. Модель включает уравнения гидротермодинамики, записанные в приближении Буссинеска, уравнения баланса субстанций и выражения для интенсивностей микрофизических процессов (фазовые переходы, коагуляция).

Принцип совместного использования МКО с моделями более крупного масштаба состоит в следующем: крупномасштабные модели дают информацию о вертикальном распределении характеристик атмосферы (в частности, температуры и влажности) в узлах некоторой горизонтальной сетки. Последовательно вводя в МКО указанные профили, можно рассчитывать для каждого узла этой сетки параметры конвективных облаков, а затем строить их горизонтальное распределение по выбранной территории (рис.1).

В работе в качестве модели более крупного масштаба выбран реанализ ERA-40 (горизонтальное разрешение 2,5°), данные за период 1981-2000 гг. Вертикальные профили, полученные из данных ERA-40, использовались в качестве входных для МКО. Результаты расчетов содержат информацию о

распределении грозовой и ливневой активности по территории России. В качестве характеристик использовалось число дней с грозами и конвективными осадками.

На рис. 2 (слева) показано рассчитанное распределение указанных характеристик по территории России отдельно за июнь, июль и август в среднем за 1981 – 2000 гг. Из рисунков видно, что эти две характеристики хорошо коррелируют между собой.

Результаты расчетов по МКО с использованием данных реанализа ERA-40 сравнивались с данными натуральных наблюдений по станциям (суммарное число станций – 635). Аппроксимация данных расчетов из узлов сетки в точки расположения станций осуществлялась путем билинейной интерполяции. Сравнение производилось отдельно для июня, июля и августа.

В качестве критерия рассматривается величина:

$$q = \left| X_{\text{расч}} - X_{\text{нат}} \right| / X_{\text{нат}}, \%$$

где $X_{\text{расч}}$ – число дней с грозой, рассчитанное для каждой станции по результатам МКО путем аппроксимации; $X_{\text{нат}}$ – число дней с грозой для станций по данным натуральных наблюдений.

Рассчитывается число станций, для которых значение q попадает в тот или иной диапазон. На рис. 2 (справа) распределение q по диапазонам представлено в виде гистограмм. Показано, что в целом данные расчетов и натуральных наблюдений удовлетворительно соответствуют друг другу. Распределение грозовой и ливневой активности по территории России, полученное из расчетов по МКО и реанализа ERA-40, хорошо отражает распределение, наблюдаемое в действительности. Таким образом, локальная модель МКО может успешно использоваться для построения полей ливневой и грозовой активности, а также других параметров конвективных облаков.

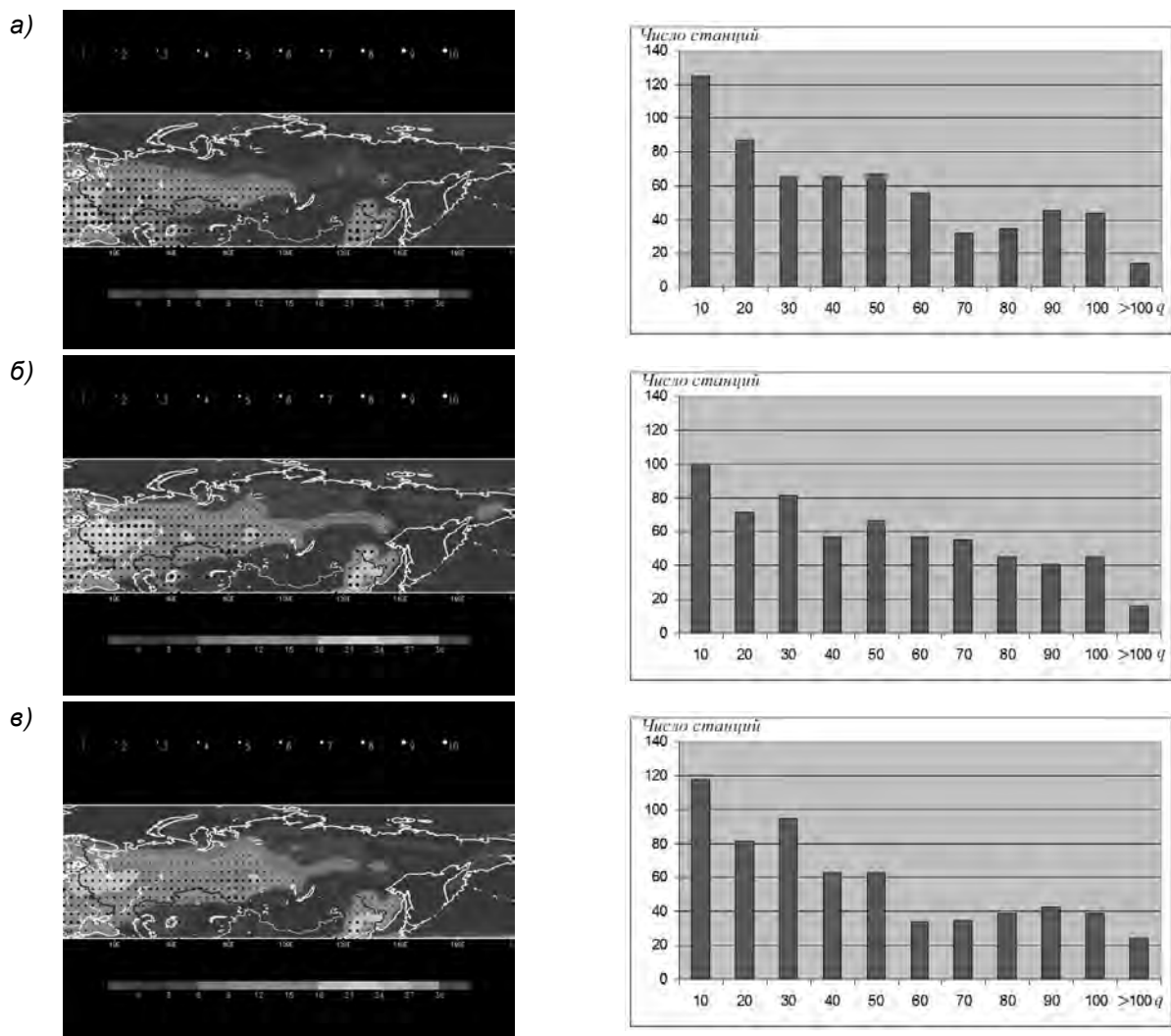


Рис. 2. Слева – среднее число дней с конвективными осадками (заливка) и с грозой (маркеры). Справа – диаграмма, показывающая сопоставление расчетных данных с натурными. а) июнь; б) июль; в) август

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, грант 10-05-00859а.

Литература

1. Довгалюк Ю.А., Веремей Н.Е., Синькевич А.А. Применение полуторамерной модели для решения фундаментальных и прикладных задач физики облаков. – СПб, 2007. – 162 с.
2. Школьник И.М., Мелешко В.П., Ефимов С.В., Стафеева Е.Н., 2012. Изменения экстремальности климата на территории Сибири к середине 21 века: ансамблевый прогноз по региональной модели ГГО. Метеорология и гидрология, 2, 5 – 23.
3. Шнееров Б.Е., Мелешко В.П. и др. Современное состояние глобальной модели общей циркуляции атмосферы ГГО (версия MGO-2) // Тр. ГГО. 2001, N 550. – С. 3 – 43.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ КОНВЕКТИВНОГО ОБЛАКА ПО ДАННЫМ ЧИСЛЕННОЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ

Н.Е. Веремей¹, Ю.А. Довгалюк¹, М.А. Затевахин², А.А. Игнатьев², В.Н. Морозов¹

1 - Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова Росгидромета, Санкт-Петербург

2 - Санкт-Петербургский НИКПИ «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ», Санкт-Петербург

sinkev@main.mgo.rssi.ru

Одной из важнейших проблем атмосферного электричества является исследование динамики электризации конвективных облаков вертикального развития.

Конвективные облака обеспечивают вертикальный перенос из нижних слоев тропосферы в ее верхние слои и вплоть до стратосферы тепла, влаги, количества движения, электрических зарядов, примесей и др. Каждое такое облако представляет собой сложный комплекс процессов разного пространственно-временного масштаба: динамика воздушных потоков, включая турбулентность; фазовые переходы влаги (в общем случае, пар, вода и лед); взаимодействие жидких и ледяных частиц между собой; электризация облачных частиц; распределение зарядов, включая разделение зарядов разных знаков и формирование сильных электрических полей. Все эти процессы происходят в паровоздушной ионизированной среде, в общем случае, содержащей газы и аэрозольные примеси. Указанные процессы тесно взаимодействуют между собой. Огромную роль в этом взаимодействии играют электрические факторы.

Исследование облаков указанных форм с учетом электрических факторов имеет большую историю. Этими проблемами занимались многие ведущие ученые, как метеорологи, так и физики.

С развитием конвективных облаков связан целый ряд опасных явлений: ливни; грозы; град; шквалы; смерчи. Последствиями этих явлений бывают: гибель людей; уничтожение и повреждение хозяйственных объектов, жилища и имущества; перебои в электроснабжении и связи; угроза безопасности полетов летательных аппаратов и др. В связи с этим изучение электризации конвективных облаков имеет не только фундаментальное, но и прикладное значение.

Исследования электризации конвективных облаков подразделяются на три основных направления: 1) лабораторные; 2) натурные; 3) теоретические. Последние можно подразделить на аналитические физические исследования и численное моделирование. Все указанные разделы развиваются в тесной взаимосвязи друг с другом.

Авторы подробно остановились на численном моделировании конвективных облаков, в том числе их электризации. В настоящее время это направление развивается особенно бурно. Это связано с развитием численных методов и электронно-вычислительной техники.

Возможности численного моделирования конвективных облаков:

1. Учет всего спектра физических процессов в облаке (динамических, микрофизических, электрических и др.).
2. Проведение неограниченного количества численных экспериментов по исследованию влияния различных факторов на формирование электрической структуры облака на разных стадиях его развития. В том числе, путем варьирования различных параметров при прочих равных условиях.
3. Относительная дешевизна по сравнению с лабораторными и натурными исследованиями.
4. Безопасность (особенно, в сравнении с самолетными экспериментами).

Модели могут быть классифицированы:

1. По размерности пространства (нуль-мерные, одномерные, двумерные, трехмерные).
2. По учету времени (стационарные, нестационарные).
3. По способу описания динамики воздушных потоков (полное решение системы уравнений Навье-Стокса; введение тех или иных приближений, например, приближения Буссинеска).
4. По способу описания микрофизических процессов (детальное и параметризованное).
5. По наличию учета электрических процессов.

ГГО имеет многолетний опыт разработки и реализации моделей конвективных облаков разного класса и разной степени сложности [2].

В настоящее время ведется разработка и реализация новой модели конвективного грозового облака. В соответствии с состоянием вопроса в области численного моделирования облачной конвекции была выбрана модель следующего класса:

1. Нестационарная, трехмерная, негидростатическая, охватывает достаточно полный спектр основных динамических, микрофизических и электрических процессов).
2. Используются полные уравнения движения Навье-Стокса для сжимаемой среды.
3. Учет электрических процессов, происходящих в облаке в результате фазовых переходов, а также взаимодействия частиц с атмосферными ионами и друг с другом.
4. Предполагается, что облако является трехфазным и состоит из 5 субстанций (водяной пар, облачные капли, дождевые капли, облачные ледяные кристаллы, градины). Описание микрофизических процессов осуществлено в параметризованном виде, т.е. в модели используются и

исследуются третьи моменты функций распределения частиц по размерам (водность, ледность). Скорости микрофизических процессов рассчитываются по параметрическим формулам.

5. В паровоздушной среде содержатся ионы обоих знаков. Все твердые и жидкие частицы, в общем случае, несут на себе электрический заряд.

6. Модель имеет блочную структуру.

Основа этой модели (базовая модель) была разработана совместными усилиями ГГО, ЦАО, ВГИ, НПО «Тайфун», АНО «АТТЕХ» (2008 – 2010 гг.).

Система уравнений включает уравнения движения (3 составляющих), неразрывности, баланса энергии, состояния, переноса субстанций (массы и электрических зарядов), а также уравнение Пуассона для расчета напряженности электрического поля. Система дополнена параметрическими выражениями для источников и стоков массы и электрического заряда [1].

В качестве начальных условий используются данные о вертикальном распределении температуры, влажности и концентрации ионов обоих знаков в невозмущенной фоновой атмосфере. Граничные условия: нижняя граница – плоскость симметрии, боковые и верхняя границы – открытые.

Концепция численного решения задачи: расщепление по физическим процессам. Для уравнений движения, неразрывности, энергии используется схема МакКормака (предиктор, корректор), для уравнений переноса субстанций – противопоточная схема 1-го порядка. Их использование дает возможность реализовывать полную численную модель при малом времени счета.

Система координат: прямоугольная, декартова. Характерные значения шагов: по координатам – 100 – 200 м; по времени – 0,1 – 1 с.

В качестве примера приведем расчеты для случая температурно-влажностного строения атмосферы, характерного для дней с грозой на Северо-Западе РФ. На рис.1 приведены профили объемной плотности заряда и напряженности электрического поля в вертикальном сечении XZ (момент времени соответствует предгрозовой стадии). Из рисунков видно, что зарядовая структура облака является трехполюсной, что соответствует реально наблюдаемым данным.

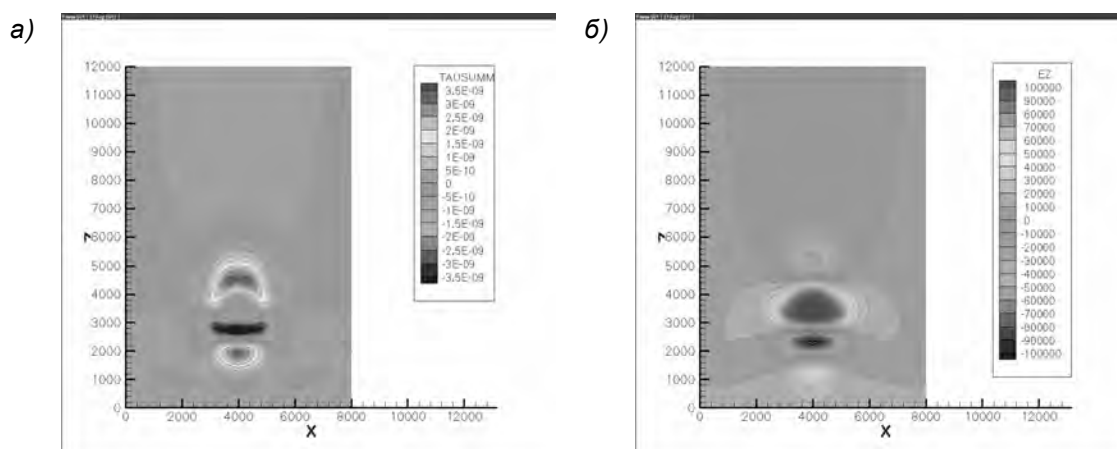


Рис.1. Вертикальные профили объемной плотности заряда (а) и напряженности электрического поля (б) на предгрозовой стадии эволюции облака.

Модель позволяет подключать новые блоки, например, описывающие активные воздействия на конвективные облака и осадки, в том числе на процессы электризации.

Основные перспективы развития модели: 1) уменьшение времени счета путем оптимизации пакета программ, распараллеливания вычислений и перехода на более быстродействующую ЭВМ; 2) проведение тестирования модели с использованием данных о вертикальном строении атмосферы в различных регионах; 3) уточнение микрофизического блока в части формирования твердой фазы, а также учета взаимосвязи фазовых переходов, взаимодействия частиц и процессов электризации.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, грант 10-05-00859а.

Литература

1. Довгалюк Ю.А., Веремей Н.Е., Владимиров С. А., Дрофа А.С., Затевахин М.А., Игнатъев А.А., Морозов В.Н., Пастушков Р.С., Синькевич А.А., Стасенко В.Н., Степаненко В.Д., Шаповалов А.В., Щукин Г.Г. 2008. Концепция разработки трехмерной модели осадкообразующего конвективного облака. Часть I. Структура модели и основные уравнения гидротермодинамического блока // Тр. ГГО, Вып. 558. С. 102 – 142.
2. Довгалюк Ю.А., Веремей Н.Е., Синькевич А.А. Применение полуторамерной модели для решения фундаментальных и прикладных задач физики облаков. – СПб.: Издательство «Астерион», 2007. – 162 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГРОЗОВЫЕ КУЧЕВО-ДОЖДЕВЫЕ ОБЛАКА ГИГРОСКОПИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ С ЦЕЛЮ ПОЛУЧЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОСАДКОВ

С.А. Владимиров¹, Р.С. Пастушков²

1 - ФГБУ Центральная аэрологическая обсерватория

2 - Московский физико-технический институт (государственный университет); ФГБУ Центральная аэрологическая обсерватория
vlaser@mail.ru

В настоящее время группа институтов Росгидромета (ВГИ, ГГО, НПО «Тайфун», ЦАО) производит доработку существующей версии численной модели мощного кучево-дождевого облака [1, 3, 4] в части учёта влияния на его развитие облачных электрических процессов. Соисполнителями, помимо участия в отладке и верификации базовых блоков ГГО (гидродинамического, микрофизического, электризации), было разработано несколько дополнительных блоков, включая блоки активных воздействий (АВ) кристаллизующими и гигроскопическими реагентами.

Двойной целью настоящей работы было с одной стороны продолжить на новом уровне начатые в 90-х годах исследования АВ на конвективную облачность гигроскопическими веществами [5–7, 9–13], но используя при этом современную численную модель мощного кучево-дождевого облака, а с другой – начать изучение возможной зависимости результатов АВ от его электрического состояния.

Основная трудность при разработке блоков АВ обусловливается отсутствием в общей модели концентрации облачных капель. В результате при разработке первого варианта модели АВ ЦАО пришлось использовать существующую лагранжеву модель [2].

Для этого варианта модели АВ необходимо разделение состояния атмосферы на четыре категории: с незначительной концентрацией облачных ядер конденсации (ОЯК) (не более 10^2 см^{-3}), с пониженной (от 10^2 см^{-3} до $5 \cdot 10^2 \text{ см}^{-3}$), с повышенной (от $5 \cdot 10^2 \text{ см}^{-3}$ до 10^3 см^{-3}) и с очень высокой (свыше 10^3 см^{-3}).

Для каждого из этих состояний атмосферы устанавливаются свои параметры параметризации микрофизических процессов.

Второй вариант модели АВ основан на непосредственном вычислении насыщающей упругости водяного пара над каплями раствора гигроскопических веществ.

Далее (рис 1, рис 2) приведены результаты численных экспериментов, выполненных для континентальных условий с концентрацией ОЯК более 10^2 см^{-3} . За основные параметры, характеризующие развитие облачной конвекции как при естественных условиях её развития, так и при АВ по первой из упомянутых моделей, были приняты интенсивность осадков, их продолжительность и общее количество выпавших осадков.

Было проведено три серии численных экспериментов: первая базовая с отключённым блоком электризации, вторая с подключением последней его

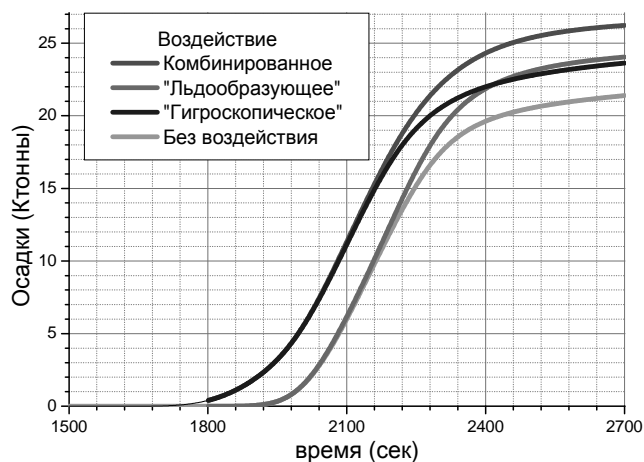


Рис.1. Временная зависимость количества осадков при повышенной концентрации ОЯК для случаев без АВ (нижний график), при гигроскопическом АВ (при $t = 2700$ с второй снизу график), при льдообразующем АВ (при $t = 2700$ с третий снизу график) и при комбинированном АВ (верхний график).

версии и третья с некоторыми вариациями микрофизических констант этого блока, моделирующими усиленную их зависимость от электрического состояния облака (напряжённости электрического поля и зарядов гидрометеоров). Каждая серия состояла из двух частей: естественное развитие облачной конвекции и при некотором варианте АВ гигроскопическим или льдообразующим (или при комбинированном способе). Необходимость третьей серии возникла в результате получения достаточно неожиданного результата первых двух: практической независимости характеристик облака и осадков от электрического его состояния. Полученные при этом результаты от представленных на рис. 1, 2 оказались графически неотличимыми. В то же время в третьей серии удалось получить достаточно заметный эффект.

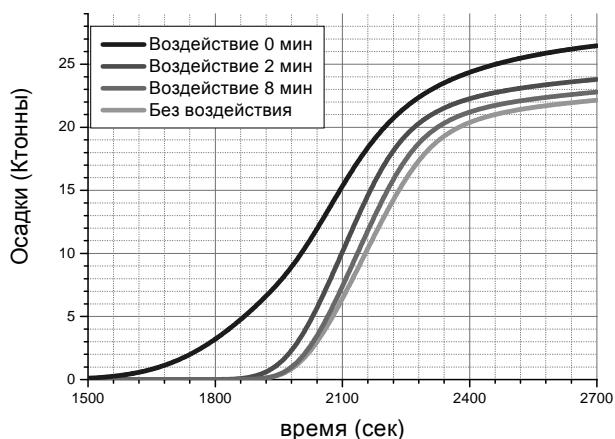


Рис.2. Временная зависимость количества осадков при различных моментах гигроскопического АВ в подоблачном слое. Без АВ (нижний график), АВ на восьмой минуте после возникновения облака (второй снизу график), АВ на второй минуте (третий снизу график), АВ при первом появлении облачных капель

Отметим, что с нашей точки зрения этот результат, носящий скорее методический, нежели физический смысл вполне согласуется с независимо полученным при решении других аналогичных задач [8].

Таким образом, полученные нами предварительные результаты можно свести к следующим.

В существующей версии модели кучево-дождевого облака, учитывающей электрические процессы, акцент сделан на исследование собственно электризации облака, нежели чем на учёт взаимодействия его гидродинамического, микрофизического и электрического состояний.

Необходима доработка модели в части более полного учёта влияния напряжённости электрического поля и зарядов гидрометеоров на учитываемые в ней микрофизические процессы.

Ориентировочный эффект, измеренный, например, по количеству осадков, может составить 20-30 %.

Литература

1. Веремей Н.Е., Довгалюк Ю.А., Морозов В.Н. О параметризации микрофизических процессов электризации в трёхфазной модели конвективного облака // МиГ. – 2007, – №10. – С. 42–54.
2. Владимиров С.А. Численное моделирование воздействия на процесс образования осадков в конвективных облаках с помощью засева гигроскопическими аэрозолями // МиГ. – 2005, – № 1
3. Довгалюк Ю.А. и др. Концепция разработки трёхмерной модели осадкообразующего конвективного облака. Часть 1 // Тр. ГГО. – 2008. Выпуск 558, . – С 102–142.
4. Довгалюк Ю.А. и др. Концепция разработки трёхмерной модели осадкообразующего конвективного облака. Часть 2 // Тр. ГГО. – 2010. Выпуск 562, – С. 110–143.
5. Дрофа А.С. Численное моделирование воздействия гигроскопическими частицами на тёплое конвективное облако // Изв. РАН, ФАО. – 2007. Т. 43, – № 5, – С. 623–635.
6. Дрофа А.С. Исследование возможности стимулирования гигроскопическими частицами осадков из тёплых конвективных облаков по результатам численного моделирования // Изв. РАН, ФАО. – 2008. Т. 44, – № 4. – С. 435–449.
7. Дрофа А.С. Исследование воздействия гигроскопическими частицами на конвективное облако по результатам численного моделирования // Изв. РАН, ФАО. – 2010. Т. 46, – № 3. – С 1–11.
8. Пастушков Р.С. Опыт использования базовых блоков ГГО для численного моделирования активных воздействий на грозное кучево-дождевое облако льдообразующими веществами // Настоящий сборник.
9. Cooper W.A., Brientjes R.T., Mather G.K. Some calculations pertaining to hygroscopic seeding with flares // J. Appl. Met. – 1997. – V. 36, No 11. – P. 1449–1469.
10. Drofa A.C. et al. Studying an effect of salt powder seeding used for precipitation enhancement from convective clouds // Atmos. Chem. Phys. – 2010. – V. 10. – P. 8011–8023.
11. Mather G.K. et al. Results of South Africa cloud-seeding experiments using hygroscopic flares // J. Appl. Met. – 1997. – V. 36, No 11. – P. 1435–1447.
12. Silverman B.A., Sukamjanaset W. Result of the Thailand warm-cloud hygroscopic particle seeding experiment // J. Appl. Met. – 2000. – V. 39, No 7. – P. 1160–1175.
13. Yin Y. et al. Seeding convective clouds with hygroscopic flares: Numerical simulation using a model with detailed microphysics // J. Appl. Met. – 2000. – V. 39, No 11. – P. 1460–1472.

РОЛЬ ГРОЗ В ВОЗНИКНОВЕНИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ЮГО-ВОСТОКЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В.П. Горбатенко, А.А. Громницкая, О.В. Нечепуренко
Томский Государственный Университет
vpgor@tpu.ru

Лесные пожары могут возникать как по вине человека, так и по естественным причинам, к которым относят такие метеорологические параметры, как температура и влажность воздуха, скорость ветра, грозовая активность и другие параметры.

Целью настоящей работы является определение роли грозовой активности в возникновении лесных пожаров на юго-востоке Западной Сибири.

Для достижения поставленной цели была изучена динамика повторяемости лесных пожаров на примере Томской авиабазы, филиала ФГУ «Авиалесоохрана» за период с 1992 по 2011 г. и пространственное расположение пожаров на этой же территории по данным спектрорадиометра MODIS, спутников программы EOS (Earth Observation System). Временные и пространственные особенности распределения лесных пожаров сравнивались с характеристиками грозовой активности, средними значениями температуры воздуха и осадков за летний период, распределением видов растительности.

Лесные пожары могут возникать как по вине человека, так и по естественным причинам, к которым относят такие метеорологические параметры, как температура и влажность воздуха, скорость ветра, грозовая активность и другие параметры. Согласно данным Томской базы авиационной охраны лесов, наиболее крупные пожары, причиняющие наибольший ущерб, обычно возникают вне зон авиапатрулирования леса. Борьба с такими пожарами труднее всего, так как к моменту обнаружения они занимают значительную площадь. Кроме того, их ликвидация требует больших материальных затрат. Однако расширение площади авиапатрулирования невозможно из-за недостатка финансирования. Поэтому основная проблема лесных пожаров в Томской области заключается в организации эффективной охраны лесов на обширных малонаселенных территориях при очень скромных возможностях государственных субсидий. Оценка роли климатических факторов и их изменчивости в процессах возникновения и распространения лесных пожаров способствует повышению эффективности охраны лесов, поскольку позволяет заблаговременно оценить степень пожароопасности того или иного района. За период 1992 - 2011 гг. на территории Томской области зарегистрировано 4 853 пожара, охвативших леса на территории 1989км², при общей площади области в 316,9 тысяч км². Анализ данных показал, что число лесных пожаров во временном ходе

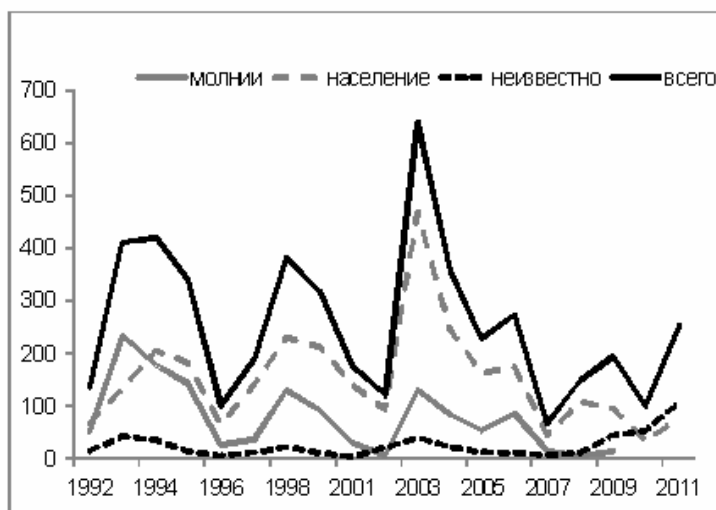


Рис. 1 Число лесных пожаров

(рис.1) имеет квази шестилетнюю периодическую составляющую, которая подтверждена при помощи автокорреляционной функции. Конечно, основная часть пожаров возникла по вине населения и составила 73,4 % от общего количества. Число пожаров из-за гроз составило около 20%. Однако если говорить о площади, выгоревшей в результате лесных пожаров, то можно утверждать, что пожары, возникшие от грозы самые опасные [1]. Коэффициент корреляции между общей площадью лесных массивов, пройденных пожарами, и числом молний в землю достаточно высок и статистически значим.

Это обусловлено тем, что такие пожары поздно обнаруживаются и огонь успевает охватить огромные площади. Следовательно, пожары, возникшие по вине гроз, представляют наибольшую опасность для тайги. Учитывая тот факт, что грозовой активности характерен суточный и сезонный ход [2], это можно учитывать при авиапатрулировании. В суточном ходе максимум грозовой активности приходится на 15-17 часов местного времени, следовательно, авиапатрулирование в вечернее время позволит оперативно выявить новый очаг пожаров, возникший в результате грозы. В сезонном ходе максимум грозовой активности приходится на июль месяц. Следовательно, повышенные затраты на авиапатрулирование отдаленных лесных массивов в июле должны быть спланированы заранее.

Пространственное распределение грозовой активности (рис.2) позволяет выделить территории, где грозы наблюдаются гораздо чаще, чем над соседними. Для того чтобы проанализировать пространственное распределение лесных пожаров на территории области, мы воспользовались информацией с метеорологического спутника [3]. Информация спектрорадиометра MODIS передается на наземные станции непрерывно с временным разрешением – 4 раза в сутки, шириной полосы обзора – 2300 км. Пространственное разрешение 1 км дает возможность выявить очаг пожара площадью от одного гектара.

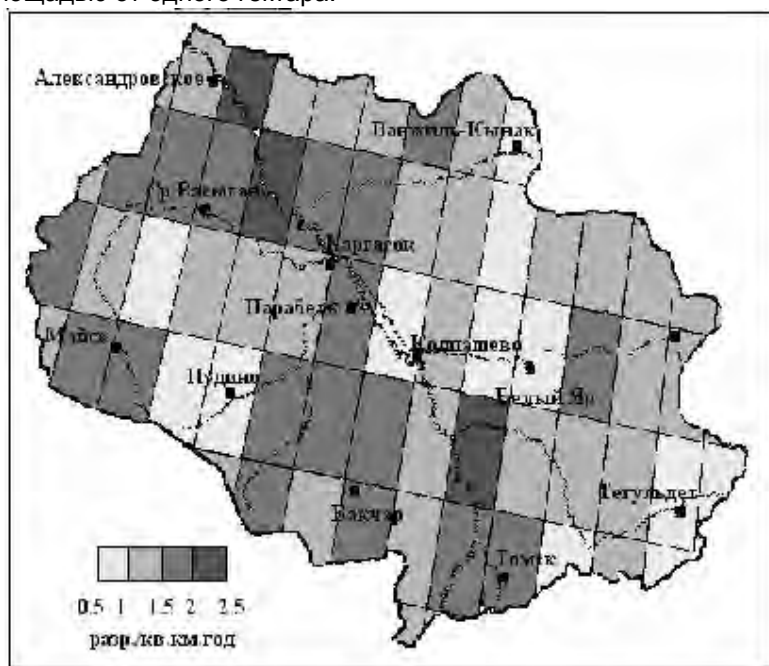


Рис. 2. Средняя плотность разрядов молнии в землю по Томской области

Замечено, что наибольшее число лесных пожаров приходится не только на территории расположенные вблизи населенных пунктов. Много их замечено и на территориях с повышенной грозовой активностью. Наблюдается пространственное совпадение очагов повышенной грозовой опасности и числа лесных пожаров в пределах сетки разбивающей территорию области с интервалом в 1° по широте и долготу. Справедливости ради заметим, что наибольший коэффициент корреляции между числом лесных пожаров и климатическими характеристиками получен для количества осадков, выпадающих за пожароопасный сезон (- 0,54 для 54 ячеек сетки). Достаточно высок и статистически значим с распределением средних по территории значений

температуры воздуха (0,38) и характером растительности (0,39). В то же время все эти характеристики достаточно часто совпадают с пространственным распределением грозовой активности. Поэтому несомненно, что картированная информация о пространственном расположении очагов повышенной грозовой активности, полученная на основе грозопеленгации, могла бы оптимизировать авиапатрулирование. Однако имеющиеся сегодня результаты исследования грозовой активности и обнаруженные закономерности временных и пространственных закономерностей ее изменений позволяют планировать оптимальный режим авиапатрулирования.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 11-05-98009).

Литература

1. В. П. Горбатенко, Т. В. Ершова //Роль климатических факторов в возникновении лесных пожаров на территории Томской области. *Сибирский экологический журнал*, 2006, № 2, т. 13, с. 151-155.
2. Дульзон А.А. Результаты исследования грозовой активности над территорией томской области / А.А. Дульзон, В.П. Горбатенко, - Томск: НИИ высоких напряжений ТПУ.
3. NASA пожарной информация для ресурса системы управления (ФИРМЫ) [Электронный ресурс] / – Электр. Дан. – НАСА, Университет штата Мэриленд, 2011. – URL: <http://firefly.geog.umd.edu/firms/> (дата обращения 04.06.2011).

ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ НАД ЗАПАДНОЙ СИБИРЬЮ И АЛТАЕМ

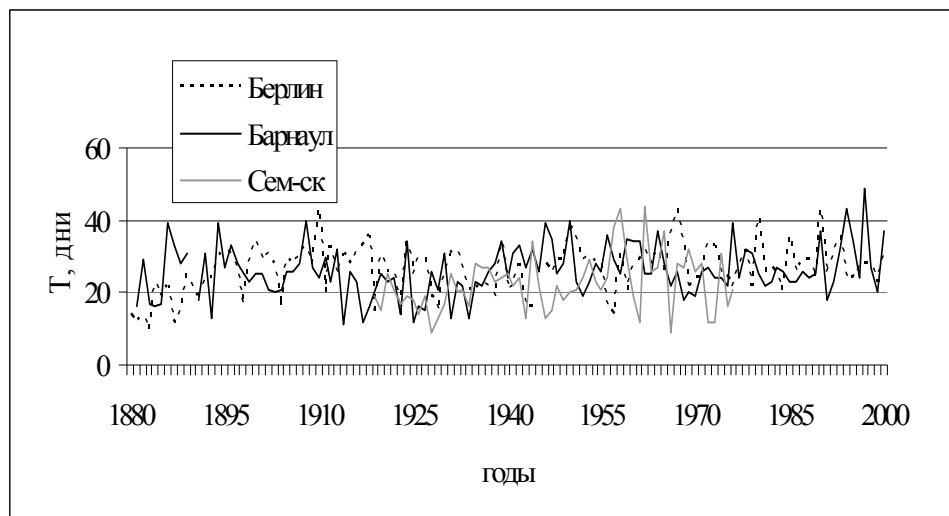
В.П. Горбатенко¹, Д.А. Константинова²

1 - Томский государственный университет, г.Томск, Россия

2 - Томский политехнический университет, г.Томск, Россия

vpgor@tpu.ru

В связи с проблемой глобального изменения климата, вопрос об изменении повторяемости экстремальных погодных явлений, таких как гроза, град, ливень и сильный ветер становится особенно актуальным. Для строительных, энергетических и страховых компаний особое значение имеет изменение повторяемости гроз, поскольку именно грозы создают множество проблем в работе этих компаний. При решении задач мониторинга грозовой активности, анализ многолетних данных визуальных наблюдений над грозами на сегодняшний день не имеет альтернативы.



Целью настоящей работы является исследование периодической структуры многолетних рядов числа дней с грозой над территориями различными по своему географическому положению: юго-восток Западной Сибири и Алтай, Европа. Для исследований использованы данные метеорологических станций за период 1880-2011 гг.

Рис. 1. Число дней с грозой (Т) по данным метеорологических станций Барнаул, Берлин, Семипалатинск.

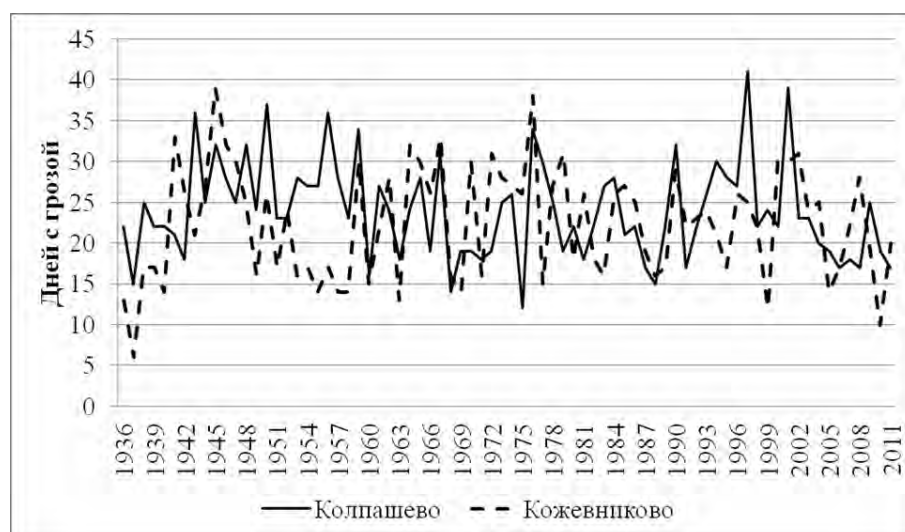


Рис. 2. Грозовая активность над юго-востоком Западной Сибири.

Анализируя изменчивость характеристик грозовой активности, климатологи различных стран пытаются объяснить ее либо естественными причинами, либо ошибками в наблюдениях, либо наличием антропогенных влияний на характеристики атмосферного электричества. В 20 веке максимальные значения грозовой активности (над северным полушарием) отмечались в 50-60 гг. После этого, почти до

середины 80-х, наблюдалось повсеместное уменьшение грозовой активности [1, 3]. Вопрос о том, было ли это проявлением естественной изменчивости изучаемой характеристики, либо это результат неизученных закономерностей остается открытым.

Тот факт, что синхронные изменения грозовой активности наблюдаются в глобальном масштабе, например, над северным полушарием Земли в целом (рис. 1) свидетельствует о существенном влиянии внешних факторов, возможно космического масштаба.

По результатам анализа температурного режима Сибири выявлены районы, где скорость потепления превышает $0,5^{\circ}\text{C}/10$ лет [2], т.е. на порядок больше, чем для Северного полушария Земли в целом. Поскольку грозовая активность является характеристикой конвективного потенциала региона, зависящего в большой степени от температуры воздуха, особый интерес представляет динамика грозовой активности в последние десятилетия. На рисунке 2 представлен многолетний ход грозовой активности для двух станций Западной Сибири. На фоне наличия значительной межгодовой изменчивости, направленных тенденций в грозовой активности последних десятилетий не наблюдается.

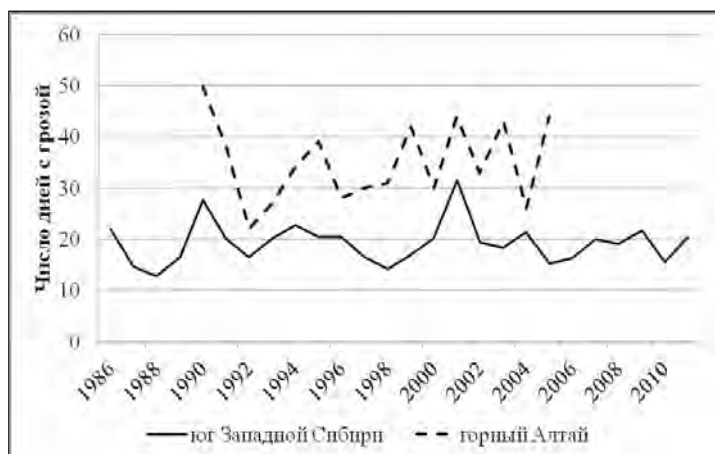


Рис. 3. Изменчивость грозовой активности.

Также представлен многолетний ход грозовой активности над юго-востоком Западной Сибири (средние значения по 6 станциям): и над территорией горного Алтая (станция Алтай, расположенная на территории КНР) (рис. 3). На фоне наличия значительной межгодовой изменчивости, направленных тенденций в грозовой активности последних десятилетий не наблюдается. В то же время, различия в уровне грозовой активности над горной территорией Алтая (рис. 3) и его относительно равнинной территорией (рис.1, Барнаул) достаточно велики и составляют более 10 дней, а в отдельные годы достигают и 20 дней.

В результате проведенных исследований, мы можем утверждать:

1. В рядах грозовой активности обнаруживаются циклы разной продолжительности, но совпадают по продолжительности, в основном, долгопериодные.
2. Направленных тенденций в изменении уровня грозовой активности над Сибирью, в районе заметного повышения средних годовых температур воздуха, не выявлено.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (грант 11-05-98009-р_сибирь_а).

Литература

- Горбатенко В. П., Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В., Решетько М. В., Таранюк М.И. Анализ структуры временных рядов повторяемости форм атмосферной циркуляции и грозовой активности // Оптика атмосферы и океана. 2002 - 15. - № 8. - С. 693-697.
- Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В., Харюткина Е.В. Структура и динамика метеорологических полей на азиатской территории России в период интенсивного глобального потепления 1975-2005гг. // Журнал Сибирского Федерального университета, 2008, 1(4), С. 323-344.
- Changnon S.A., Secular Variations in Thunder-Day Frequencies in the Twentieth Century, Journal of Geophysical Research, 90, D4, 6181-6194, 1985.

ВОЗМОЖНОСТИ СПЕКТРОРАДИОМЕТРА MODIS ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ГРОЗ

В.П. Горбатенко¹, С.Ю. Кречетова²

1 - Томский Государственный Университет

2 - Горно-Алтайский Государственный Университет

vpgor@tpu.ru

Опасные явления погоды, среди которых ливни, грозы, град, шквалы, наносят ощутимый ущерб экономике, поэтому изучение условий их образования и возможность улучшения качества их прогноза являются актуальными задачами метеорологии. Эти явления погоды связаны с зонами активной конвекции и относятся к мезомасштабным метеорологическим явлениям. Они образуются в результате сложного взаимодействия атмосферных процессов синоптического масштаба и подстилающей поверхности. Известно, что горизонтальные размеры конвективных зон во много раз меньше расстояния между метеорологическими станциями, на которых они наблюдаются. Сравнительно невелика и продолжительность этих явлений. Все это определяет трудности в регистрации, изучении и в прогнозировании опасных явлений погоды, связанных с зонами активной конвекции. На основе существующих методов прогноза гроз, града, шквалов, невозможно в высокой вероятностью предсказать их пространственную локализацию.

С выводом на полярную солнечно-синхронную орбиту в феврале 2000 года пилотной платформы Terra начали поступать данные, необходимые для восстановления ключевых параметров структуры атмосферы. Возможность принимать в режиме реального времени данные центрального прибора этого спутника – 36-канального спектрорадиометра MODIS – позволила начать региональный мониторинг атмосферы и подстилающей поверхности на качественно новом уровне. В перечень продуктов, создаваемых по данным MODIS, входит продукт MOD07_L2 (Atmosphere Profile Product), в котором содержатся ряд характеристик атмосферы, включая профили температуры и влажности и индексы TOTL и LIFT, характеризующие степень неустойчивости атмосферы [1]. Те же индексы, рассчитываемые по результатам аэрологического зондирования, широко используются в негидростатических мезомасштабных моделях (MM5, WRF) для прогноза развития грозы, града, шквала и других опасных явлений погоды [2-5].

Целью настоящей работы является сравнение значений индексов неустойчивости Lift, Show, K и Total totals, полученных с помощью спектрорадиометра MODIS, установленного на космических платформах EOS AM-1 (Terra) и рассчитанных по данным аэрологического зондирования для дней, когда метеорологическими станциями исследуемой территории были зарегистрированы грозы. В процессе выполнения работы была разработана схема извлечения данных продукта MOD07_L2 для точки с заданной координатой с помощью специализированных программ.

В качестве реперных точек для проведения сравнительного анализа характеристик атмосферы в дни с грозой были выбраны территории возле аэрологических станций Колпашево (Томская область) и Новосибирск. Для анализа брали значения характеристик атмосферы в пикселе размером 5*5 км, в который попадает исследуемая станция. Маркером наличия мощной конвекции послужили грозы, зарегистрированные наблюдателями на метеорологических станциях, расположенных в непосредственной близости от аэрологических станций.

Интенсивность развития конвективных вертикальных движений определяется, в основном, стратификацией температуры воздуха. Эту характеристику состояния атмосферы до уровня 500 гПа отражают значения индекса LIFT:

$$LIFT = T_{500} - T_{\text{parcel}}, \quad (1)$$

где: T_{500} – температура окружающей среды на уровне 500 гПа (°C); T_{parcel} – температура частицы на уровне 500 гПа, поднявшейся с уровня 500 метров над земной поверхностью при среднем давлении, температуре и точке росы (°C).

Степень развития вынужденной конвекции при влажнонеустойчивой стратификации атмосферы, зависит от толщины влажнонеустойчиво стратифицированных слоев. Заметим, что наличие таких слоев является необходимым условием для развития опасных конвективных явлений. Поэтому вторую группу индексов представляют индексы, в которых кроме стратификации температуры, присутствуют характеристики влажности, например, Total Totals index (TOTL):

$$TOTL = (T_{850} - T_{500}) + (TD_{850} - T_{500}), \quad (2)$$

где: T_{500} – температура окружающей среды на уровне 500 гПа (°C); T_{850} – температура на уровне 850 гПа (°C); TD_{850} – температура точки росы на уровне 850 гПа (°C).

Точность измерения температуры при аэрологическом зондировании не одинакова по высоте, но не менее 2 °С, а характеристик влажности около 20%. Ошибка измерений спектро радиометром MODIS температурного профиля не превышает 1,9° С, температуры точки росы – 4° С.

Состояние атмосферы исследовалось в дни с грозами, зарегистрированными в окрестностях метеорологических станций Колпашево и Новосибирск за летний сезон 2009-2011 гг. Для каждого из грозных дней были рассчитаны значения индексов неустойчивости TOTL и LIFT как по данным аэрологического зондирования за стандартные сроки наблюдений, так и по данным спектро радиометра MODIS, близким к этим срокам.

Сравнительный анализ значений аэрологического и спутникового мониторинга проводился на основе расчета рангового коэффициента корреляции Спирмена, t-критерия Стьюдента и непараметрического критерия Вилкоксона для зависимых выборок.

В результате исследований получено, что данные спутникового зондирования достаточно хорошо описывают термодинамическое состояние атмосферы в дни с грозой. Это подтверждается хорошей согласованностью значений индексов, характеризующих неустойчивость атмосферы при условии разницы во времени между спутниковым и аэрологическим зондированием не более 0,5 часа. Следовательно, очаги пространственной локализации гроз можно достаточно надежно выявлять по спутниковым данным MODIS. Заметим, что MODIS позволят обнаружить как кластеры конвективных грозных ячеек, связанных с линией фронта, так и отдельные ячейки. Если прогноз гроз по данным аэрологического зондирования дополнять картиной пространственного распределения значений LIFT и TOTAL, то можно формулировать детализированный по местности прогноз.

Однако по техническим причинам на сегодняшний день с помощью ИСЗ можно определять пространственную локализацию грозных ячеек не более чем в 66% от всех дней с грозой. Это не плохой результат, поскольку сегодня информация о пространственной локализации гроз в оперативном прогнозе погоды для территории России отсутствует.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 12-05-90705).

Литература

1. Лагутин А. А., Никулин Ю. А., Жуков А. П., Лагутин Ал. А., Резников А. Н., Синицин В. В., Шмаков И. А. Математические технологии оперативного регионального спутникового мониторинга характеристик атмосферы и подстилающей поверхности Ч 1 MODIS // Вычислительные технологии, т.12, №2, 2007г, с.67-89.
2. Sholwalter A.K. A stability index for thunderstorm forecasting // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1953. 34. P. 250–252.
3. Andersson, T., Andersson M., Jacobsson C., Nilsson S., Thermodynamic indices for forecasting thunderstorms in southern Sweden, Meteorol. Mag., 116, P. 141-146, 1989.
4. Schulz P. Relationships of several stability indices to convective weather events in northeast Colorado, Wea. Forecasting, 4, P. 73-80, 1989.
5. Горбатенко В.П., Константинова Д.А., Золотухина О.И., Тунаев Е.Л. Термодинамические условия формирования мезомасштабной конвекции в атмосфере Западной Сибири // Известия ВУЗов. Физика. Том 54, 2011, №11/3, стр.148-156.

ПЫЛЕВАЯ ПЛАЗМА ВЕТРОПЕСЧАНОГО ПОТОКА

Г.И. Горчаков, А.В. Карпов, В.М. Копейкин, Д.В. Бунтов, Г.А. Курбатов
 Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва
 gengor@ifaran.ru

На опустыненных территориях ветропесчаный поток создает разнообразные формы ландшафта [5]. Через ветропесчаный поток осуществляется взаимодействие между атмосферой и подстилающей поверхностью. Под воздействием ветропесчаного потока на подстилающей поверхности генерируется поступающий в атмосферу минеральный аэрозоль. Важной особенностью ветропесчаного потока является аномально высокая электризация [1].

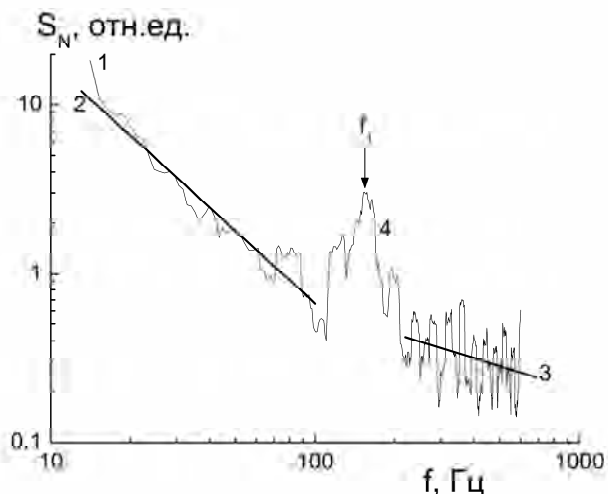


Рис. 1. Спектральная плотность мощности (1) флуктуаций суммарной концентрации песчинок, сальтирующих в нижнем слое толщиной около 40 мм. Обозначения: степенная аппроксимация (2) спектра в диапазоне частот меньше 100 Гц (показатель степени – 1.43), степенная аппроксимация (3) спектра в диапазоне частот больше 200 Гц (показатель степени – 0.47), область спектрального максимума (4) и модальная частота ($f_1 \cong 160$ Гц) спектрального максимума.

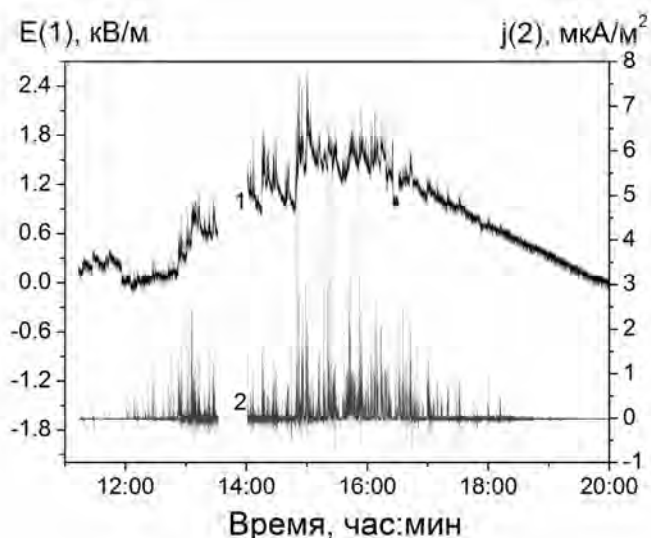


Рис. 2. Напряженность электрического поля (1) на высоте 2.5 см и плотность электрического тока сальтации (2) на высоте 2.0 см по данным измерений 15.08.2009 на опустыненной территории в государственном заказнике "Пески Берли" (Харабалинский р-н Астраханской обл.).

Все процессы переноса в ветропесчаном потоке существенно нестационарны. Поэтому параметры сальтации и, в том числе, электрические токи необходимо измерять с высоким временным разрешением. По данным комплексных измерений на опустыненных территориях в Астраханской области определена пороговая скорость генерации электрических токов сальтации с временным разрешением 1 секунда, выполнены синхронные измерения функции распределения песчинок по размерам [2] в нижнем и верхнем слоях сальтации, оценены скорости выноса в атмосферу минерального аэрозоля, генерируемого на подстилающей поверхности под воздействием ветропесчаного потока.

По данным скоростной видеосъемки [3] построены траектории и решена обратная задача динамики сальтирующих песчинок. Анализ временной изменчивости концентрации сальтирующих песчинок показал, что в ветропесчаном потоке заметную роль играет стохастическая резонансная сальтация (рис. 1). Электрические токи сальтации были впервые зарегистрированы нами в 2005 г. [1]. В последующие годы были выполнены совместные измерения электрических токов сальтации (рис. 2 и рис. 3) и напряженности электрического поля в приповерхностном слое атмосферы. Наблюдаемая модуляция напряженности поля расположенными вблизи подстилающей поверхности токами сальтации дает возможность оценить в рассматриваемых случаях (рис. 2 и рис. 3) как плотность поверхностного заряда, так и среднюю плотность объемного заряда в приповерхностном слое атмосферы во время сальтации.

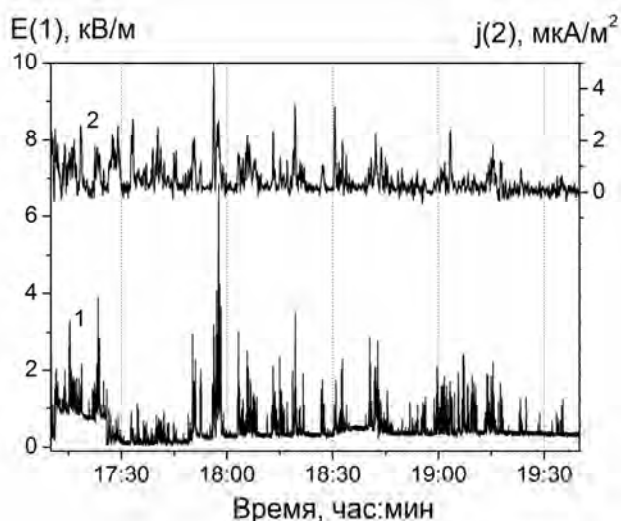


Рис. 3. Напряженность электрического поля (1) на высоте 2.5 см и плотность электрического тока сальтации (2) на высоте 2.0 см по данным измерений 28.08.2008 на опустыненной территории в государственном заказнике "Пески Берли" (Харабалинский р-н Астраханской обл.).

Как следует из рис. 2 и рис. 3 поверхностная плотность зарядов и соотношение между напряженностью электрического поля в приповерхностном слое атмосферы и плотностью электрического тока в нижнем слое сальтации варьируют в широких пределах. Совместные измерения плотности электрических токов сальтации и суммарной массы песчинок, переносивших измеряемые электрические заряды, позволили оценить удельный заряд сальтирующих песчинок. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в ветропесчаном потоке происходят сложные электрические процессы и ветропесчаный поток представляет собой специфический вид пылевой плазмы [4].

Работа частично поддержана РФФИ (проект № 10-05-00280).

Литература

1. Горчаков Г.И., Ермаков В.И., Копейкин В.М., Исаков А.А., Карпов А.В., Ульяненко А.В. Электрические токи сальтации в ветропесчаном потоке // Доклады АН. 2006. Т. 410, № 2. С. 259 – 262.
2. Горчаков Г.И., Титов А.А., Бунтов Д.В. Параметры нижнего слоя сальтации на опустыненной территории // Доклады АН. 2009. Т. 424. № 1. С. 102 – 106.
3. Горчаков Г.И., Карпов А.В., Соколов А.В., Бунтов Д.В., Злобин И.А. Экспериментальное и теоретическое исследование траекторий сальтирующих песчинок на опустыненных территориях // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25, № 6. С. 501 – 506.
4. Фортов В.Е., Храпак А.Г., Якубов И.Т. Физика неидеальной плазмы. М.: Физматлит, 2010. 528 с.
5. Zheng X. Mechanics of wind blown sand movements. Berlin: Springer – Verlag, 2009. 290 p.

ВЛИЯНИЕ ЛУННО-СОЛНЕЧНЫХ ПРИЛИВОВ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

Л.В. Грунская, В.А. Ефимов, А.А. Закиров, Д.В. Рубай, А.Н. Золотов
Владимирский государственный университет
 grunsk@vlsu.ru

Создана система многоканального синхронного мониторинга электрического поля пограничного слоя атмосферы на разнесенных в пространстве станциях, обеспеченных датчиками электрического поля разработки ВлГУ: физический экспериментальный полигон ВлГУ; станция на оз. Байкал Института солнечно-земной физики СО РАН; станция в п. Паратунка (Камчатка), Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН; станция в г. Обнинск на базе научно-производственного объединения «Тайфун». Работа датчиков осуществляется в режиме непрерывного мониторинга. Для достоверной интерпретации получаемых данных по электрическому полю пограничного слоя атмосферы использованы также данные станций Гидрометеорологической службы. Формируются базы экспериментальных данных по разнесенным в пространстве станциям. Создание многопунктной системы синхронных регистраций электрического поля пограничного слоя атмосферы с разнесением в пространстве на десятки и сотни километров систем регистрации позволяет исследовать вариации электрического поля, возникающие под действием лунных гравитационных приливов и термогравитационных солнечных приливов.

Большой массив данных (16 лет – данные ВлГУ и 30 лет - данные станций Гидрометеорологической службы) позволил получить необходимую разрешающую способность (10^{-9} Гц) для разделения близких по частоте приливов P1 и S1, проанализировать спектр электрического поля по разнесенным

в пространстве станциям на частотах лунно-солнечных приливов. Осуществлена оценка средней амплитуды напряженности вертикальной составляющей электрического поля пограничного слоя атмосферы на частотах лунно-солнечных приливов с помощью радиофизических методов спектрального оценивания, в частности метода корреляционного квадратурного приемника. Среднее значение амплитуды электрического поля и отношение сигнал/шум на частотах термогравитационных солнечных приливов S1, S2, S3 по указанным станциям составили (табл. 1): S1(15 В/м – 10 В/м, с/ш: 6,4 - 4,2); S2 (10 В/м-7 В/м,с/ш: 5,2 - 4,9); S3 (3 В/м – 6 В/м, с/ш: 5,3 - 3,5). Среднее значение амплитуды электрического поля на частотах лунных приливов составило 1,75 В/м - 7 В/м, что также соответствует модельным оценкам. Отношение сигнал/ шум на частотах лунных приливов находится в пределах: на частоте прилива M1: 1,8 – 3,1, на частоте прилива M2: 1,3 – 2,3, на частоте прилива N2: 0,9 – 1,6, на частоте прилива O1: 2 – 1,5, на частоте прилива L2: 4,2 – 1,1. Сравнение полученных средних оценок амплитуды электрического поля на частотах термогравитационных солнечных приливов и гравитационных лунных приливов показывает их сопоставимость и одинаковый порядок результатов с полученными модельными оценками.

Таблица 1. Оценка амплитуды и отношения сигнал/шум на частотах солнечных и лунных приливов

№	Источник	Частота, 10^{-5} Гц	Период, ч	Станция полигон ВлГУ		Станция Байкал, Хулу-гайша		Станция Байкал, Монды		Станция Обнинск	
				А, В/м	с/ш	А, В/м	с/ш	А, В/м	с/ш	А, В/м	с/ш
1	Прилив 2N2	1,938951388	14,3261	4,27	1,33	2,6	1,47	3,56	2,54	5,27	0,54
2	Прилив M2	2,237136465	12,46(6)	5,29	2,12	9,81	0,58	2,52	1,81	2,3	1,33
3	Прилив Mf	0,089028575	312,0115	1,8	0,56	3,1	0,61	6,05	1,33	4,1	1,03
4	Прилив N2	2,195871761	12,65	3,61	0,97	8,89	0,49	0,78	0,51	3,2	0,98
5	Прилив O1	1,075921027	25,8176	6,39	2,78	3,8	1,33	2,36	1,07	2,1	1,06
6	Прилив Q1	1,0801489997	25,71(6)	6,45	1,46	3,1	1,34	2,72	1,29	2,1	1,44
7	Прилив M1	1,11680819445	24,8724	5,91	1,18	6,1	1,21	5,76	1,23	2,6	1,29
8	Прилив J1	1,2043449074	23,0646	8,47	1,96	6,61	0,94	2,82	0,91	9,4	0,95
9	Прилив OO1	1,462806134	18,9891	8,1	1,29	2,6	0,91	1,35	0,84	9,1	1,19
10	Прилив L2	2,2770266607	12,1991	3,1	0,89	6,1	2,37	2,21	0,91	3,1	1,29
11	Прилив K1	1,1606313835	23,93(3)	7,22	0,52	22,2	1,10	14,3	2,75	11	5,07
12	Прилив K2	2,32126276694	11,96(6)	7,16	2,93	17,4	1,45	3,34	2,68	61,2	5,56
13	Прилив P1	1,1542012927	24,06(6)	1,56	5,2	29,2	1,12	0,03	3,13	93,1	4,43
14	Прилив S1	1,157407	24	15,1	2,01	31,1	1,54	3,5	6,10	16	5,05
15	Прилив S2	2,314814	12	8,77	1,75	18,1	0,91	6,33	3,17	64,9	4,99
16	Прилив S3	3,472222	8	7,24	1,67	6,53	0,33	3,75	1,67	6,34	0,67
17	Прилив S4	4,629629	6	2,11	1,24	12,1	0,92	1,94	2,1	10,8	1,86

В связи с необходимостью повышения достоверности обнаружения лунных гравитационных приливов в электрическом поле пограничного слоя атмосферы разрабатываются методы исследования энергетически недоминирующих периодических процессов (рис. 2, 3).

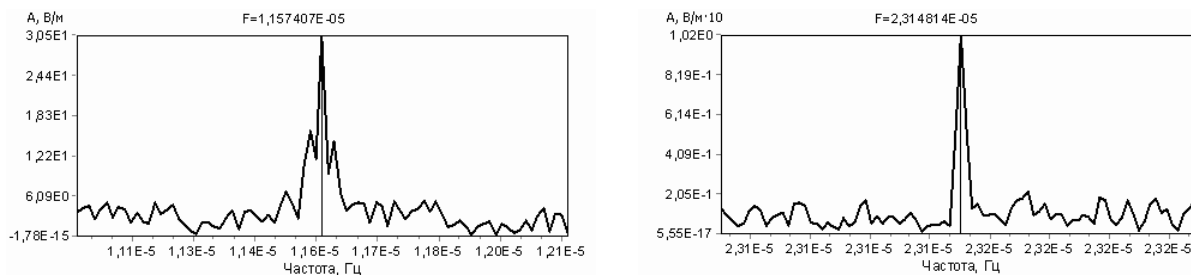


Рис. 2. Спектры солнечного прилива S1 по временным рядам E_z приземного слоя атмосферы по станциям полигон ВлГУ, 2004-2011 (слева) и Воейково, 1966-1995 (справа)

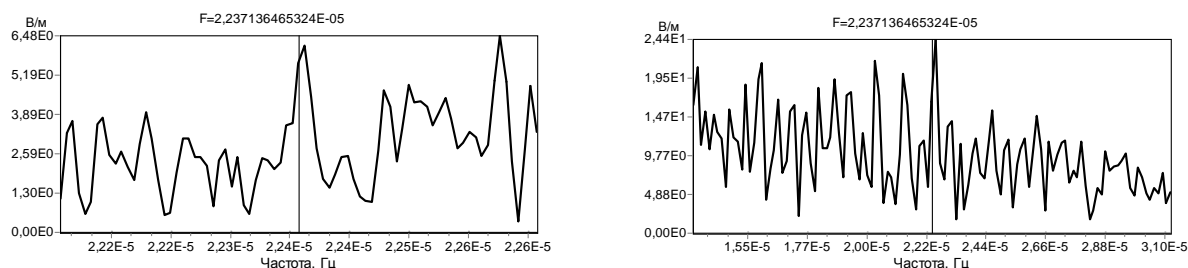


Рис. 3. Спектры лунного прилива M1 по временным рядам E_z приземного слоя атмосферы по станциям полигон ВлГУ, 2004-2011 (слева) и Байкал, 2009-2010 (справа)

Работа осуществляется при поддержке гранта РФФИ 11-05-97518, ФЦП № 14.740.11.0407, ФЦП № 16.740.11.0185 и ГЗ № 5.2971.2011.

Литература

1. Грунская, Л.В. Лунные приливы в электрическом поле пограничного слоя атмосферы / Л.В.Грунская, В.Н. Морозов, В.А. Ефимов, А.А. Закиров // Известия вузов. Физика. 2010. –т.53.- №1.- С.22-27.
2. Грунская, Л.В. Применение базиса собственных векторов ковариационных матриц для выявления сложнопериодических составляющих временного ряда/ Л.В.Грунская, В.В. Исакевич, Л.Т.Сушкова, А.А. Закиров // Электромагнитные волны и электронные системы. Изд. Радиотехника. 2010. -№ 10.- С.24-28.
3. Исакевич, В.В. Функциональные модели целеустремленного поиска признаков природных явлений в собственных векторах ковариационных матриц временных рядов /. В.В. Исакевич, Л.В. Грунская, Д.В. Исакевич, Л.Т. Сушкова, А.С. Батин //Нелинейный мир. Изд. Радиотехника. 2010.- №10.- С.651-657.
4. Grunskaya L.V., Efimov V.A., Isakevich V.V., Zakirov A.A. Experimental investigations of the interaction between the ELF Earth electromagnetic fields and astrophysical processes. // American Institute of Physics AIP Conf. Proc. – 2010.- V.1206.- p. 455-461.

ОБНАРУЖЕНИЕ ЛУННЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПРИЛИВОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

Л.В. Грунская, В.В. Исакевич, Д.В. Исакевич, А.С. Батин
Владимирский государственный университет, г. Владимир
grunsk@vlsu.ru

Спектральный анализ временных рядов электрического поля приземного слоя атмосферы не позволил достоверно выделить влияние лунных приливов на электрическое и геомагнитное поле, что привело к необходимости проведения исследований структуры сигналов в спектральной и временной областях с помощью разрабатываемого программно-аналитического комплекса на базе метода собственных векторов корреляционных матриц временных рядов [1, 2].

Разработан программно-аналитический комплекс для исследования структуры сигналов в спектральной и временной областях, вызванных геофизическими процессами. Новизна разработанного метода состоит в том, что спектральному анализу подвергается не сам исходный временной ряд, а его собственные вектора, на которые он раскладывается, что позволяет применить спектральный анализ к отдельным некоррелированным составляющим временного ряда, связанным с определенными физическими процессами [3].

Отношение максимального значения амплитудного спектра у отобранных собственных векторов к его среднему значению для электрического и геомагнитного полей при выделении периодов, соответствующих солнечным и лунным приливам составило в среднем 267-179. Использование метода спектрального анализа собственных векторов в многолетних временных рядах вертикальной составляющей электрического поля показало его эффективность для выявления периодических составляющих с относительным энергетическим вкладом вплоть до 10^{-4} (рис.1, 2).

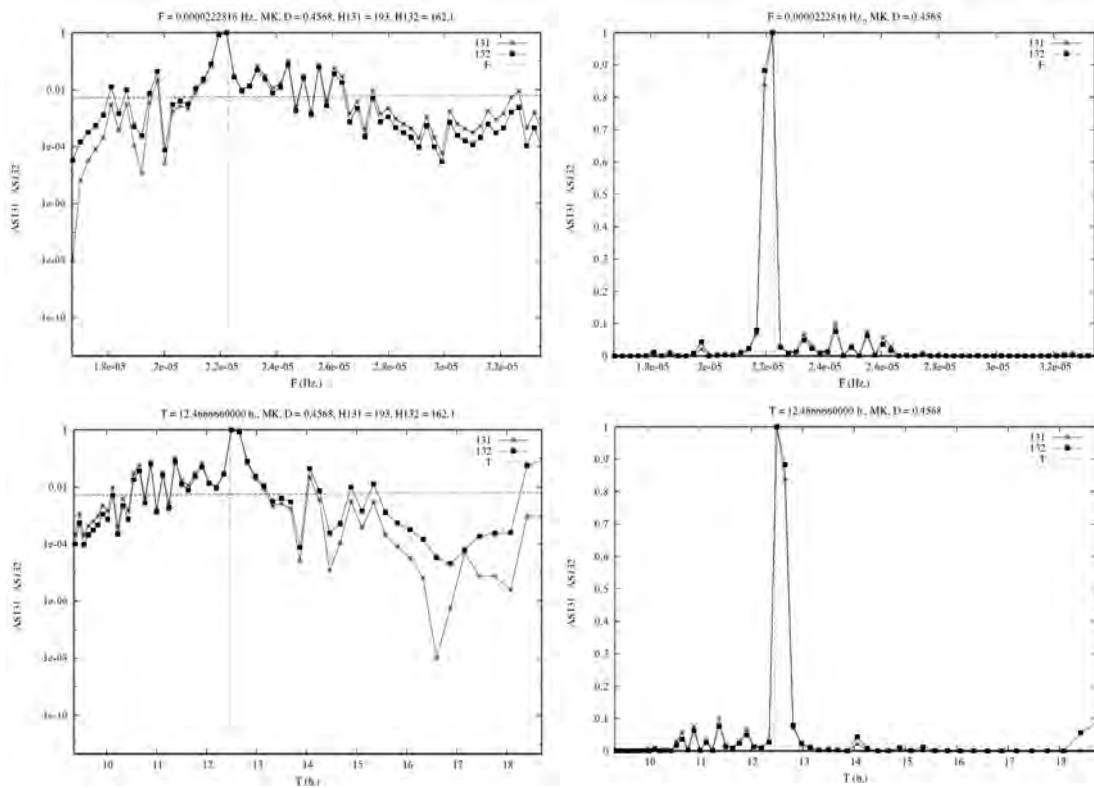


Рис. 1. Амплитудные спектры и периодограммы, соответствующие паре собственных векторов, отобранных по критерию максимума коэффициента корреляции с гармоническим сигналом с частотой прилива M2. Компонента E_z электрического поля, Душети, 1967-1980

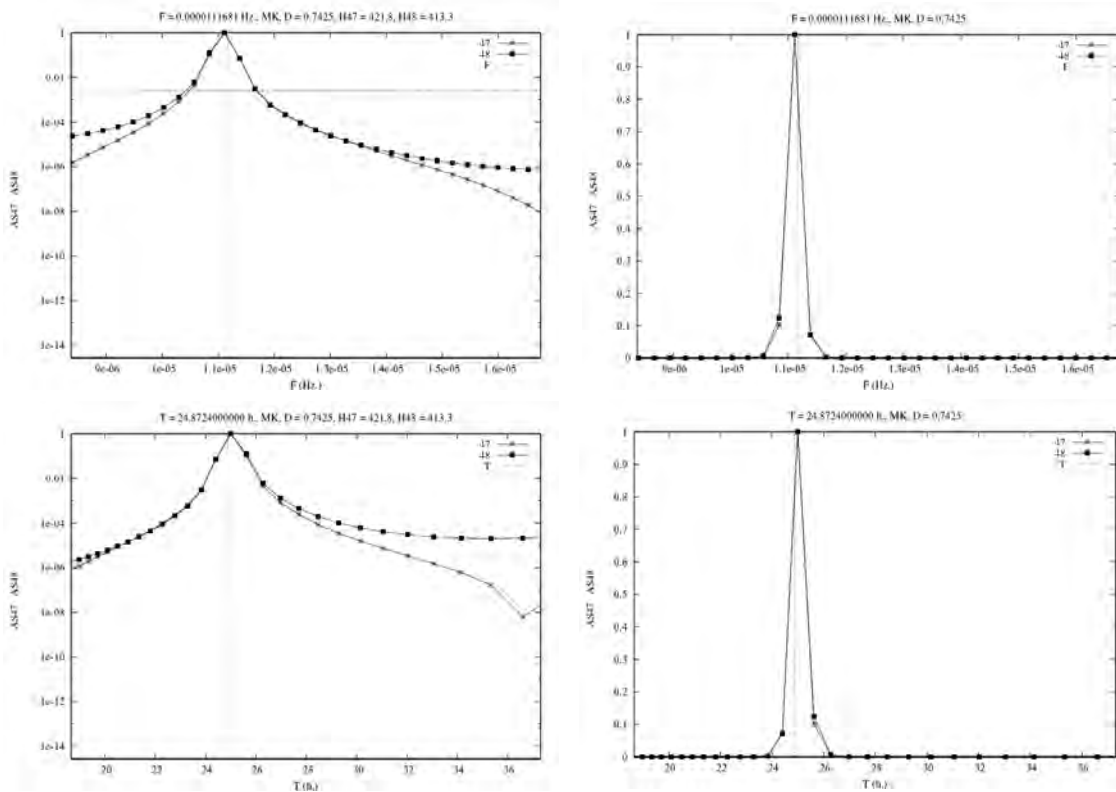


Рис. 2. Амплитудные спектры и периодограммы, соответствующие паре собственных векторов, отобранных по критерию максимума коэффициента корреляции с гармоническим сигналом с частотой прилива M1. Компонента E_z электрического поля, полигон ВлГУ, 2003-2011

Использование метода спектрального анализа собственных векторов в многолетних временных рядах вертикальной составляющей электрического поля показало его эффективность для выявления периодических составляющих, связанных с лунными приливами [1,4].

Работа осуществляется при поддержке гранта РФФИ 11-05-97518, ФЦП № 14.740.11.0407, ФЦП № 16.740.11.0185 и ГЗ № 5.2971.2011.

Литература

1. Грунская, Л.В. Лунные приливы в электрическом поле пограничного слоя атмосферы / Л.В.Грунская, В.Н.Морозов, В.А.Ефимов, А.А.Закиров // Известия вузов. Физика. 2010. –т.53.- №1.- С.22-27.
2. Грунская, Л.В. Применение базиса собственных векторов ковариационных матриц для выявления сложнопериодических составляющих временного ряда/ Л.В.Грунская, В.В.Исакевич, Л.Т.Сушкова, А.А.Закиров // Электромагнитные волны и электронные системы. Изд. Радиотехника. 2010. -№ 10.- С.24-28.
3. Исакевич, В.В. Функциональные модели целеустремленного поиска признаков природных явлений в собственных векторах ковариационных матриц временных рядов / В.В.Исакевич, Л.В.Грунская, Д.В.Исакевич, Л.Т.Сушкова, А.С.Батин //Нелинейный мир. Изд. Радиотехника. 2010.- №10.- С.651-657.
4. Grunskaya L.V., Efimov V.A., Isakevich V.V., Zakirov A.A. Experimental investigations of the interaction between the ELF Earth electromagnetic fields and astrophysical processes. // American Institute of Physics AIP Conf. Proc. – 2010.- V.1206.- p. 455-461.

ВЛИЯНИЕ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ИОНОСФЕРНЫХ ТЕЧЕНИЙ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЕ

С.С. Давыденко

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия
davyd@appl.sci-nnov.ru

Согласно изложенному в работе [1] подходу дифференциальное вращение плазменной оболочки планеты, обладающей магнитным полем, приводит к возникновению крупномасштабной разности потенциалов в системе магнитосфера—ионосфера—атмосфера и формированию глобальной системы токов, локализованных в основном за пределами атмосферы. Вследствие сравнительно низкой электрической проводимости атмосферы небольшая часть магнитосферных токов может ответвляться в её нижние слои и замыкаться через хорошо проводящую планету, возмущая приземное электрическое поле. В данной работе рамках модели планетарного электрического генератора выполнены оценки вклада крупномасштабных течений ионосферной плазмы в формирование глобального распределения электрических полей и токов в нижней атмосфере. Наличие крупномасштабных течений ионосферной плазмы – супервращение ионосферы – отмечено в ряде работ по анализу торможения искусственных спутников Земли (см., например, [4]). Супервращение проявляется в опережающем по сравнению с вращением Земли течением ионосферной плазмы на высотах до 500 км [4].

Для описания вклада супервращения ионосферы в токовую систему нижней ионосферы рассмотрим следующую модель. Пусть планета радиуса r_0 с однородной электрической проводимостью σ_0 вращается с угловой скоростью Ω_0 . Магнитный дипольный момент планеты \mathbf{M} параллелен оси вращения. Атмосфера планеты с толщиной $h = r_1 - r_0$ обладает зависящей от радиуса проводимостью $\sigma_1(r) = \sigma_{10} \exp[(r - r_0)/H]$, где H – приведённая высота, и вращается вместе с планетой с угловой скоростью Ω_0 . За пределами атмосферы располагается слой ионосферной плазмы с толщиной $\Delta h = r_2 - r_1$ и эффективной проводимостью σ_2 [2]. Угловая скорость этого слоя Ω_2 , вообще говоря, отлична от Ω_0 . За пределами слоя супервращения расположена область магнитосферной плазмы с высокой проводимостью σ_3 и скоростью вращения Ω_3 , причём $|\Omega_3| < |\Omega_0|$.

Вследствие замкнутости линий тока в рассматриваемой задаче плотность тока проводимости $\mathbf{j} = \sigma(\mathbf{E} + [\mathbf{v} \times \mathbf{B}]/c) + \rho\mathbf{v}$ удовлетворяет уравнению непрерывности $\text{div}\mathbf{j} = 0$. Здесь $\mathbf{E} = -\nabla\varphi$ – электрическое поле, $\mathbf{B} = -\nabla(\mathbf{M}\mathbf{r}/r^3)$ – планетарное магнитное поле (здесь искажением планетарного магнитного поля возникающей токовой системой пренебрегаем), $\mathbf{v} = [\Omega \times \mathbf{r}]$ – локальная скорость среды, $\rho = \text{div}\mathbf{E}/(4\pi)$ – плотность заряда, c – скорость света. Уравнение непрерывности в каждой среде можно свести к уравнению второго порядка для электрического потенциала φ :

$$\Delta\varphi = \frac{\nabla[[\mathbf{\Omega} \times \mathbf{r}] \times \mathbf{B}]}{c} + \frac{\nabla\sigma}{\sigma} \left(-\nabla\varphi + \frac{[[\mathbf{\Omega} \times \mathbf{r}] \times \mathbf{B}]}{c} \right). \quad (1)$$

Граничными условиями для уравнения (1) являются непрерывность радиальной плотности тока и электрического потенциала на границах сред (при $r=r_0$, $r=r_1$, $r=r_2$), отсутствие радиального тока при $r=0$ и стремление к нулю возмущения потенциала на больших расстояниях от планеты.

Точное решение указанной задачи во всём пространстве найдено в [2]. Учитывая выполняющиеся для земной атмосферы соотношения $\sigma_1(r_0)/\sigma_0 \ll 1$, $\sigma_1(r_1)/\sigma_2 \ll 1$, $H/r_0 \ll h/r_0 \ll 1$ (см., например, [5]) и полагая для простоты $\Omega_3 = 0$, распределения потенциала и радиальной плотности тока в нижней атмосфере можно записать в виде

$$\varphi_1 \approx U_0 \left(\sin^2 \theta - \frac{2\Omega_2}{3\Omega_0} \right) + A_1 \left[1 - \exp\left(\frac{r_0 - r}{H}\right) \right] P_2(x), \quad j_{1r} \approx -\sigma_{10} \frac{A_1}{H} P_2(x), \quad (2)$$

где $U_0 = M\Omega_0/(cr_0) \approx 90$ кВ – униполярный потенциал, $P_2(x) = (3\cos^2\theta - 1)/2$ – полином Лежандра второго порядка, θ – полярный угол, $H = 6 \cdot 10^3$ м – приведённая высота распределения проводимости,

$$A_1 \approx \frac{2}{3} U_0 \left[1 + \frac{\Omega_2}{\Omega_0} \left(\frac{5(r_2/r_1)^2}{2 + 3(r_2/r_1)^5 - 2[1 - (r_2/r_1)^5] \sigma_2/\sigma_3} - 1 \right) \right]. \quad (3)$$

В (3) последнее выражение в скобках определяет вклад слоя супервращения в возмущение электрического состояния нижней атмосферы. Во-первых, видно, что наличие слоя с опережающим вращением ослабляет эффект планетарного генератора в нижней атмосфере по сравнению со случаями твердоотельно вращающегося ($\Omega_2 = \Omega_0$) и неподвижного ($\Omega_2 = 0$) ионосферного слоя. Во-вторых, эффект существенно зависит от отношения эффективных проводимостей ионосферного слоя и магнитосферы. В случае низкой проводимости ионосферной плазмы ($\sigma_2 \ll \sigma_3$) вклад ионосферного

слоя важен в случае $\frac{\Omega_2}{\Omega_0} \sim \frac{2 + 3(r_2/r_1)^5}{2 + 3(r_2/r_1)^5 - 5(r_2/r_1)^2}$. При высокой проводимости слоя: $\frac{\sigma_2}{\sigma_3} \ll \frac{2 + 3(r_2/r_1)^5}{2[(r_2/r_1)^5 - 1]}$,

эффект планетарного генератора в нижней атмосфере определяется ионосферным течением и не зависит от свойств магнитосферной плазмы.

Несмотря на многолетние косвенные наблюдения, параметры слоя с опережающим вращением до сих пор являются предметом обсуждения. Толщина слоя супервращения Δh у разных авторов варьируется от 100 до 400 км, а отношение его угловой скорости к угловой скорости Земли Ω_2/Ω_0 лежит в диапазоне от 0,6 до 2,2 [3]. Положив для оценок $\Omega_2 = 1,1\Omega_0$, $\Delta h = h$, $\sigma_2/\sigma_3 = 0,1$ (см. подробнее [2]), получим, что плотность тока в высокоширотной нижней атмосфере вследствие рассматриваемого эффекта достигает $0,5$ пА/м², ослабляя ток хорошей погоды, и плавно уменьшается приблизительно до $-0,25$ пА/м² в низких широтах. Таким образом, учёт данного эффекта необходим при построении развитых моделей глобальной электрической цепи, а для более точной оценки величины эффекта необходимы дальнейшие исследования структуры крупномасштабных течений ионосферной плазмы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 12-02-00344) и Российской академии наук (программа 22 Президиума РАН «Фундаментальные проблемы исследований и освоения Солнечной системы»).

Литература

1. Беспалов П.А., Чугунов Ю.В. Вращение плазмосферы и природа атмосферного электричества // ДАН, 1994, Т. 337, № 4, С. 467-469.
2. Давыденко С.С., Влияние ионосферных течений на эффект планетарного электрического генератора // Геомагнетизм и аэрономия, 2012, Т.52, №2, С.226–236, 2012.
3. Gaposchkin E.M. Atmospheric superrotation? // Planet. Space Sci., 2003, Vol.51, No.6, Pp.415–425.
4. King-Hele D.G. and Walker D.M.C. Upper-atmosphere zonal winds from satellite orbit analysis: an update // Planet. Space Sci., 1988, Vol.36, No.11, Pp.1085–1093.
5. Volland H. Electromagnetic coupling between lower and upper atmosphere // Phys. Scripta, 1987, Vol.T18, Pp.289–297.

МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ОТКЛИКА АТМОСФЕРЫ НА МОЛНИЕВЫЙ РАЗРЯД

С.С. Давыденко, Е.А. Мареев, А.С. Сергеев
 Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия
 davyd@appl.sci-nnov.ru

Молниевые разряды играют важную роль в локальных и глобальных электрических явлениях в земной атмосфере. В этой связи моделирование полей и токов молниевых разрядов является актуальной проблемой, важной для решения как прямой (расчёт полей и токов заданного грозового источника в атмосфере), так и обратной (определение параметров грозового источника по наблюдениям атмосферного электромагнитного поля) электродинамических задач. Большинство разработанных к настоящему времени моделей электродинамики молниевых разрядов построено в рамках квазистационарного приближения и описывают поля, обусловленные сравнительно медленной релаксацией вызванного разрядом возмущения электрического заряда. В данной работе предложена численная модель крупномасштабной электродинамики молниевых разрядов, основанная на полной системе уравнений Максвелла и позволяющая в рамках единого подхода описывать как квазистационарные, так и быстропеременные электрические поля и токи в атмосфере.

1. Описание модели

Электрическое \mathbf{E} и магнитное \mathbf{H} поля молниевых разрядов описываются уравнениями Максвелла

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}, \quad \nabla \times \mathbf{H} = \sigma \mathbf{E} + \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mathbf{j}_{\text{ext}}(\mathbf{r}, t), \quad \nabla \cdot \mathbf{E} = \rho / \varepsilon_0, \quad \nabla \cdot \mathbf{H} = 0. \quad (1)$$

Здесь $\mathbf{j}_{\text{ext}}(\mathbf{r}, t)$ – плотность тока разряда, $\sigma(\mathbf{r})$ – электрическая проводимость среды, ρ – плотность электрического заряда, ε_0 и μ_0 – электрическая и магнитная постоянные соответственно. Предполагается, что плотность разрядного тока и возмущение проводимости обладают аксиальной симметрией, поэтому область расчёта была выбрана в виде цилиндра с высотой 70 км и радиусом 300 км. Верхняя и нижняя границы области расчёта являются идеальными проводниками, на боковой границе радиальная компонента плотности тока полагается равной нулю. Уравнения (1) решались численно методом конечных разностей во временной области (FDTD).

Распределение проводимости в области расчёта даётся выражением

$$\sigma(r, z) = \sigma_{\text{fw}}(z) \left\{ 1 - \alpha \exp \left[- \left((z - Z_{\text{max}}) / Z_0 \right)^\beta - (r / R_0)^\gamma \right] \right\}, \quad (2)$$

которое описывает возмущение проводимости внутри грозового облака с радиусом R_0 в центре области расчёта. При этом параметр α определяет величину возмущения проводимости (см. [1]), а параметры Z_{max} и Z_0 – его вертикальную структуру. Проводимость вне грозового облака соответствует проводимости в областях «хорошей погоды»: $\sigma_{\text{fw}}(z) = \sigma_0 \exp(z / H)$, где $\sigma_0 = 5 \cdot 10^{-14}$ С/м, $H = 6 \cdot 10^3$ м.

Вертикальный ток разряда локализован в области с радиусом r_0 в центре области расчёта:

$$j_{\text{ext } z}(\mathbf{r}, t) = \exp \left[- (r / r_0)^\eta - (|z - z_{\text{max}}| / z_0)^\xi \right] F(t). \quad (3)$$

Видно, что источник (3) создаёт зарядовый диполь в грозовом облаке в случае $z_{\text{max}} \neq 0$ (внутриоблачный разряд) или зарядовый монополюль в случае $z_{\text{max}} = 0$ (разряд облако—Земля). Временной профиль разрядного тока имеет вид

$$F(t) = j_{\text{RSO}} \left[\exp \left(- \frac{t}{t_{\text{rs}}} \right) - \exp \left(- \frac{t}{t_{\text{is}}} \right) \right] + j_{\text{CCO}} \left[\exp \left(- \frac{t^2}{t_{\text{cc}}^2} \right) - \exp \left(- \frac{t}{t_{\text{rs}}} \right) \right] + j_{\text{MO}} \exp \left(- \frac{(t - t_{\text{M0}})^2}{t_{\text{M}}^2} \right). \quad (4)$$

В (4) первое слагаемое соответствует возвратному удару, второе описывает стадию непрерывного тока, а третье представляет собой кратковременный всплеск разрядного тока, подобный наблюдаемой М-компоненте [4]. В зависимости от целей исследования в (4) можно учитывать все либо только некоторые компоненты разрядного тока.

2. Моделирование электромагнитного поля молниевых разрядов

В качестве примера приведём результаты расчёта электромагнитного излучения разряда облако–земля. Для расчёта выберем следующие параметры разрядного тока: времена нарастания и затухания возвратного удара $t_{is} = 2 \cdot 10^{-6}$ с и $t_{is} = 10^{-4}$ с соответственно, длительность стадии непрерывного тока $t_{cc} = 10^{-2}$ с, длительность и время максимума М-компоненты $t_M = 10^{-3}$ с и $t_{M0} = 8 \cdot 10^{-3}$ с соответственно. Амплитуда возвратного удара, непрерывного тока и М-компоненты равны $j_{RS0} = 9.84 \cdot 10^{-2}$ А/м², $j_{CC0} = 6.56 \cdot 10^{-3}$ А/м² и $j_{M0} = 6.56 \cdot 10^{-3}$ А/м² соответственно. Профиль полного разрядного тока $I_{max}(t)$, соответствующий выбранным параметрам, приведён на рис.1. Максимум разрядного тока составляет около 24 кА и достигается на стадии возвратного удара. Однако основной вклад в полный электрический заряд, нейтрализованный молниевой вспышкой (20,5 Кл), обеспечивает непрерывный ток (15 Кл), тогда как вклады возвратного удара (2,5 Кл) и М-компоненты (3 Кл) сравнительно малы. Будем также считать, что электрическая проводимость в грозовом облаке на порядок ниже проводимости в атмосфере «хорошей погоды» ($\alpha = 0,1$), радиус облака равен $R_0 = 7 \cdot 10^3$ м, а вертикальная структура облака определяется параметрами $Z_0 = 4.8 \cdot 10^3$ м, $Z_{max} = 5.4 \cdot 10^3$ м, $\chi = 54$.

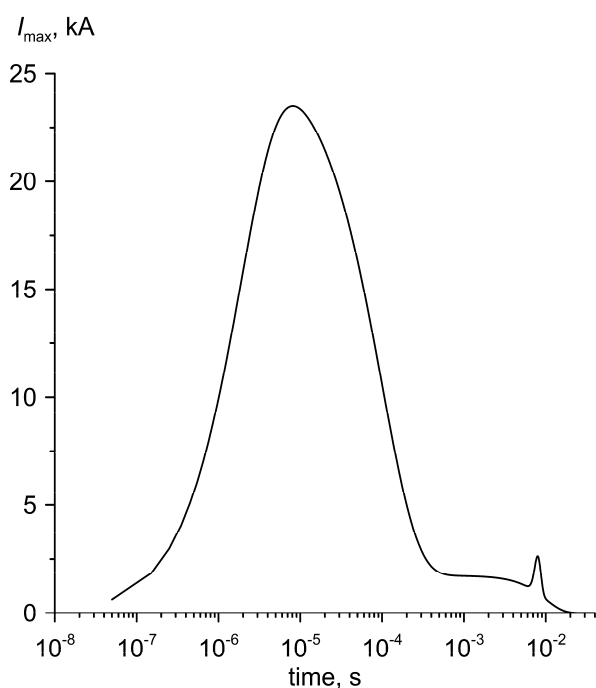


Рис.1. Профиль модельного разрядного тока

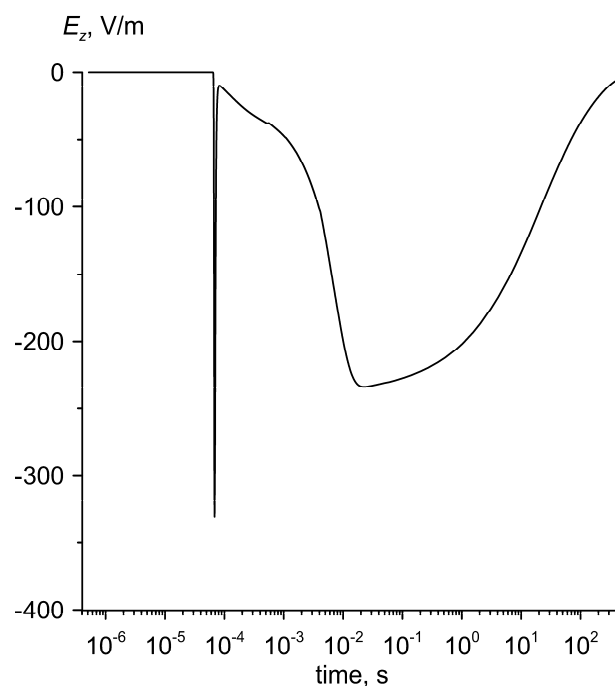


Рис.2. Вертикальная компонента приземного электрического поля на расстоянии 20 км от разряда облако–земля

На рис.2 приведён временной профиль вертикальной компоненты приземного электрического поля на расстоянии 20 км от разряда. Хорошо виден электромагнитный импульс, обусловленный быстропеременной частью разрядного тока (возвратным ударом), а также последующий всплеск квазистатического поля, обусловленный возникновением крупномасштабного возмущения электрического заряда в результате молниевой вспышки и его релаксацией в проводящей атмосфере. Указанные компоненты поля помимо расстояния до разряда определяются разными составляющими разрядного тока. В частности, амплитуда и длительность электромагнитного импульса определяются высотой, амплитудой и временем нарастания возвратного удара (см.рис.3). Таким образом, с использованием результатов многоточечных наблюдений электромагнитного поля молниевых разрядов с помощью модели можно оценить расстояние до разряда и возможные параметры указанной компоненты разрядного тока.

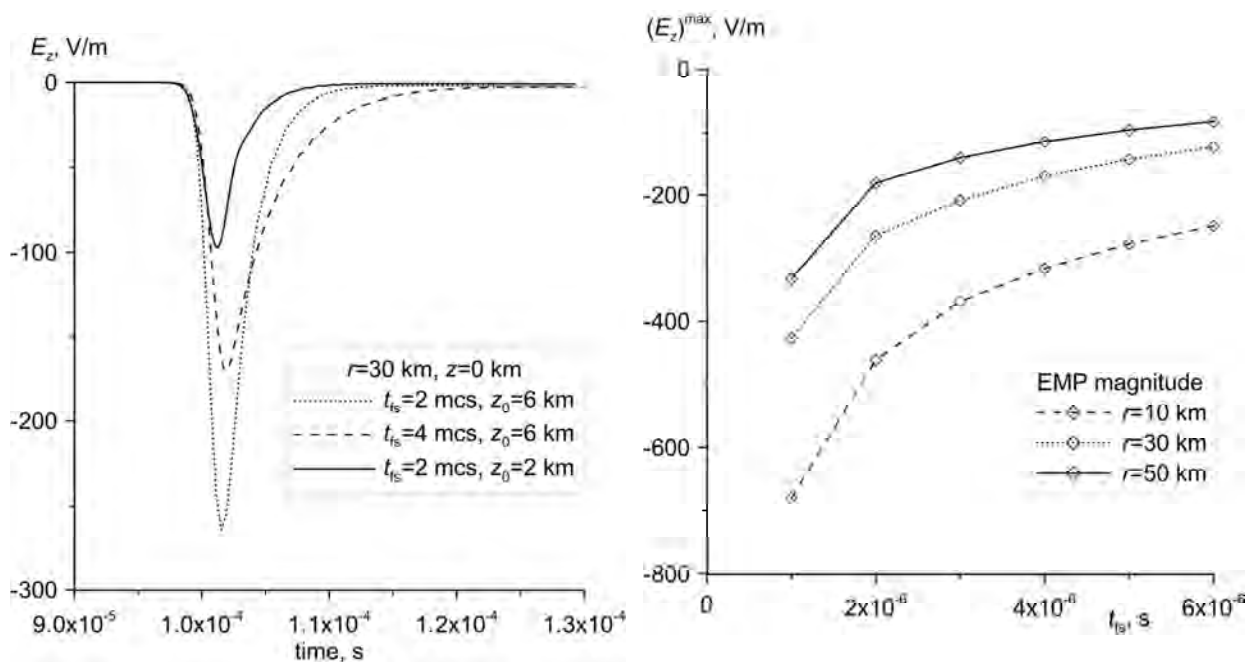


Рис.3. Зависимость формы электромагнитного импульса от высоты разряда z_0 и времени нарастания возвратного удара t_{is} на расстоянии 30 км от разряда (слева) и зависимости амплитуды электромагнитного импульса от t_{is} на различном радиальном расстоянии от разряда (справа).

Что касается квазистатической компоненты поля, то при удалении точки наблюдения от разряда её амплитуда уменьшается гораздо быстрее амплитуды электромагнитной компоненты и на расстоянии около 50 км становится пренебрежимо малой. При этом форма всплеска квазистатического поля, как показывают расчёты, слабо зависит от времени накопления заряда (т.е. от длительности стадии непрерывного тока), но существенно определяется расстоянием до области разряда, его высотой и полным нейтрализованным зарядом. В этой связи для анализа квазистатической компоненты поля во временном профиле разрядного тока (4) можно оставить только второе слагаемое, соответствующим образом скорректировав его амплитуду. Результаты такого расчёта квазистатической компоненты электрического поля у поверхности земли приведены на рис.4, где показано изменение формы всплеска нормированного квазистатического поля по мере удаления от области разряда. Хорошо видно, что с ростом радиального расстояния характерная длительность всплеска уменьшается от приблизительно 100 с вблизи разряда до нескольких секунд на расстоянии 40 км от него. Необходимо также отметить, что всплеск квазистатического поля после молниевых разрядов (медленный транзит) играет важную роль в переносе электрического заряда к верхним слоям атмосферы и определяет вклад молниевых разрядов в глобальную электрическую цепь [3]. Мерой такого вклада (эффективностью разряда как источника в глобальной цепи) является отношение величины заряда, достигшего верхних слоёв атмосферы, к полному заряду, нейтрализованному при молниевой вспышке. Пример расчёта указанного отношения для разряда облако-земля при различной высоте разряда z_0 и радиусе области разряда $r_0 = 7$ км приведён на рис.5.

3. Заключение

Предложенная модель электромагнитного отклика атмосферы на молниевый разряд позволяет определить ряд важных параметров различных компонент разрядного тока путём сопоставления результатов расчётов с данными наблюдений электромагнитного и квазистатического полей. Так, анализ формы импульса квазистатического поля позволяет получить оценки расстояния до разряда, полного нейтрализованного заряда и высоты области разряда, а форма электромагнитного импульса позволяет оценить параметры возвратного удара. Необходимо отметить, что точность восстановления параметров разряда можно значительно улучшить при наличии данных о расстоянии до области разряда (например, из данных многопунктовых наблюдений электромагнитного поля), её поперечном масштабе (например, из данных радарного зондирования) и вертикальной электрической структуре (например, из данных баллонного зондирования). Для заданных (восстановленных) параметров разряда модель позволяет рассчитать обусловленные разрядом поля и токи в атмосфере, в том числе на больших высотах, где квазистатическое приближение неприменимо [2], а также оценить вклад разряда в глобальную электрическую цепь.

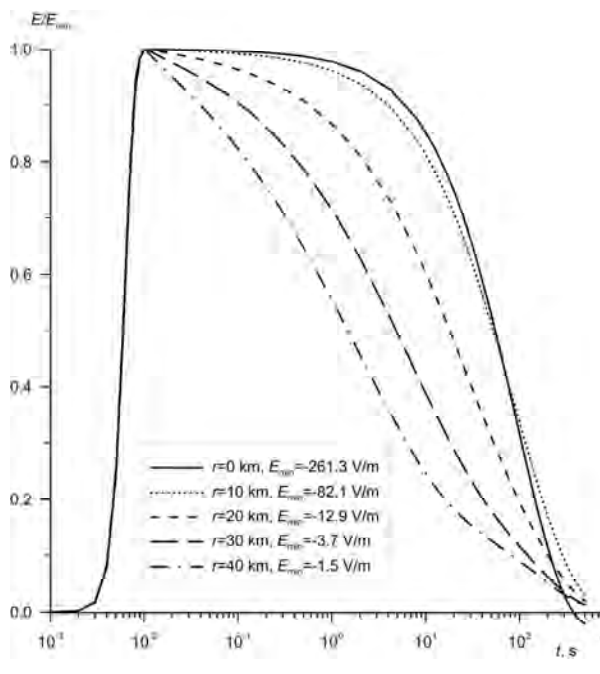


Рис.4. Форма импульса квазистатического поля при разном радиальном расстоянии от разряда

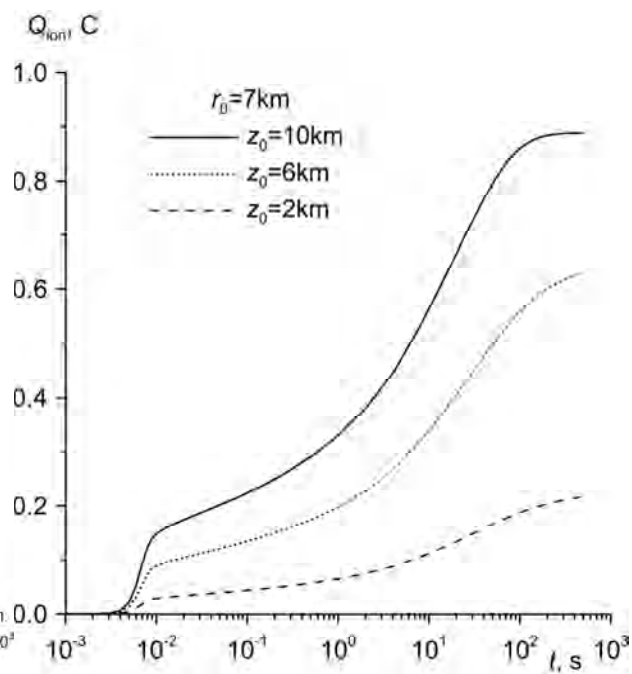


Рис.5. Зависимость динамики переноса заряда к ионосфере при разной высоте разряда облако-земля

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 11-05-97047) и Российской академии наук (программа ОФН РАН «Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследований атмосферных процессов»).

Литература

1. Davydenko S.S., Marshall T.C., and Stolzenburg M. Modeling the electric properties of MCS stratiform regions and their contribution to the global circuit / Proceedings of XIV International Conference on Atmospheric Electricity, Rio de Janeiro, Brazil, 07-12 August, 2011. – Pp.1-4.
2. Ma Z., Croskey C.L., and Hale L.C. The electrodynamic responses of the atmosphere and ionosphere to the lightning discharge // J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 1998, Vol.60, No.7-9. Pp.845-861.
3. Mareev E.A., Yashunin S.A., Davydenko S.S., Marshall T.C., Stolzenburg M., and Maggio C.R. On the role of transient currents in the global electric circuit // Geophys. Res. Lett., 2008, Vol.35, L15810.
4. Rakov V.A. and Uman M.A. Lightning: physics and effects Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2003. – P.687.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕЗОМАСШТАБНЫХ КОНВЕКТИВНЫХ СИСТЕМ И ОЦЕНКА ИХ ВКЛАДА В ГЛОБАЛЬНУЮ ЦЕПЬ

С.С. Давыденко¹, Т. Маршалл², М. Штольценбург²
 1 - Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия
 2 - Университет Миссисипи, Университет, Миссисипи, США
 davyd@appl.sci-nnov.ru

В последние годы электрическая структура и электродинамика мезомасштабных конвективных систем (ММКС) являются объектом интенсивных исследований. Интерес к данному вопросу во многом обусловлен как открытыми вопросами микрофизики разделения электрических зарядов во внутриоблачной среде, так необходимостью определения роли ММКС в глобальной электрической цепи. Один из возможных способов моделирования крупномасштабной электродинамики ММКС был предложен в работе [1], где разделение зарядов в облаке силами неэлектрической природы описывалось стационарными горизонтальными слоями распределённого вертикального стороннего тока. Предложенный в [1] аналитический подход позволил определить электрическое поле в окрестности данной конвективной системы, а также оценить запасённую в ней электрическую энергию и вклад системы в глобальную электрическую цепь. При этом было отмечено, что основной вклад в

энергетический и токовый баланс ММКС обеспечивает протяжённая стратифицированная область. В [1] для решения задачи токостатики использовался метод разделения переменных, поэтому в рамках этого подхода нельзя учесть возмущение электрической проводимости внутри облака (см. [3]), а следовательно, восстановить реальное распределение стороннего тока. Для решения данной задачи была разработана численная модель, в рамках которой были исследованы электрические свойства стратифицированных областей различного типа [2] и оценён их вклад в глобальную цепь.

В модели рассчитываются электрические поля и токи аксиально-симметричной стратифицированной области ММКС в цилиндрической области с радиусом $R = 400$ км и высотой $h = 70$ км. Электрическое поле \mathbf{E} и плотность тока проводимости $\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}$ определяются из уравнения непрерывности $\text{div}(\mathbf{j}_{\text{ext}} + \mathbf{j}) = 0$, где σ – проводимость среды, \mathbf{j}_{ext} – плотность вертикального стороннего тока. Верхняя и нижняя грани цилиндрической области расчёта считаются идеальными проводниками, на боковой грани радиальная плотность тока полагается равной нулю. Ключевыми элементами модели являются распределение проводимости в области расчёта и описание стороннего тока. Распределение проводимости описывается выражением

$$\sigma(r, z) = \sigma_{\text{fw}}(z) \left\{ 1 - \alpha \exp \left[- \left(\frac{z}{z_0} \right)^\beta - \left(\frac{r}{r_0} \right)^\gamma \right] \right\} \left[1 + \Phi_0 \exp \left(- |(r-R)/R_*|^z \right) \right]. \quad (1)$$

Вне конвективной системы с радиусом r_0 и высотой z_0 выражение (1) описывает проводимость в областях «хорошей погоды» $\sigma_{\text{fw}}(z) = \sigma_0 \exp(z/H)$, где $\sigma_0 = 5 \cdot 10^{-14}$ С/м, $H = 6 \cdot 10^3$ м. Возмущение проводимости в окрестности источника описывается выражением в фигурных скобках, в котором параметр α определяет величину изменения проводимости. Фактор в квадратных скобках описывает шунтирующее влияние остальной атмосферы (см. подробнее [4]). Общий вид распределения вертикальной компоненты плотности стороннего тока даётся выражением

$$j_{\text{ext}}(z) = j_{0\text{ext}}(z) \exp[-(r/r_0)^\gamma], \quad (2)$$

где $j_{0\text{ext}}(z)$ – высотный профиль плотности стороннего тока на оси области источника.

Основными исходными данными для построения модели электрической структуры стратифицированной области ММКС являются результаты баллонных измерений высотного распределения электрического поля $E(z)$. Параметры распределения стороннего тока и возмущения проводимости необходимо выбрать так, чтобы модельное распределение электрического поля наилучшим образом соответствовало наблюдаемому. При этом очевидно, что зависимости $\sigma(r=0, z) = \sigma(z)$ и $j_{0\text{ext}}(z)$ взаимосвязаны. Это наиболее просто показать в одномерном приближении, соответствующем случаю большого поперечного масштаба системы, когда электрическое поле и плотность тока можно считать вертикальными. Учитывая, что верхняя и нижняя границы области расчёта соединены через шунтирующий резистор, равный полному электрическому сопротивлению атмосферы R_{atm} , и воспользовавшись законом Кирхгофа, для вертикального профиля стороннего тока и распределения проводимости можно получить уравнение

$$j_{0\text{ext}}(z) = I_\Sigma / (\pi r_0^2) - \sigma(z) E(z) = - \frac{1}{\pi r_0^2 R_{\text{atm}}} \int_0^h E(z) dz - \sigma(z) E(z), \quad (3)$$

где I_Σ – полный ток, текущий от стратифицированной области к ионосфере. Для определения основных параметров (1) и (2) предположим, что вблизи верхней границы стратифицированной области сторонние источники пренебрежимо слабы вследствие слабости конвективных потоков. Тогда наблюдаемый в этой области скачок электрического поля обусловлен только соответствующим изменением проводимости, которое можно оценить для каждого конкретного профиля $E(z)$.

Установив таким образом величину изменения проводимости в облаке, можно однозначно найти решение уравнения (3), т.е. распределение тока источника. После этого из решения прямой задачи электродинамики определяются создаваемые рассматриваемой конвективной системой поля и токи, в том числе полный ток к ионосфере, который служит мерой вклада ММКС в глобальную цепь.

Указанный подход был использован для анализа электрической структуры более чем 20 стратифицированных областей различных типов. Установлено, что проводимость внутриоблачной среды у верхней границы области стратификации от 3 до 25 раз (среднее значение 12) ниже проводимости атмосферы хорошей погоды на той же высоте. На основе полученных оценок возмущения проводимости найдены высотные профили плотности стороннего тока, обеспечивающие наблюдаемое в облаке распределение электрического поля, распределения электрического поля вне рассматриваемых систем, а также полный ток от стратифицированной области к верхним слоям атмосферы. Установлено, что для рассмотренных систем типа А вклад в глобальную цепь варьируется от -40 до $+40$ А, а вклад систем типа В всегда отрицателен и лежит в интервале от -22 до -5 А. Таким образом, стратифицированные области ММКС могут как поддерживать, так и ослаблять глобальную цепь.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 11-05-97047) и Российской академии наук (программа ОФН РАН «Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследований атмосферных процессов»).

Литература

1. Davydenko S.S., Mareev E.A., Marshall T.C., and Stolzenburg M. On the calculation of electric fields and currents of mesoscale convective systems // J.Geophys.Res., 2004, Vol.109, No.D11. DOI: 10.1029/2003JD003832
2. Marshall T. C. and Rust W.D. Two types of vertical electrical structures in stratiform precipitation regions of mesoscale convective systems // Bull. Amer. Meteor. Soc., 1993, Vol.74. Pp.2159–2170.
3. Rust W.D. and Moore C.B. Electrical conditions near the bases of thunderclouds over New Mexico // Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 1974, Vol.100. Pp.450-468.
4. Davydenko S.S., Marshall T.C., and Stolzenburg M. Modeling the electric properties of MCS stratiform regions and their contribution to the global circuit / Proceedings of XIV International Conference on Atmospheric Electricity, Rio de Janeiro, Brazil, 07-12 August, 2011. – Pp.1-4.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОДНОГО ЭФФЕКТА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ

Э.М. Дмитриев

Геофизическая обсерватория "Борок" ИФЗ РАН, Ярославская обл., пос. Борок
eldar@borok.yar.ru

В работе представлены приближенные аналитические решения задачи электродного эффекта в приземном слое для трех случаев: классического электродного эффекта, наличия слабой турбулентности и присутствия аэрозолей. В условиях хорошей погоды вертикальные приземные профили аэроэлектрического поля (E), концентраций положительных (n_+) и отрицательных (n_-) легких аэроионов, концентрации нейтральных (N_0), положительных (N_+) и отрицательных (N_-) аэрозольных частиц как функций высоты (z) находятся из решения следующей краевой задачи [4]:

$$\frac{d}{dz} \left(-D(z) \frac{dn_{\pm}}{dz} \pm bEn_{\pm} \right) = q - \alpha n_+ n_- - \beta_0 n_{\pm} N_0 - \beta n_{\pm} N_{\mp}, \quad \frac{dE}{dz} = \frac{e}{\varepsilon_0} (n_+ - n_- + N_+ - N_-),$$

$$\beta_0 n_+ N_0 = \beta n_- N_+, \quad \beta_0 n_- N_0 = \beta n_+ N_-, \quad N_0 + N_+ + N_- = N, \quad D(z) = D_0(z + z_0), \quad (1)$$

$$E|_{z \rightarrow \infty} = -E_{\infty}, \quad n_{\pm}|_{z \rightarrow \infty} = n_{\infty} = \left(\sqrt{q\alpha + (\eta N)^2 / (\alpha(2 + \eta/\eta_0))^2} - \eta N / (\alpha(2 + \eta/\eta_0)) \right), \quad n_{\pm}|_{z=z_0} = 0, \quad n_{\pm}|_{z=z_0} = 0,$$

где b – подвижность легких аэроионов, q – интенсивность ионообразования, α – коэффициент рекомбинации легких аэроионов, β_0 , β – коэффициенты их взаимодействия с нейтральными и заряженными аэрозолями, N – общая концентрация аэрозолей, $D(z)$ – коэффициент турбулентной диффузии, D_0 – параметр аппроксимации для зависимости этого коэффициента от высоты, z_0 – параметр шероховатости земной поверхности, E_{∞} – абсолютная величина аэроэлектрического поля над электродным слоем, e – элементарный заряд, ε_0 – электрическая постоянная. При этом в отсутствие турбулентности ($D_0 = 0$, $z_0 = 0$) последнее граничное условие в (1) следует опустить.

В безразмерных переменных: $n'_{\pm} = n_{\pm}/n_0$, $E' = -E/E_{\infty}$, $N'_{\pm} = N_{\pm}/N$, $N'_0 = N_0/N$, $z' = z/z_{\infty}$, где $n_0 = \sqrt{q/\alpha}$, $z_{\infty} = bE_{\infty}/\sqrt{q\alpha}$, задача (1) принимает вид:

$$\frac{d}{dz'} \left(-\varepsilon(z' + \delta) \frac{dn'_{\pm}}{dz'} \mp E'n'_{\pm} \right) = 1 - n'_+ n'_- (1 + ABN'_0), \quad \frac{dE'}{dz'} = -\beta(n'_+ - n'_-)(1 + vAN'_0),$$

$$N'_+ = v(n'_+/n'_-)N'_0, \quad N'_- = v(n'_-/n'_+)N'_0, \quad N'_0 = (n'_+ + n'_-)/\left(n'_+ n'_- + v \left[(n'_+)^2 + (n'_-)^2 \right] \right), \quad (2)$$

$$E'|_{z' \rightarrow \infty} = 1, \quad n'_{\pm}|_{z' \rightarrow \infty} = n'_{\infty} = \sqrt{1 + (AB/(1 + 2v))^2} - AB/(1 + 2v), \quad n'_{\pm}|_{z'=\delta} = 0, \quad n'_{\pm}|_{z'=\delta} = 0,$$

где введены безразмерные параметры:

$$\varepsilon = D_0/(bE_{\infty}), \quad \delta = z_0/z_{\infty}, \quad v = \eta_0/\eta, \quad A = N/n_0, \quad B = \eta_0/\alpha, \quad \beta = eb/\varepsilon_0\alpha, \quad n'_{\infty} = n_{\infty}/n_0. \quad (3)$$

Значения безразмерных параметров (3), в условиях реальной приземной атмосферы [4, 5]:

$$\varepsilon \approx (0.2 \div 160), \quad \delta \approx (0 \div 0.1), \quad v \approx (0.2 \div 0.7), \quad A \approx (0 \div 10), \quad B \approx 1, \quad \beta \approx 1.5.$$

Наиболее переменными являются параметры ε и A . Для **классического электродного эффекта**, т.е. в отсутствие турбулентности и аэрозолей ($\varepsilon = 0$, $\delta = 0$, $A = 0$), из задачи (2) может быть получено выражение для dE'/dz' как функции E' [6]. Его приближенное интегрирование дает

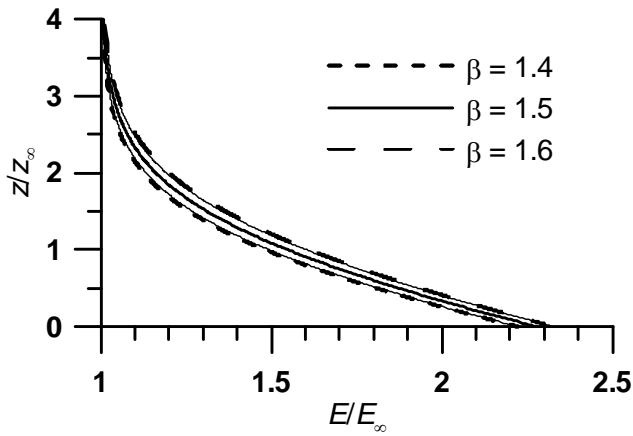


Рис. 1. Аналитические (жирные линии) и численные (тонкие сплошные линии) решения задачи классического электродного эффекта.

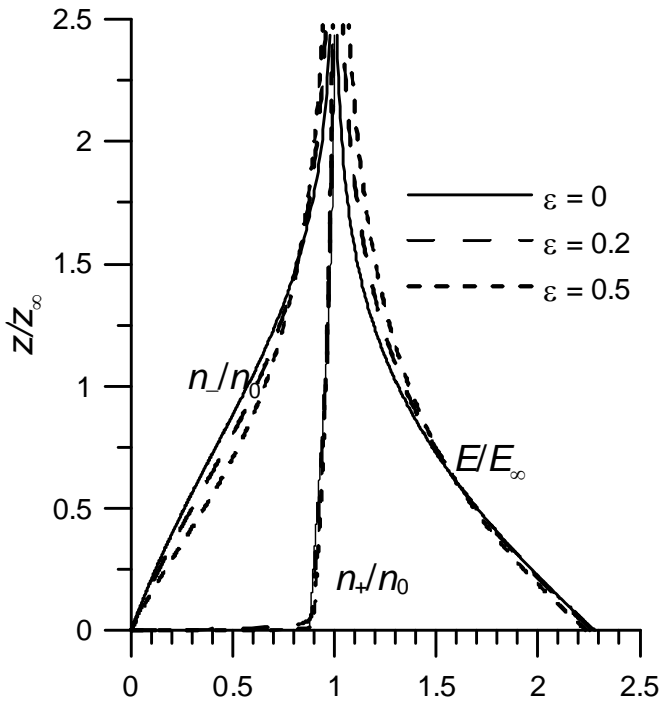


Рис. 2. Решения задачи электродного эффекта при слабой турбулентности.

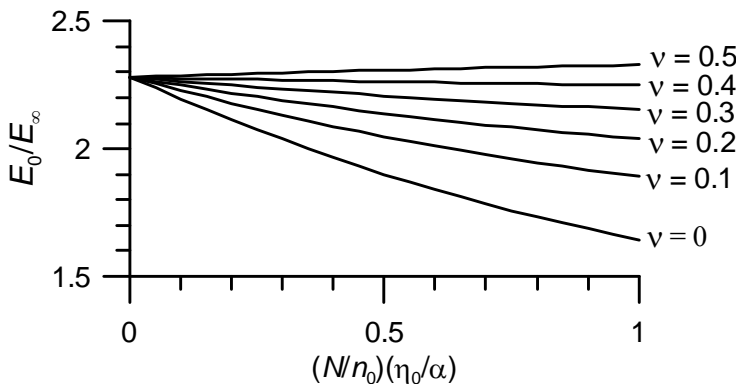


Рис. 3. Зависимость величины электродного эффекта E_0/E_∞ от параметра A при различных значениях ν .

аналитические формулы, представляющие решение задачи классического электродного эффекта в параметрическом виде [3]. Сравнение высотных профилей $E'(z')$ рассчитанных по приближенным формулам с численными решениями задачи (рис. 1) демонстрирует высокую точность данного приближения. Показано, что для $\beta = 1.5$ полученные приближенные формулы являются точными [3]. Для величины классического электродного эффекта имеет место точная формула

$$E'_0 = (E'_{z=0}) / (E'_{z \rightarrow \infty}) = (2\beta)^{1/(2-1/\beta)}, \quad (4)$$

впервые полученная Томсоном [6].

При наличии **слабой турбулентности** в отсутствие аэрозолей ($\varepsilon \ll 1$, $A = 0$) с помощью метода многих масштабов в нулевом приближении ($\varepsilon \rightarrow 0$) получено решение задачи (2) в виде [2]:

$$\begin{aligned} n'_+ &= n'_{c+}(z') (1 - (1 + (z'/\delta))^{-E'/\varepsilon}), \\ n'_- &= n'_{c-}(z'), \quad E' = E'_c(z'), \end{aligned} \quad (5)$$

где $n'_{c\pm}(z')$, $E'_c(z')$ – решение задачи классического электродного эффекта. Из (5) видно, что слабая турбулентность влияет только на высотный профиль n'_+ . Соответствующие численные решения представлены на рис. 2. Приближенное решение (5) для n'_+ не может быть изображено, на данном рисунке, ввиду его практического совпадения с численным.

При наличии **аэрозолей**, но в отсутствие турбулентности ($\varepsilon = 0$, $\delta = 0$) и $\nu \ll 1$, рассматривая задачу (2) в нулевом приближении ($\nu = 0$), аналогично случаю классического электродного эффекта, можно получить представление dE'/dz' как функции E' . Данное представление приводит к соотношению:

$$E_0^{2-1/\beta} - AB(CE_0^{-1/\beta} + D) = 2\beta, \quad (6)$$

где C и D выражаются через параметры A , B и β . При $A = 0$ из (6) следует формула (4). В общем случае уравнение (6) может быть решено только численно, однако при $\beta = 1.5$ оно сводится к кубическому уравнению, разрешимому в радикалах. На рис. 3 приведены графики E'_0 как функции параметра A при $\beta = 1.5$, $B = 1$ и различных значениях ν , найденные для $\nu = 0$ из решения уравнения (6), а для $\nu > 0$ из численного решения (2).

Полученные для задачи (2) приближенные решения и аналитические формулы могут быть полезны при построении высотных профилей электрических параметров реальной приземной атмосферы в случае малости соответствующих безразмерных параметров (3). Также полученные решения применимы для оптимизации численных расчетов параметров электродного эффекта по данным мониторинга аэроэлектрических и аэрофизических полей [1].
Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, грант 12-05-00820-а.

Литература

1. Анисимов С.В., Дмитриев Э.М. Численное моделирование электричества приземной атмосферы // Геофизические исследования. 2008. Т. 9, № 3. С.7–15.
2. Дмитриев Э.М. Асимптотическое решение задачи приземного электродного эффекта при слабом турбулентном перемешивании // Геофизические исследования. 2011. Т. 12, № 4. С.52–58.
3. Дмитриев Э.М., Филиппов В.А. Аналитическое решение задачи классического электродного эффекта в приземной атмосфере // Геофизические исследования. 2010. Т. 11, № 4. С.53–59.
4. Куповых Г.В., Морозов В.Н., Шварц Я.М. Теория электродного эффекта в атмосфере. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1998. 123с.
5. Смирнов В.В. Ионизация в тропосфере. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1992. 312с.
6. Thomson J.J. Conduction of electricity through gases. Cambridge: Univ. Press, 1903. 566p.

ВОЗМУЩЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И СОСТАВА СРЕДНЕЙ АТМОСФЕРЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЫСОТНЫХ РАЗРЯДОВ

А.А. Евтушенко, Ф.А. Кутерин, Е.А. Мареев
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород
a_evtushenko@inbox.ru

Открытые в конце XX века высотные разряды (спрайты, эльфы, джеты, гало) поставили целый ряд новых задач перед специалистами по физике и химии атмосферы. Одним из наиболее актуальных и не до конца выясненных вопросов является изучение влияния высотных разрядов на химический состав атмосферы. В работе решена самосогласованная задача о влиянии спрайта на состав мезосферы. Спрайты – это высотные разряды, возникающие в мезосфере и нижней термосфере на высотах от 50 до 90 километров и тесно связанные с молниевой активностью. Условия для зажигания разряда в мезосфере (на высоте около 80 км) создаются обычно после положительного разряда облако-земля, приводящего к формированию нескомпенсированного отрицательного заряда в облаке. Как известно, электрическое поле, необходимое для пробоя атмосферы, зависит от давления газа, т.е. падает экспоненциально с высотой. На определенной высоте электрическое поле начинает преобладать над пробойным, что приводит к инициации спрайта. При дальнейшем протекании тока в канале молнии нескомпенсированный заряд в облаке растет. Однако на высотах спрайта электрическое поле не увеличивается, а начинает релаксировать из-за резкого роста проводимости, связанного с ионизацией молекулярного азота и кислорода в электрическом поле.

Ранее авторами была разработана одноточечная плазмохимическая модель возмущений химического состава мезосферы под действием спрайта [1]. Модель включает 267 реакций для 58 химических компонент. Было проведено исследование возмущений мезосферы под действием заданного электрического поля на нескольких высотах, не принимая во внимание влияние изменяющейся во время спрайта проводимости. Выделены наиболее сильно возмущающиеся ионы, нейтралы, возбужденные атомы и молекулы. Проанализирована временная динамика возмущений химических компонент и их релаксации, зависимость вкладов важнейших химических реакций от времени. Однако для корректного учета влияния спрайта на состав мезосферы необходимо учитывать резкий рост проводимости и соответствующее уменьшение напряженности электрического поля [2], что и сделано в данной работе.

Электрическое поле на высотах мезосферы определялось из решения уравнения
$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\sigma E}{\varepsilon_0} = \frac{\partial E_{ext}}{\partial t}.$$

E_{ext} – внешнее электрическое поле, вычисляемое в дипольном приближении, создаваемое нескомпенсированным электрическим зарядом в облаке, находящимся над проводящей поверхностью Земли. Проводимость мезосферы σ определяется из соотношения $\sigma = \frac{e^2 N_e}{m_e \nu_e(T_e)}$ и

зависит от концентрации электронов N_e и частоты столкновения электронов $\nu_e(T_e)$. Уравнение $\nu_e(T_e) = 1.84 \cdot 10^9 \cdot (N_m / 10^{17}) \cdot (T_e / 1000)^{5/6}$ описывает изменение частоты столкновений электронов при увеличении их температуры T_e . В свою очередь температура электронов зависит от напряженности

электрического поля $T_e/T = (E/E_p)^{3/4}$. Сила тока в канале молнии зависит от времени

$$I(t) = I_0 \cdot \frac{(t/\tau_1)^2 \cdot e^{-t/\tau_2}}{1 + (t/\tau_1)^2},$$

где характерные времена $\tau_1=70$ мкс и $\tau_2=500$ мкс. Нескомпенсированный заряд

в облаке получается интегрированием силы тока в молниевом канале.

На рис.1. показана зависимость параметра θ (θ – отношение напряженности электрического поля (в В/см) к концентрации нейтрального газа (в см⁻³) с коэффициентом 10^{-16}) от времени и высоты. Видно, что инициация имеет место не сразу после начала протекания электрического тока в канале молнии. На высоте около 80 км θ начинает превышать критическое значение, и коэффициент прилипания электронов становится меньше, чем коэффициент ионизации. Видно, что θ на высотах около 80 км резко растет и достигает своего максимального значения 26 В·см², однако далее следует резкое падение. На высоте 70-75 км максимальные значения θ не столь высоки, но из-за большей концентрации нейтральных молекул, большего времени возмущения поля, концентрации электронов возрастают до максимального значения 1250 см⁻³ рис.2, т.е. максимальные значения нормированного поля и максимальные возмущения концентрации электронов не совпадают по высоте.

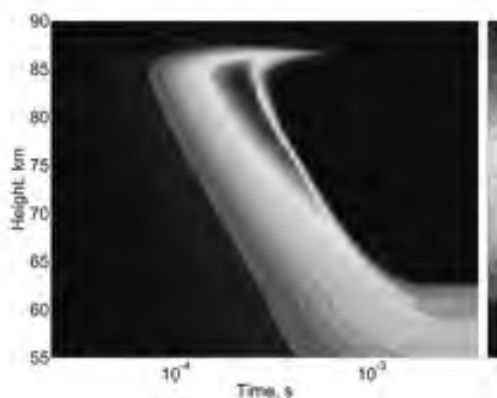


Рис.1. Возмущение параметра θ .

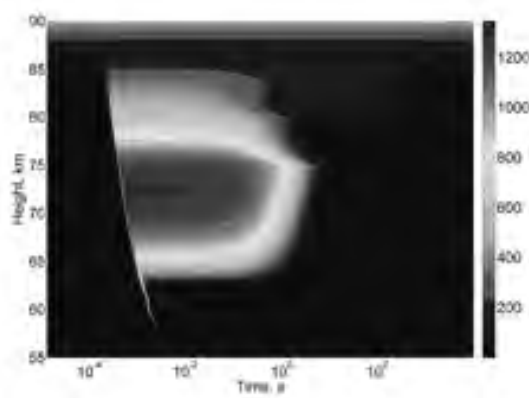


Рис. 2. Возмущение концентрации электронов.

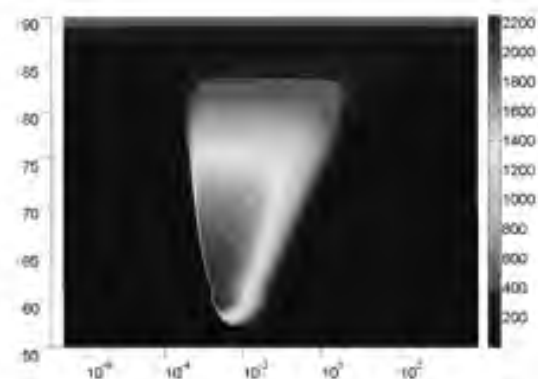


Рис. 3. Возмущение концентрации O_2^+

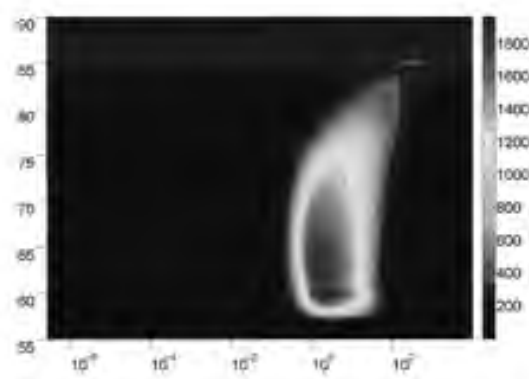


Рис. 4. Возмущение концентрации $H_5O_2^+$

Максимальные возмущения концентрации O_2^+ и связанного с ним $H_5O_2^+$ наблюдаются на высотах от 60 до 75 километров (рис. 3-4).

Таким образом, в работе выделены наиболее сильно возмущающиеся ионы, нейтралы, возбужденные атомы и молекулы. Проанализирована высотно-временная динамика возмущений химических компонент и их релаксации. Изучена динамика развития возмущений ионов-связок, характерных для высот инициации спрайтов. Также исследованы излучения возбужденных атомов и молекул, характерных для вспышки спрайта.

Разработанный программно-вычислительный комплекс позволяет исследовать влияние не только спрайтов, но и других видов высотных разрядов на возмущения химического состава атмосферы. В дальнейшем планируется развить трехмерную модель для более точного учета распределения напряженности электрического поля на высотах мезосферы.

Работа выполнена при поддержке Программы ОФН РАН «Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследования атмосферных процессов» и грантов РФФИ №10-05-01045а и №11-05-12055-офи-м-2011.

Литература

1. Евтушенко А.А., Мареев Е.А. Моделирование возмущений состава мезосферы под действием высотных разрядов – спрайтов// Изв. ВУЗов – Радиофизика, 2011, Т. 54, № 2. С. 123-140.
2. Evtushenko A.A., Kuterin F.A., Mareev E.A., A model of sprite influence on the chemical balance of mesosphere, in Proc. of XIV International Conference on Atmospheric Electricity, August 08-12, 2011, Rio de Janeiro, Brazil.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАВИН ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ, ВЫЗВАННЫХ КОСМИЧЕСКИМИ ЛУЧАМИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ГРОЗОВЫХ ОБЛАКОВ

Я.С. Еленский, А.В. Лапа, А.С. Лидванский
И-т ядерных исследований, Москва, Россия
lidvansk@lebedev.ru

В теории пробоя на убегающих электронах [1] вторичные космические лучи служат затравочными частицами для создания лавин электронов и позитронов. Во время гроз сильные электрические поля



Рис 1. Каскады частиц произведенные единственным электроном с $E = 1$ МэВ в электрическом поле 5 кВ/см. Электроны, позитроны, и фотоны представлены красным, синим, и зеленым цветом линий. Начальная точка в центре.

грозовых облаков вызывают ускорение или замедление заряженных частиц в зависимости от полярности поля и знака заряда частицы. Судьба каждой отдельной частицы (станет она убегающей или нет) определяется ее энергией и величиной поля и может быть описана сепаратрисой на плоскости этих переменных. В настоящей работе получено семейство сепаратрис для двух основных процессов, которые могут быть зарегистрированы: 1) возникновение лавин заряженных частиц (в основном электронов) с большим коэффициентом усиления, 2) рождение в такой лавине сравнительно небольшого числа убегающих позитронов, которые в дальнейшем движутся «почти вверх» – навстречу ускоряющимся электронам.

Пример лавины частиц, рожденных в электрическом поле 5 кВ/см единственным электроном с довольно низкой энергией 1 МэВ, показан на рис. 1. Можно видеть, что несколько каскадов электронов (красные линии) рождены гамма-лучами (зеленые линии) в различных местах, включая стартовые выше, чем отправная точка, и далекие от начальной (вертикальной) траектории. Можно видеть также два позитрона (синие линии), идущих в противоположном направлении.

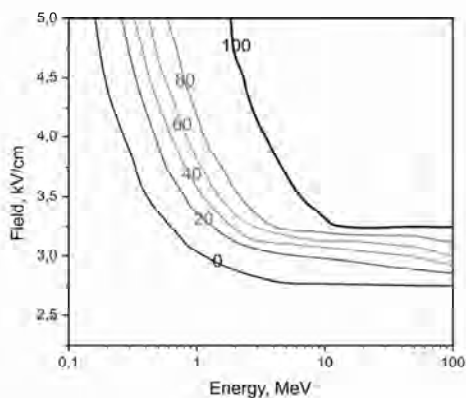


Рис 2. Линии равной вероятности (сепаратрисы) для вероятности выживания лавины из 100 частиц, порожденной одиночным электроном с $E = 0.1 - 100$ МэВ в разных полях 2.0 – 5.0 кВ/см. Цифры у кривых – вероятность в процентах.

Расчеты с использованием метода Монте-Карло были выполнены при помощи популярного пакета программ GEANT4 [7]. Розыгрыш проводился на плоскости, где абсцисса и ордината представляют начальную кинетическую энергию и напряженность электрического поля, соответственно (рис. 2). Направление начального импульса совпадало с направлением поля. Диапазон изменения энергии 0.1 – 100 МэВ (в логарифмическом масштабе), поле изменяется в пределах 2 – 5 кВ/см.

На область накладывалась сетка с малым шагом по обеим осям (0.05 кВ/см по полю, 0.05 по логарифму энергии), в каждом узле сетки рассчитывалась вероятность соответствующего события (выживание лавины с заданным числом частиц или появление нескольких позитронов). Вероятность определялась как отношение (в процентах) числа частиц при выполнении заданного условия к полному числу частиц в данном узле. Полученные вероятности задают на плоскости функцию двух переменных, ее линии уровня – линии равной вероятности – и суть вероятностные сепаратрисы. Число моделируемых событий колебалось от 1000 до 10000 в каждом узле. Считалось, что среда (воздух) находится при нормальных атмосферных условиях (на протяжении всего пробега частиц).

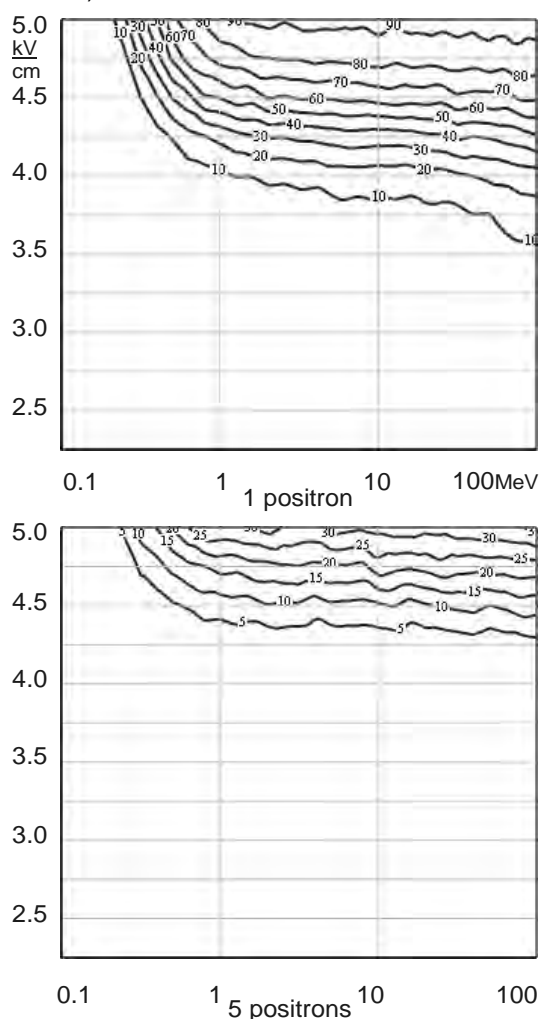


Рис 3. Линии равной вероятности для генерации 1 позитрона и для 5 позитронов при разных полях и для разных энергий первичного электрона.

экспоненциальному росту плотности частиц в ограниченном объеме. Как показано в [3], энергетически этот процесс определенно возможен, пороговое поле для этого процесса превышает стандартное критическое поле теории убегающих электронов только на 30 %. Естественно задаться вопросом: велика-ли вероятность подобного процесса? Эта вероятность в большой степени зависит от числа рассеянных назад позитронов, которые могут быть рождены в лавинах убегающих электронов. В этой работе мы моделируем каскады убегающих электронов, определяем процент событий с различным числом позитронов как функцию стартовой энергии частицы и напряженности электрического поля. Основные особенности поведения позитронного потока можно видеть на рис. 3. При фиксированной напряженности поля выход позитронов почти постоянен для энергий в широком энергетическом диапазоне 1–100 МэВ. Напротив, его зависимость от поля очень сильна. Нужно отметить, что обратная связь через позитроны была обсуждена в литературе ранее, но в несколько другом смысле: J. Dwyer [6] вычислил дополнительный вклад в каскады убегающих электронов новых каскадов, рожденных дельта-электронами, в свою очередь, произведенных позитронами. Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, грант 12-02-01028-а.

1) Для лавин расстояние, на котором прослеживались частицы было эмпирически выбрано равным 4 км. При меньшей величине этого параметра картина убегающих частиц зависит от его величины, в то время как при большей остается неизменной. Увеличивать его далее нет смысла, т.к. 4 км воздуха соответствуют существенной части всей атмосферы, и в реальных условиях едва ли можно ожидать сильных электрических полей с большей эквивалентной протяженностью. Вычисления были сделаны для различных чисел электронов, выживших в лавине, например, больше 100. Для этого случая результат розыгрыша представлен на рис. 2. Заметим, что при переходе от 100 частиц к 2 частицам картина меняется мало: кривая $P=100\%$ целиком, без изменения формы, смещается горизонтально (вправо), так что ее верхняя часть (при поле 5 кВ/см) оказывается над абсциссой $E=10$ МэВ, остальные кривые почти не изменяются. В нашей предыдущей работе [2] был выполнен похожий расчет и приведены графики, но не для лавин, а для отдельных частиц. Имеется некоторое сходство наиболее заметное в левой части графиков. Таким образом, сепаратрисы для одиночной частицы, не имеющие прикладного значения, близки к сепаратрисам для процессов, реально происходящим в атмосфере.

2) Рождение, ускорение и выживание позитронов интересно по нескольким причинам. Во-первых, их присутствие ведет к образованию петли положительной обратной связи и сильному росту числа частиц в небольшом объеме [3]. Во-вторых, они, могут быть ответственны за возникновение высотных разрядов [5]. Сущность механизма формирования обратной связи в электрическом поле такова: в одном и том же поле электроны ускоряются в одном направлении а позитроны в противоположном направлении. Процесс рождения пар с последующим кулоновским рассеянием, поворачивающим один компонент пары (перемещающийся против ускоряющего поля), замыкает обратную связь. Этот процесс может повторяться многократно и приводить к

Литература

1. Гуревич А.В., Зыбин К.П., УФН, 2001, Т. 171, с. 1177–1199.
2. Еленский Я.С., Лапа А.В., Лидванский А.С. Изв. РАН, сер. физ., 2011, том 75, № 6, с. 891–893.
3. Лидванский А.С., Хаердинов Н.С. Изв. РАН, сер. физ., 2007, т. 71, № 7, с. 1060-1062.
4. Babich L.P. et al., IEEE Transactions on Plasma Science, 2001, V. 29, No. 3, p. 430.
5. Bell T.F., Pasko V.P., and Inan U.S., Geophys. Res. Lett., 1995. V. 22. p. 2127.
6. Dwyer J.R., Geophys. Res. Lett., 2003. V. 30. No. 20, P. 2055.
7. Geant4, <http://geant4.web.cern.ch/geant4>

МОЛНИИ И ПОСЛЕДСТВИЯ ОТ НИХ НА ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА ПЕРИОД 1990-2011 ГГ

Т.В. Ершова, О.В. Петухова

Томский государственный педагогический университет, Томск, Россия

Ershova10@mail.ru

Молнии, шквальный ветер и ливни являются самыми распространенными опасными явления в летнее время. Все эти явления приводят к серьезным авариям и последствиям, включая смерть людей.

Целью данных исследований является обзор происшествий, связанных с молниями и сопровождающими их опасными погодными явлениями (шквальный ветер, ливни и др.) на территории Томской области за период 1990–2011 гг.

Наблюдения за атмосферными явлениями в городе Томске проводит всего одна метеорологическая станция, расположенная в южной части города. Конвективные облака, и все связанные с ними явления (грозы, ливни, шквалы) носят локальный характер, и поэтому, не все случаи регистрируются единственной городской метеорологической станцией. Российские страховые компании не учитывают число страховых случаев от молний и других опасных явлений погоды. Поэтому было принято решение провести обзор СМИ (областные газеты и информационные сайты Интернет) [1-29] для получения более полной информации об опасных явлениях погоды (грозах, ливнях, шквалах) и происшествиях (в том числе авариях) на территории Томска и области.

В результате были выявлены следующие особенности воздействия опасных атмосферных явлений, связанных с конвективными облаками. Молнии и другие опасные погодные явления, приводящие к авариям и разрушениям, как правило, наблюдались в июне – июле в ночное время суток. Чаще всего подвергались природной стихии южные районы области, где проживает более половины населения области. К авариям, связанным с ударом молнии и воздействием ливней, шквала, можно отнести: падение деревьев и веток; обрывы ЛЭП и, как следствие, аварийное отключение электроэнергии и нарушение водоснабжения; повреждение и подтопление построек; выход из строя техники, включая приборы самолетов и светофоры на автодорогах; пожары (лесные и зданий). Чаще всего в областном центре из-за сильных порывов ветра падали тополя, при отдельных ураганах до 300 деревьев.

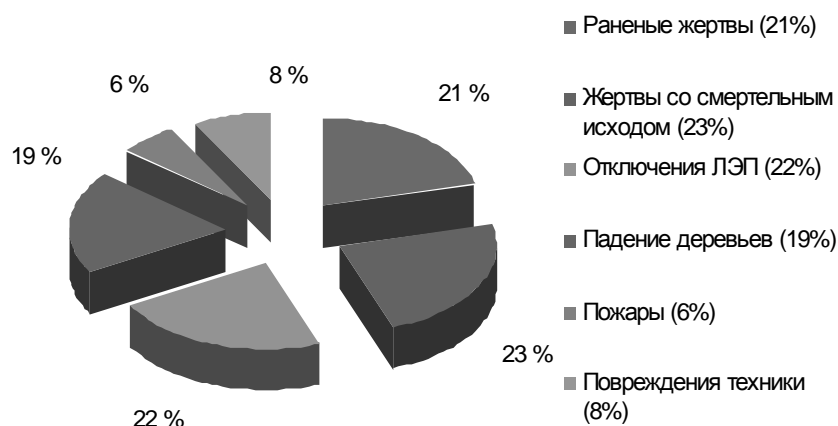


Рис. Диаграмма процентного соотношения происшествий и аварий, связанных с молниями и другими опасными явлениями (ливнями, градом, шквалом) на территории Томской области за период 1990-2011 гг. (по данным СМИ)

Наиболее трагическими последствиями удара молний являлись человеческие жертвы. В Томской области только за период 1990–2011 гг. от разряда молний погибло 23 человека, и получили ранения 21 человек. Люди погибают и получают ранения, как от прямого попадания молний, так и в результате воздействия на объекты сильного ветра или ливня. Так, например, в 1996 г. 11 июля в г. Асино и 27 июля в Тегульдетском районе в результате удара молнии погибло пять человек, которые во время разрядов находились на открытом пространстве в поле [4, 7]. В

результате шквального ветра, который часто сопровождает молнии, происходит падение деревьев, веток на крыши домов и обрыв ЛЭП, которые наносят ущерб здоровью человека. Например, в г. Томске 14 июля 2005 г. житель города получил сотрясение мозга и перелом бедра от падения ветки во время урагана [6]. От разрядов молний погибает домашний скот, так например, 2 августа 2006 г. в Асиновском районе погибло 16 коров во время грозы [27].

Количество случаев, связанных с ударами молний и сопровождающих их опасных погодных явлений, имеет тенденцию к увеличению. Если за период с 1990 по 2000 гг. происходило в среднем за лето 1–2 случая, то уже за период с 2000 по 2011 гг. наблюдалось от 2 до 5 несчастных случаев, вызванных опасными метеорологическими явлениями.

На территории Томской области за период 1990–2011 гг. часть аварий и происшествий из-за молний и сопровождающих их опасных погодных явлений, была связана с порывами ЛЭП – 22% от всех рассмотренных случаев (рис.), падениями деревьев – 19%. На повреждение техники (выход из строя подстанций, падение деревьев на автомобили, повреждение приборов самолётов от удара молнии) пришлось 8% случаев, на пожары – 6%. Наибольшая доля последствий была связана с воздействием молний и сопровождающих погодных явлений на человека: 23% составляли смертельные случаи и 21% случаев относился к ранению людей.

Работа подготовлена при поддержке программы Европейского союза Эрасмус Мундус (Erasmus Mundus Action 2) EMA 2 MULTIC 10-939.

Литература

1. Буря мглою.... // Красное знамя. – 1991. – 1 июня.
2. Ветер сносил тополя // Красное знамя. – 2002. – 30 мая.
3. Гроза унесла электричество // Честное слово. – 2009. – 22 июля.
4. Злая молния // Красное знамя. – 1996. – 27 июля.
5. И снова полыхает лес // Красное знамя. – 2001. – 5 июня.
6. Лесной пожар из-за грозы // Красное знамя. – 2005. – 1 июля.
7. Место, меченное чертом // Красное знамя. – 1996. – 11 июля.
8. Необычной силы ураган // Красное знамя. – 1999. – 14 июля.
9. От огня пострадало 2000 га леса // Красное знамя. – 2000. – 11 июля.
10. После воды – огонь? // Красное знамя. – 1997. – 16 июля.
11. Сезон пожаров позади // Красное знамя. – 2003. – 15 августа.
12. Смерч в Томском районе // Красное знамя. – 1995. – 21 мая.
13. Смерч со скоростью 100 км/ч // Томская неделя. – 2005. – 14 июля.
14. Снесенные ветром // Красное знамя. – 2001. – 30 мая.
15. Три урагана над Каргаском // Красное знамя. – 1994. – 23 июля.
16. Тучи сгущаются. Ураганы в Томской области становятся традиционными // Вечерний Томск. – 2005. – 10 июля.
17. Ураган в Бакчаре // Красное знамя. – 1996. – 25 июля.
18. Ураган в Тегульдете // Красное знамя. – 2003. – 15 июля.
19. Ураганный ветер оставил без света // Красное знамя. – 2005. – 21 июня.
20. Чрезвычайная ситуация в тайге // Красное знамя. – 1999. – 13 июля.
21. Школьного учителя убило молнией // Вечерка. – 2011. – 23 июля.
22. В Бакчаре из-за грозы 3 тысячи человек на сутки остались без электричества // Все новости. Томск: Происшествия: сайт. Томск, 2009. URL: <http://vesti70.ru/news/full/?id=55646> (дата обращения 28.01.2012).
23. Детские лагеря близ Томска остались ночью без света из-за урагана // Риановости: экология: сайт. Москва, 2006. URL: <http://eco.ria.ru/weather/20110714/401433226.html> (дата обращения 3.02.2012).
24. В Томске во время урагана пострадали 6 человек // Новости России: сайт. URL: <http://www.newsru.com/russia/18jun2007/uragan.html> (дата обращения 28.01.2012).
25. Из-за порывистого ветра несколько районов Томска и близлежащих поселков остались без электричества // Томский обзор: сайт. Томск, 2005. URL: <http://obzor.westsib.ru/news/294243> (дата обращения: 03.02.2012).
26. Молния ударила в самолет Москва-Томск // Око планеты: сайт. 2003. URL: <http://oko-planet.su/phenomen/phenomennews/37666-molniya-udarila-v-samolet-moskva-tomsk.html> (дата обращения 28.01.2012).
27. Под Томском гроза убила стадо коров // Интернет-газета: Дни. Ру: сайт. Москва URL: <http://www.dni.ru/incidents/2006/8/2/88051.html> (дата обращения 28.01.2012).
28. Сухие грозы подожгли лес в Верхнекетском районе Томской области // НИА-Томск: сайт. Томск, 2009. URL: <http://www.70rus.org/> (дата обращения 3.02.2012).
29. Удар молнии сжег дом в Колпашевском районе // Новости в Томске. Происшествия: сайт. Томск. URL: <http://news.vtomske.ru/news/3516.html> (дата обращения 03.02.2012).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ ПРОВОДИМОСТИ В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

А.А. Жидков, А.В. Калинин
 Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород
 Artem.Zhidkov@gmail.com

Исследование глобальной электрической цепи является одной из важнейших задач физики атмосферы [2,5]. Моделированию глобальной цепи посвящены, в частности, работы [3,6]. В настоящей работе изучается вклад в глобальную электрическую цепь электрических токов, протекающих в грозовых облаках, при различных распределениях проводимости атмосферы. Для исследования используется математическая модель глобальной цепи, предложенная в работе [1]:

$$\frac{\partial}{\partial t} \Delta \varphi(x, t) + 4\pi \operatorname{div}(\sigma(x) \operatorname{grad} \varphi(x, t)) = 4\pi \operatorname{div} \vec{J}^{\text{ct}}(x, t), \quad x \in \Omega, t \in (0, T), \quad (1)$$

$$\int_{\Gamma_2} \left(\frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial \varphi}{\partial n} + 4\pi \sigma \frac{\partial \varphi}{\partial n} \right) d\Gamma = 4\pi \int_{\Gamma_2} J_n^{\text{ct}} d\Gamma, \quad t \in (0, T), \quad (2)$$

$$\varphi|_{\Gamma_1} = 0, \quad \varphi|_{\Gamma_2} = C(t), \quad t \in (0, T); \quad \varphi|_{t=0} = \varphi_0(x), \quad x \in \Omega. \quad (3)$$

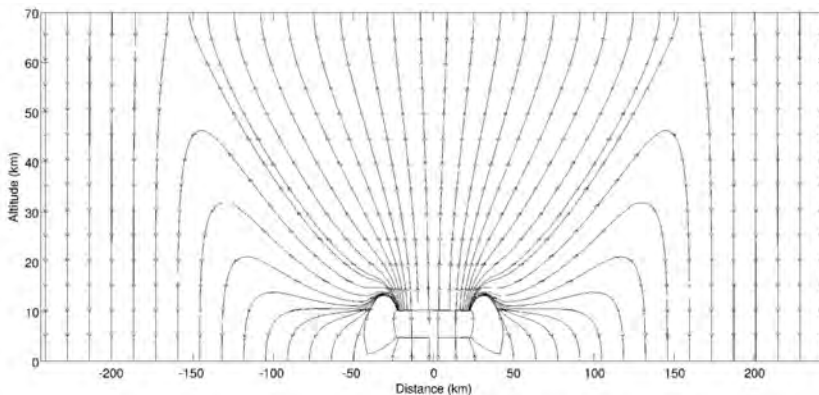


Рис. 1. Линии электрического тока, создаваемого грозовым облаком

Здесь Ω – область, диффеоморфная шаровому слою (атмосфера Земли), с границей $\partial\Omega = \Gamma_1 \cup \Gamma_2$, Γ_1 – поверхность Земли, Γ_2 – поверхность, ограничивающая верхние слои атмосферы. Особенностью постановки (1)-(3) является определение потенциала на верхней границе исследуемой области (функция $C(t)$) в процессе решения задачи.

Численная модель основывается на приведении задачи (1)–(3) к интегральному тождеству

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dt} \int_{\Omega} (\operatorname{grad} \varphi(x, t) \cdot \operatorname{grad} \psi(x)) dx + \\ & + 4\pi \int_{\Omega} \sigma(x) (\operatorname{grad} \varphi(x, t) \cdot \operatorname{grad} \psi(x)) dx = \quad (4) \\ & = 4\pi \int_{\Omega} (\vec{J}^{\text{ct}}(x, t) \cdot \operatorname{grad} \psi(x)) dx, \end{aligned}$$

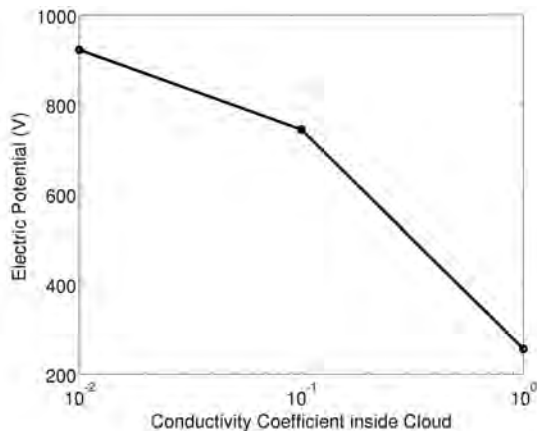


Рис. 2. Зависимость ионосферного потенциала от коэффициента проводимости в облаке

характерному для применения различных проекционных методов, например, метода Галёркина. Уравнение (4) дополняется начально-краевыми условиями (3).

В работе исследовано влияние неоднородности проводимости на возмущение потенциала, обусловленное токами гроз. Все расчёты были проведены шаровом слое в предположении, что параметры задачи $\sigma(x)$, $\vec{J}^{\text{ct}}(x, t)$, $\varphi_0(x)$ обладают осевой симметрией, то есть зависят только от расстояния от центра Земли r и широты θ .

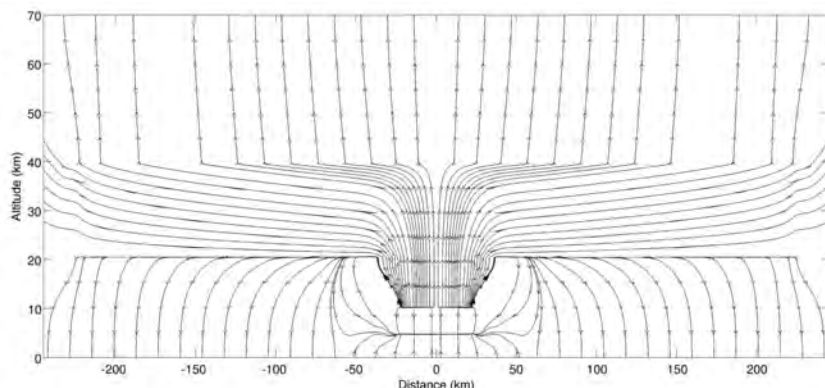
Была исследована задача с неоднородностью проводимости в грозовом облаке со следующими параметрами:

$$J_r^{ст} = \begin{cases} j_0, & r_- \leq r \leq r_+, 89.8^\circ \leq \theta \leq 90^\circ, \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad J_\theta^{ст} = 0,$$

$$\sigma(x) = \sigma_0 \exp\left(\frac{r - R_{зем}}{H}\right) \cdot \begin{cases} C, & r_- \leq r \leq r_+, 89.8^\circ \leq \theta \leq 90^\circ, \\ 1, & \text{иначе,} \end{cases}$$

где $\sigma_0 = 3 \cdot 10^{-13} \text{ (Ом} \cdot \text{м)}^{-1}$, $H = 6 \text{ км}$, $R_{зем} = 6370 \text{ км}$, $r_- = R_{зем} + 5 \text{ км}$, $r_+ = R_{зем} + 10 \text{ км}$.

На рисунке 1 представлено распределение линий электрического поля, создаваемого грозовым



облаком. На рисунке 2 показана зависимость ионосферного потенциала от коэффициента, характеризующего уменьшение проводимости в грозовом облаке при значениях $C = 1, 0.1, 0.01$. Снижение проводимости в облаке в 100 раз влечёт увеличение электрического потенциала на границе с ионосферой в 4 раза.

Рис. 3. Линии электрического тока, создаваемого грозовым облаком, в случае увеличения проводимости в стратосфере

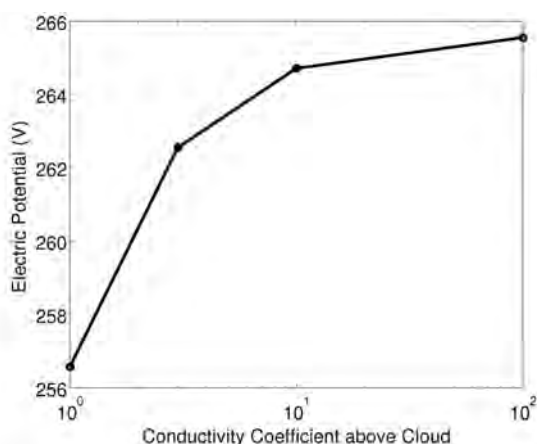


Рис. 4. Зависимость ионосферного потенциала от коэффициента увеличения проводимости в стратосфере

Другой важной проблемой является вопрос о возможном влиянии роста проводимости в стратосфере на ионосферный потенциал (см. дискуссию в работах [4-6]). На рисунках 3 и 4 представлены результаты расчётов для задачи, моделирующей увеличение проводимости в стратосфере:

$$r_- = R_{зем} + 20 \text{ км},$$

$$r_+ = R_{зем} + 40 \text{ км}.$$

Расчёты проводились для случаев $K = 1, 3, 10, 100$.

Результаты расчётов, приведённые на рисунке 4, показывают, что изменение проводимости в стратосфере в 100 раз влечёт изменение ионосферного потенциала всего лишь на 3%.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках гос. задания на оказание услуг в 2012-2014 гг. подведомственными ВУЗами (шифр заявки 1.1907.2011), гранта Правительства Российской Федерации (договор № 11.G34.31.0048) и Программы Президиума РАН №4.

Литература

1. Жидков А.А., Калинин А.В. Некоторые вопросы математического и численного моделирования глобальной электрической цепи в атмосфере // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2009, № 6 (1). С. 150–158.
2. Мареев Е.А. Достижения и перспективы исследований глобальной электрической цепи // УФН, 2010, Т.180, №5. С.527-534.
3. Browning G.L., Tzur I., Roble R.G. A global time-dependent model of thunderstorm electricity. Part I. Mathematical properties of the physical and numerical models // J. of the Atmospheric Sciences, 1987, Vol. 44, No.15. Pp. 2166–2177.
4. Markson R. Solar Modulation of atmospheric electrification and possible implementations for the sun-weather relationship // Nature, 1978, Vol. 273. Pp. 103-109.
5. Markson R. The global circuit intensity: Its measurement and variation over the last 50 years // Bull. Am. Met. Soc., 2007. Pp. 223-241. Doi:10.1175/BAMS-88-2-223.
6. Willett J. Solar modulation of the supply current for atmospheric electricity // J. Geophys. Res., 1979, Vol. 84 (C8). Pp. 4999–5002.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВО ВРЕМЯ ГРОЗ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА

Б.Г. Зайнетдинов¹, Н.И. Герасименко², В.Н. Морозов¹, И.Б. Попов¹

1 - Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова Росгидромета, Санкт-Петербург

2 - Российский государственный гидрометеорологический университет

bulatoss@yandex.ru

С целью совершенствования методов обработки результатов наблюдений за приземным атмосферным электричеством, которые выполняются на специализированных пунктах сети Росгидромета, проведены исследования спектральных характеристик напряженности электрического поля (E) во время гроз. Предпосылкой для проведения таких исследований стали ранее проведенные статистические оценки влияния различных метеорологических явлений на параметры атмосферного электричества [1]. На рис.1 показано распределение значений E в виде коробчатой диаграммы в зависимости от различных метеорологических явлений. Исходной для анализа являлась информация о среднечасовых значениях E банка данных «Атмосферное электричество» специализированного центра ГГО и стандартная метеорологическая информация станции Воейково с 1989 по 2007 гг.

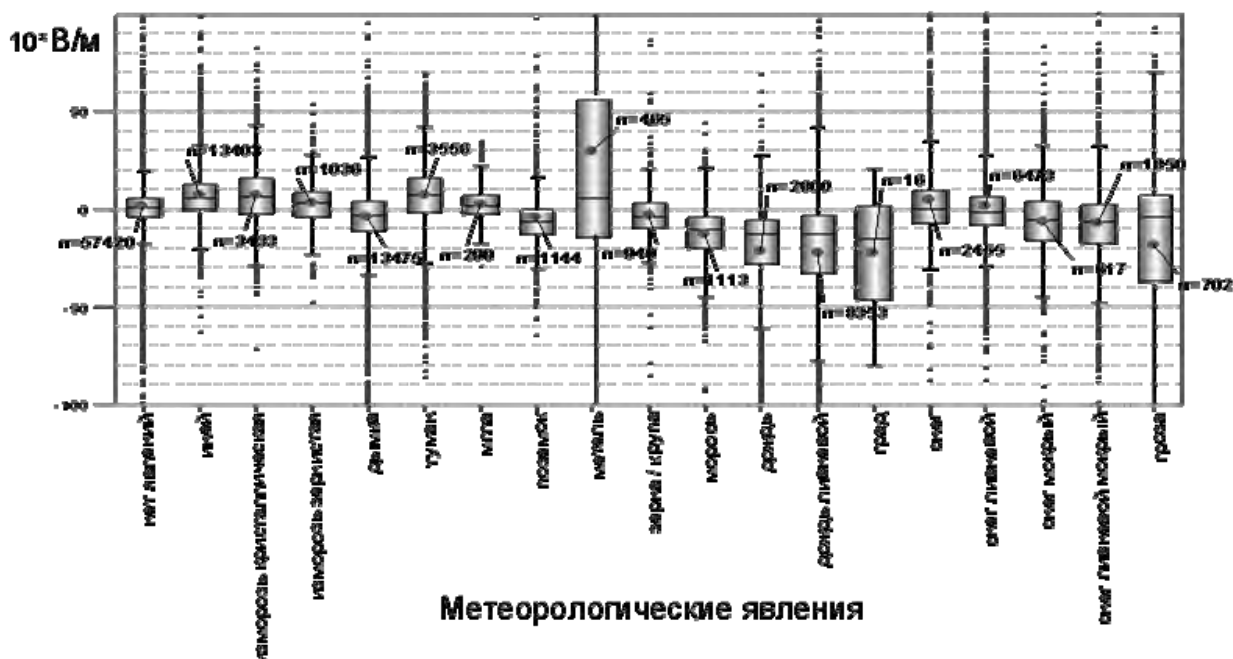


Рис. 1. Статистика распределения значений напряженности электрического поля в зависимости от метеорологических явлений.

На приведенной диаграмме хорошо видно, что такие явления как гроза, град, метель и интенсивные осадки сопровождаются значительными вариациями E. При дожде и мокром снеге электрические заряды вблизи поверхности земли имеют преимущественно отрицательный знак, а при метелях – положительный. Полученные результаты могут быть использованы, например, для исследования изменений фоновых значений характеристик атмосферного электричества, когда целесообразно исключить из анализа периоды действия локальных электрических зарядов. Однако даже в отсутствии явлений, как видно на диаграмме, в некоторых случаях абсолютные среднечасовые значения E могут достигать крайне высоких величин. В связи с этим представляется перспективным развитие комбинированного подхода к исследованию данных по атмосферному электричеству с использованием методов статистического и спектрального анализа.

Поэтому, в качестве поисковой работы, на основании вейвлет-анализа проведены исследования спектральных характеристик E по данным измерений на пункте в Воейково. Измерения выполнялись с помощью электростатического флюксметра «Поле-2» с периодом 100 сек. Были проанализированы все случаи грозовой активности, имевшие место с мая по июль 2011 г. Источником информации о времени начала и окончания грозы являлись сообщения метеостанции в Воейково. Для обработки данных использовался программный пакет MATLAB 2009b.

Одной из основных проблем, с которыми сталкиваются исследователи при работе с вейвлет-анализом, является выбор вейвлет-образующей функции (вейвлета). Выбор анализирующего вейвлета, как правило, определяется тем, какую информацию необходимо извлечь из сигнала. Каждый вейвлет имеет характерные особенности во временном и в частотном пространстве, поэтому иногда, используя различные вейвлеты, можно полнее выявить и подчеркнуть те или иные свойства

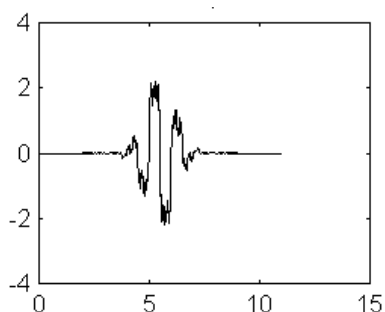


Рис.2. Общий вид биортогонального вейвлета порядка 3.3

анализируемого сигнала [2]. В связи с этим на первом этапе исследований сопоставлялись результаты, получаемые при использовании следующих вейвлетов: биортогональный порядка 3.3, Добеши 2-го и 4-го порядков, Гаусса 4-го порядка, «мексиканская шляпа», Мейера, Морле, Койфмана 1-го порядка и вейвлет Хаара. По итогам сопоставления для дальнейшего анализа выбор был сделан в пользу биортогонального вейвлета порядка 3.3, изображенный на рис.2. Такой вейвлет относится к классу сверхширокополосных и по своей форме подобен сигналам напряженности электрического поля, регистрируемому во время гроз. На рисунках 3 и 4 приведены графики хода E 12 и 27 июля 2011 и результаты соответствующего вейвлет-преобразования биортогональным вейвлетом порядка 3.3.

Стрелками обозначено время начала и окончания грозы.

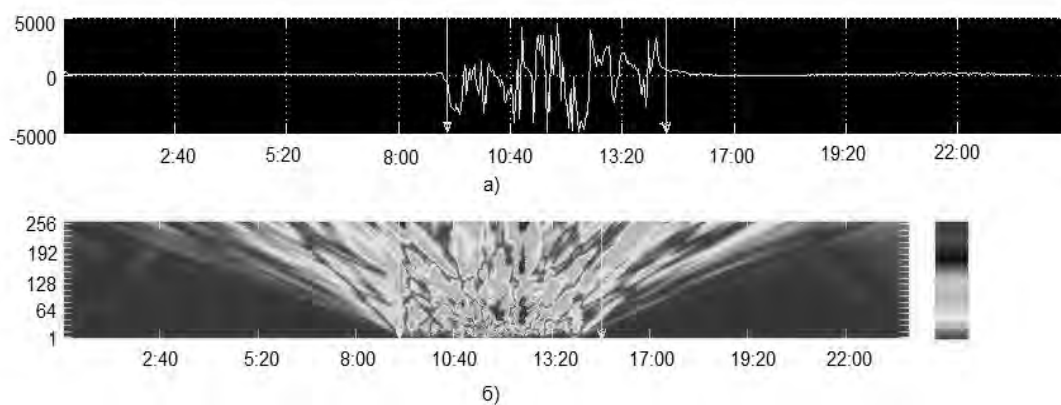


Рис. 2. Запись сигнала E (а) и его вейвлет-преобразование (б) за 12.07.2011

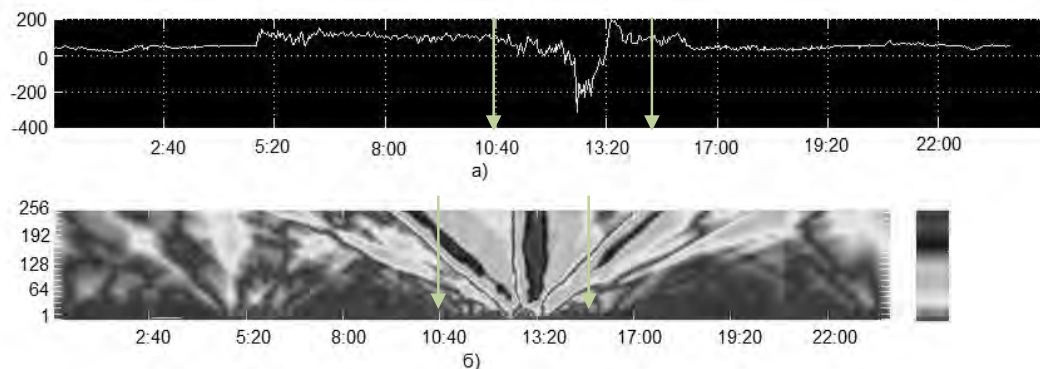


Рис. 3. Запись сигнала E (а) и его вейвлет-преобразование (б) за 27.07.2011

Полученные предварительные результаты показали перспективность выбранного подхода для использования в задачах анализа данных по атмосферному электричеству. Дальнейшие исследования связаны с решением проблем интерпретации и статистического анализа получаемых результатов после обработки большего количества экспериментальных данных.

Литература

1. Попов И.Б. Статистические оценки влияния различных метеорологических явлений на градиент электрического потенциала атмосферы. Труды ГГО. 2008. Вып. 558. С. 152–161.
2. Лазоренко О.В., Лазоренко С.В., Черногор Л.Ф., Вейвлет-анализ модельных сигналов с особенностями. 1. Непрерывное вейвлет-преобразование. // Радиофизика и радиоастрономия, том 12, №2, 2007, с. 182-204.

ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВЫСОТНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ГРОВОЗОВЫХ РАЗРЯДАХ. АКАДЕМИЧЕСКИЙ МИКРОСПУТНИК «ЧИБИС-М»

Л.М. Зелёный¹, В.Н. Ангаров¹, М.Б. Добрян¹, В.М. Готлиб¹, С.И. Климов¹, В.Г. Родин¹, В.Н. Назаров¹,
А.В. Гуревич², Г.К. Гарипов³, М.И. Панасюк³, С.И. Свертилов³

1 - ИКИ РАН

2 - ФИ РАН

3 - НИИЯФ МГУ

sklimov@iki.rssi.ru

В ходе работ, проведенных в ИКИ РАН совместно с кооперацией, изготовлен и прошёл в 2011г. полный цикл наземных испытаний академический микроспутник «Чибис-М» (общая масса 40 кг) с комплексом научной аппаратуры (КНА «Гроза», масса 10.8 кг) для исследования новых физических процессов при высотных атмосферных грозозовых разрядах.

Приборный состав КНА «Гроза» и научная кооперация:

- Рентген-гамма детектор – РГД (НИИЯФ) с диапазоном рентгеновского и гамма-излучения 0.02-1.0 МэВ;
- УФ детектор – ДУФ (НИИЯФ) спектра излучения от УФ (180-400 нм) до ИК (650-800нм);
- Радиочастотный анализатор – РЧА (ИКИ РАН) в диапазоне частот 26 – 48 МГц;
- Цифровая камера – ЦФК (ИКИ РАН) с пространственным разрешением 300 м и экспозицией 15 кадров/сек;
- Магнитно-волновой комплекс – МВК (ЛЦ ИКИ РАН и НКА Украины, Университет Ётвоща, Венгрия) в диапазоне частот 100 – 40000 Гц;
- Блок накопления данных БНД (ИКИ РАН);
- Передатчик 2.2 ГГц с антеннами – ПРД2.2 (ИКИ РАН).

Доставка «Чибис-М» на орбиту осуществлялась с использованием инфраструктуры Российского сегмента Международной космической станции (РС МКС). В транспортно-грузовом корабле (ТГК) «Прогресс М-13М» микроспутник «Чибис-М» 02 ноября 2011 был доставлен на РС МКС. Перед отделением от МКС, выполнившего свои функции ТГК, российские космонавты установили транспортно-пусковой контейнер (ТПК) с «Чибис-М» на верхнем шпангоуте «Прогресс М-13М». После отделения от МКС «Прогресс М-13М» по специальной программе совершил манёвр по поднятию своей орбиты на высоту 513 км.

Сразу после выведения на орбиту 25 января 2012 г. наземными средствами, созданными ИКИ РАН, была установлена командно-телеметрическая связь с «Чибис-М» и начался этап ввода служебных систем в эксплуатацию. Для реализации проекта в ИКИ РАН был создан Наземный сегмент проекта - НСП, состоящий из Центра управления полетом проекта «Чибис-М» (ИКИ РАН, г. Москва) и пяти Наземных комплексов управления – НКУ: СКБ КП ИКИ РАН, г. Таруса; НИЛАКТ - г. Калуга и г. Красноярск; Университет Ётвоща, г. Будапешт, Венгрия; ИФА ЧАН, г. Панска Вес, Чешская Республика. Наземный сегмент может быть использован в качестве базовой платформы для других академических научных космических проектов.

На начальном этапе полёта Научный комитет проекта признал, что оптимальным вариантом регистрации молниевых разрядов является такой, когда команда о начале регистрации разряда (триггер) приборами КНА «Гроза» поступает от прибора РЧА, измеряющего интенсивность радиоизлучений в диапазоне 26-48 МГц. Анализирующая часть прибора позволяет отделить скоростные, широкополосные сигналы, характерные для искомым высотных разрядов, от других и подать команду на включение других приборов КНА. В мае-июле 2012 г. проведены работы по оптимизации параметров работы РЧА в целях уменьшения объёма телеметрической информации (ТИ), записываемой на борту от событий, не связанных с молниевыми разрядами, а связанных с техногенными помехами и шумом, излучаемым центром Галактики.

К настоящему времени выделено более 50 записей молниевых разрядов, часть из которых имеет весьма характерный спектр. По триггеру РЧА была получена ТИ от приборов ДУФ, РГД и МВК.

Работа проводится при поддержке проекта РФФИ 10-05-93107.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОЙ ПЕЛЕНГАЦИИ МОЛНИЕВЫХ РАЗРЯДОВ ДЛЯ НУЖД ОАО «ФСК ЕЭС»

А.Г. Золотых¹, А.Н. Озеров¹, С. Евтеев², Д. Лепешкин²

1 - ОАО «НПО «Стример», г. Санкт-Петербург

2 - ЗАО «НАМОС», г. Москва

andrey.zolotykh@streamer.ru

ОАО «НПО «Стример» по договору с ОАО «ФСК ЕЭС» с 2010 года проводит работы по созданию Системы комплексного мониторинга грозовой обстановки и грозовых событий (СКМ) на ВЛ 220 кВ Цимлянская ГЭС – Подстанция «Ш-30» в Ростовской области.

Данная система аккумулирует информацию, получаемую как от трех входящих в систему компонентов, регистрирующих грозовые явления непосредственно на линии, так и от установленного в наблюдаемом регионе комплекса дистанционной пеленгации грозовых событий (СДП). Работы по монтажу системы дистанционной пеленгации, его отладки, калибровки и обслуживанию проводит компания ЗАО «НАМОС», г. Москва.

Непосредственная регистрация грозовых явлений на ВЛ осуществляется при помощи трех различных систем прямого измерения:

1. Системы мониторинга грозовых разрядов на ВЛ, разработанной Сибирским филиалом «НТЦ ФСК ЕЭС» - СибНИИЭ, г. Новосибирск, состоящей из двух регистраторов грозовых перенапряжений (РГПН), расположенных на подстанциях по концам линии. Сигнал регистрируется на всех трех фазах, считывание производится с нижней обкладки конденсатора связи. Каждый из регистраторов GPS-синхронизирован во времени и имеет выход в сеть Интернет по выделенному каналу, таким образом, получаемые осциллограммы имевших место перепадов напряжения на проводах линии передаются для последующей обработки на центральный процессор системы. После анализа обработанная информация с оценкой зарегистрированного события становится доступной пользователям через сайт разработчика.

2. Комплекса регистрации токов молнии на опорах ВЛ электронным способом. Комплекс включает в себя датчики тока молнии (ДТМ), аппаратуру для сбора информации и программно-аппаратный комплекс для определения тока молнии расчетным путем на основании зафиксированной датчиками информации. Каждый из датчиков представляет собой законченный необслуживаемый электронный узел, имеющий встроенный аккумулятор и солнечную батарею, обеспечивающие автономность работы в течение грозового сезона, первичный датчик тока (пояс Роговского), блоки обработки, регистрации сигнала и долговременного хранения полученных данных. Разработку и изготовление датчиков осуществило ЗАО «СЭТ», г. Шатура, Московской обл., программное обеспечение синтеза токов молнии – ОАО «Энергетический институт им. Кржижановского», г. Москва, обеспечивающее также и расшифровку получаемой ДТМ информации в течение грозового сезона, и анализ работы комплекса по его окончании.

3. Комплекса магнитной регистрации токов молнии, созданного Кыргызским НТЦ по энергетике, г. Бишкек. Комплекс состоит из устанавливаемых парно («+» и «-» полярности) основных и дополнительных контрольных магнитных регистраторов токов молнии (МР), установленных на всех опорах, индикатора наличия намагниченности и устройства для проверки намагниченности МР. Количество устанавливаемых на одну опору МР в зависимости от ее конструкции составляет от двух до четырнадцати пар плюс по одному контрольному МР на каждую опору.

Комплекс дистанционной пеленгации грозовой обстановки (СДП) на основе оборудования финской фирмы Vaisala включает 4 расположенных в зоне ВЛ датчика молнии, имеющих GPS-синхронизацию по времени и связь с сетью Интернет и центрального процессора обработки данных. Полная информация о зарегистрированных явлениях - точное время и место разряда, его вид (удар в землю либо межоблачный), полярность, ток, количество компонент молнии, длительность и т.д., а также данные о текущей обстановке и перемещениях грозовых фронтов предоставляется пользователю СКМ в режиме он-лайн доступа.

На основании получаемой СКМ информации формируется база данных грозовой активности и грозовых событий в районе оборудованной ВЛ, при этом данные, поставляемые СМГР и СДП, заносятся в базу данных в автоматическом режиме, данные о токах молнии на опорах ВЛ – вручную после обработки и расшифровки первичной информации. База данных доступна специалистам ОАО «ФСК ЕЭС» по сети Интернет.

Литература

1. M210787EN-C. Датчик распознавания гроз LS8000. Руководство пользователя. Vaisala Oyj, Vantaa.
2. M210557RU-A. CP серия, CP7000, CP8000. Руководство пользователя. Vaisala Oyj, Vantaa.
3. M210963EN. Falls 5.0 Client For Windows. Vaisala Oyj, Vantaa.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ С ЦЕЛЬЮ УТВЕРЖДЕНИЯ ТИПА СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОВОДИМОСТЕЙ ВОЗДУХА

П.Н. Зубков¹, С.В. Колерский¹, И.Б. Попов², Л.Г. Соколенко²

1 - ВНИИ физико-технических и радиотехнических измерений, Менделеево, Московская обл
2 - Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова Росгидромета, Санкт-Петербург
sokolenko_lg@mail.ru

В докладе приведены результаты исследования с целью утверждения типа средства измерения удельных полярных (положительной и отрицательной) электрических проводимостей атмосферного воздуха (далее СИЭП), разработанного в ГГО [1,2], и предназначенного для применения в регулярных наблюдениях за электрическими характеристиками атмосферы на специализированных пунктах сети Росгидромета.

Известно, что электрическая проводимость λ атмосферного воздуха обусловлена аэроионами, образующимися в нём в основном благодаря его ионизации под действием космического излучения и продуктов распада радиоактивных веществ, находящихся в воздухе и на почве. Теория и опыт измерения λ , в том числе, на наблюдательной сети Росгидромета, показывают, что данные регулярных измерений λ , могут быть использованы для выявления антропогенного воздействия на электрическое состояние атмосферы в приземном слое атмосферы [3, 4], а также иногда и на атмосферу в целом [5, 6]. Это обстоятельство придает регулярным измерениям λ существенное научное и практическое значение.

Условиями корректности сопоставления данных измерений λ , выполненных в разное время и в разных местах, является сопоставимость методики измерений, одним из элементов которой является поверка или калибровка СИЭП. Методика измерений λ на метеорологической сети Росгидромета регламентируется документом [7].

Вплоть до последнего времени эталонов λ не существовало. Калибровка аспирационных СИЭП осуществлялась расчетно-экспериментальным способом с использованием прецизионных источников малых токов. В дальнейшем в работе [2] было предложено проводить калибровку аспирационных измерителей λ с помощью элементов, встроенных непосредственно в измеритель, в частности, встроить в СИЭП генератор линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН), выходное напряжение которого подается на обкладки аспирационных конденсаторов.

В последние годы специалистами Всероссийского научно-исследовательского института физико-технических и радиотехнических измерений были разработаны эталоны и государственные поверочные схемы для средств измерений объемной плотности электрического заряда воздуха, счетной концентрации аэроионов и электрической проводимости воздуха. Это позволило провести испытания с целью утверждения типа СИЭП, используемого в регулярных наблюдениях за электрическими характеристиками атмосферы в Росгидромете.

В качестве эталона использовался Государственный первичный эталон единиц объемной плотности электрического заряда ионизированного воздуха и счетной концентрации аэроионов ГЭТ 177-2010 (диапазон измерений полярной удельной электрической проводимости воздуха от 2,5 до 1000 фСм·м⁻¹ при показателе полярности от -0,1 до 0,1, погрешность не более 10 %). Определение основной погрешности измерения полярной удельной электрической проводимости воздуха проводилось методом непосредственного сличения показаний СИЭП и эталонного СИ с использованием генератора ионизированного воздуха (аэроионизатора) государственного первичного эталона ГЭТ 177-2010. Для этого аэроионизатором (по показаниям эталонного СИ, входящего в состав ГЭТ 177-2010) устанавливалось нужное значение проводимости воздуха, с которым сравнивалось значение, измеренное СИЭП. Рассчитывались средние значения, случайные погрешности и отклонения показаний СИЭП от установленных значений λ с помощью эталонного СИ. Результаты определения основной погрешности измерений представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Результаты измерений λ с помощью СИЭП

Параметр	Проверяемый канал	Дата	№ измерения							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Электрическая проводимость воздуха λ , фСм·м ⁻¹	АИК+	24.11.11	5,6	5,3	5,2	5,2	5,8	5,3	5,0	5,4
		17.11.11	13,5	13,5	13,3	13,5	13,8	14,0	13,2	13,0
		16.11.11	22,2	21,1	22,6	21,0	22,1	21,3	22,1	21,8
	АИК-	23.11.11	-4,5	-4,4	-4,3	-4,1	-4,1	-3,8	-3,8	-4,2
		25.11.11	-10,5	-10,6	-10,5	-10,5	-10,5	-10,6	-10,5	-10,5
		23.11.11	-20,6	-21,0	-20,5	-21,1	-20,7	-20,4	-20,3	-20,0

Таблица 2. Результаты обработки и сравнения с эталонным СИ

Проверяемый канал	$\bar{\lambda}$	λ	$ \delta_{\lambda} , \%$	$S_{\bar{\lambda}}, \%$	$\delta_{\bar{\lambda} p=0,95}, \%$	$\delta, \%$	$\delta_{np}, \%$
АИК+	5,4	5,5	1,8	1,4	3,2	5	1,1
	13,5	13,9	2,9	0,8	1,9	4,8	2,7
	21,8	19,9	9,5	1,0	2,4	11,9	9,5
АИК-	-4,2	-4,1	2,4	2,2	5,2	7,6	1,2
	-10,5	-10,5	0	0,2	0,5	0,5	0,2
	-20,6	-19,8	4,0	0,6	1,5	5,5	4,4

В табл. 2 приняты следующие обозначения:

- $\bar{\lambda}$ - среднее арифметическое значение результата измерений поверяемым СИЭП;
- λ - действительное значение, установленное на рабочем эталоне;
- $|\delta_{\lambda}|$ - основная относительная погрешность измерений СИЭП;
- $S_{\bar{\lambda}}$ - среднее квадратическое отклонение результата измерений среднего арифметического показаний СИЭП;
- $\delta_{\bar{\lambda}|p=0,95}$ - относительная доверительная случайная погрешность среднего арифметического показаний СИЭП при доверительной вероятности 0.95;
- δ - суммарная основная относительная погрешность СИЭП
- δ_{np} - основная приведенная погрешность измерений

Как следует из табл. 2, основная приведенная погрешность измерения не превышает 10 %.

По результатам проведенных исследований были подтверждены метрологические характеристики СИЭП. Это в свою очередь подтвердило правильность выбора конструкции измерителя и его рабочих параметров. Дальнейшее развитие работы связано с созданием рабочего эталона электрической проводимости воздуха, с помощью которого выполнялась бы настройка и поверка средств измерений λ , используемых на специализированных пунктах сети Росгидромета.

Литература

- 1 Соколенко Л.Г., Шварц Я.М. 1990. Датчик электрической проводимости воздуха. – Труды ГГО, вып. 527, с. 33-35.
- 2 Шварц Я.М., Семенов К.А. 1988. Усовершенствование измерителя электропроводности воздуха. - Труды ГГО, вып. 498, с. 16-20.
- 3 Климин Н.Н., Шварц Я.М. 1996. Оценка трендов в рядах приземного атмосферного электричества за 1916 – 1992 г. - Метеорология и гидрология, № 11, с. 20 – 28.
- 4 Шварц Я.М., Соколенко Л.Г. 2004. Мониторинг электрического состояния приземного слоя атмосферы на территории России. – Труды НИЦ ДЗА (филиала ГГО), вып. 5(553), с. 169 – 175.
- 5 Будыко М.И. (отв. редактор перевода с английского языка) 1974. Непреднамеренные воздействия на климат. - Л.: Гидрометеиздат, 260 с., с.182 – 185.
- 6 Изразль Ю.А. 1984. Экология и контроль состояния природной среды. - М.: Гидрометеиздат, 560 с., с. 415 – 425.
- 7 МУ. Наблюдения за атмосферным электричеством. РД 52.04.168-2001. – Л. Гидрометеиздат, 1992, 58 с.

МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ СРЕДСТВАМИ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЁННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

В.Н. Иванов, В.Я. Коровин, А.В. Меляшинский, К.В. Памухин, Ю.Н. Швырев
 Институт экспериментальной метеорологии ФГБУ "НПО "Тайфун"
 vivanov@typhoon.obninsk.ru

Электрическое поле атмосферы является одним из наиболее чувствительных информационных геофизических факторов, на которых оказывают влияние атмосферные явления (АЯ), имеющие место как в ионосфере и магнитосфере, так и непосредственно у поверхности Земли [1, 2]. Высокая чувствительность электрического поля к атмосферным процессам определяет перспективность его мониторинга для целей заблаговременного обнаружения признаков развития АЯ. Вместе с тем, это же обстоятельство вызывает дополнительные сложности на уровне обработки и анализа данных,

требуя, по сути, решения в том или ином виде задачи выделения полезного сигнала на фоне помех. В связи с этим в проблеме мониторинга АЯ средствами измерения электрического поля особую актуальность приобретает выявление возможностей формирования сигнатур – наборов характеристик сигналов измерителей напряжённости поля – априорных идентификаторов АЯ, позволяющих в значительной мере облегчить статистический анализ данных мониторинга.

В работе представлены некоторые результаты исследований по обобщению данных мониторинга вертикальной составляющей электрического поля атмосферы в приземном слое $E_z(t)$, осуществляемого в течение ряда лет на территории ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск. Основным элементом системы регистрации $E_z(t)$ являются электростатические флюксометры с частотой дискретизации до 10 Гц. С использованием методов спектрально-временного анализа получены предварительные результаты по выявлению в спектрах $E_z(t)$ сигнатур АЯ. В результате исследования динамических НВП-периодограмм с применением методов, позволяющих установить зоны подобию динамических спектров и корреляционные связи между различными временными рядами, определены характерные периоды колебаний $E_z(t)$, присущих туманам, снегопадам, шквалистым ветрам, грозам и ливням, в частности, возникающим за несколько часов до развития указанных АЯ в месте наблюдения.

В качестве примера на рисунках 1-3 представлены НВП-периодограммы, соответствующие различным АЯ. Указанные периодограммы получены непрерывным вейвлет-преобразованием временных (НВП) рядов $E_z(t)$ с использованием базисной функции Морле [3]. Предварительно выполнялись операции исключения тренда, постоянной составляющей, а также пороговая фильтрация сигнала флюксометра.

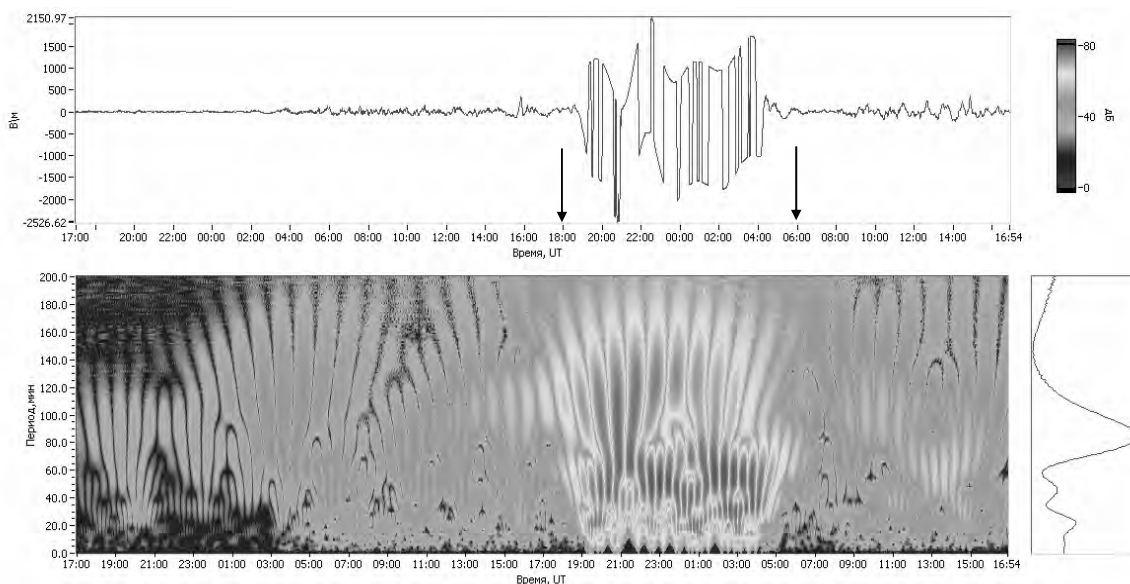


Рис. 1. Аномальный снегопад (начало и окончание наблюдения снегопада выделены стрелками). Результаты спектрального анализа данных мониторинга $E_z(t)$ с 17:00 UT 03.04.2012 г. по 16:54 UT 05.04.2012 г.

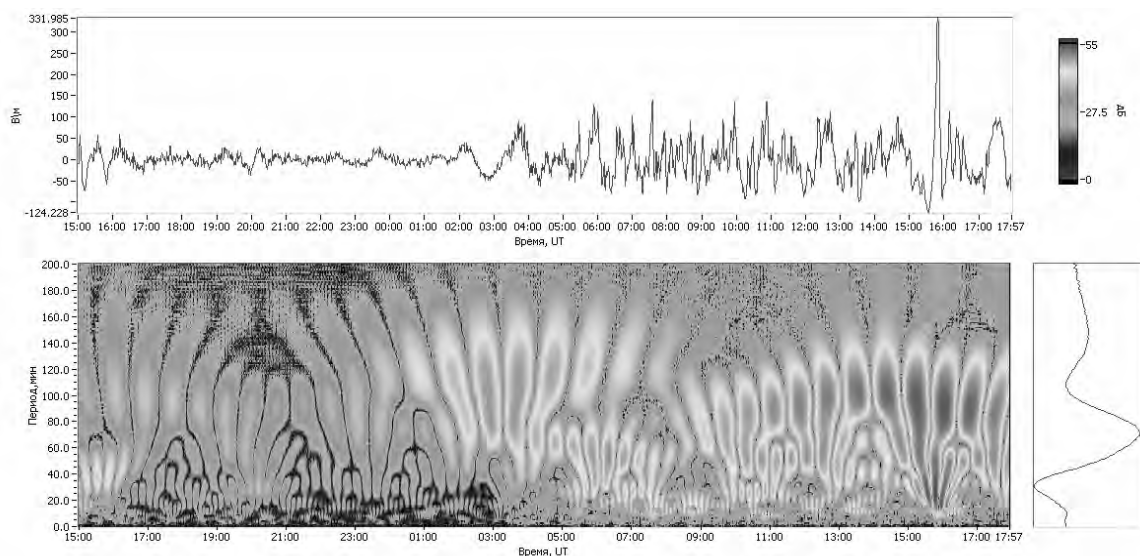


Рис. 2. Предвестники аномального снегопада. Результаты спектрального анализа данных мониторинга $E_z(t)$ с 15:00 UT 03.04.2012 г. по 17:57 UT 04.04.2012 г.

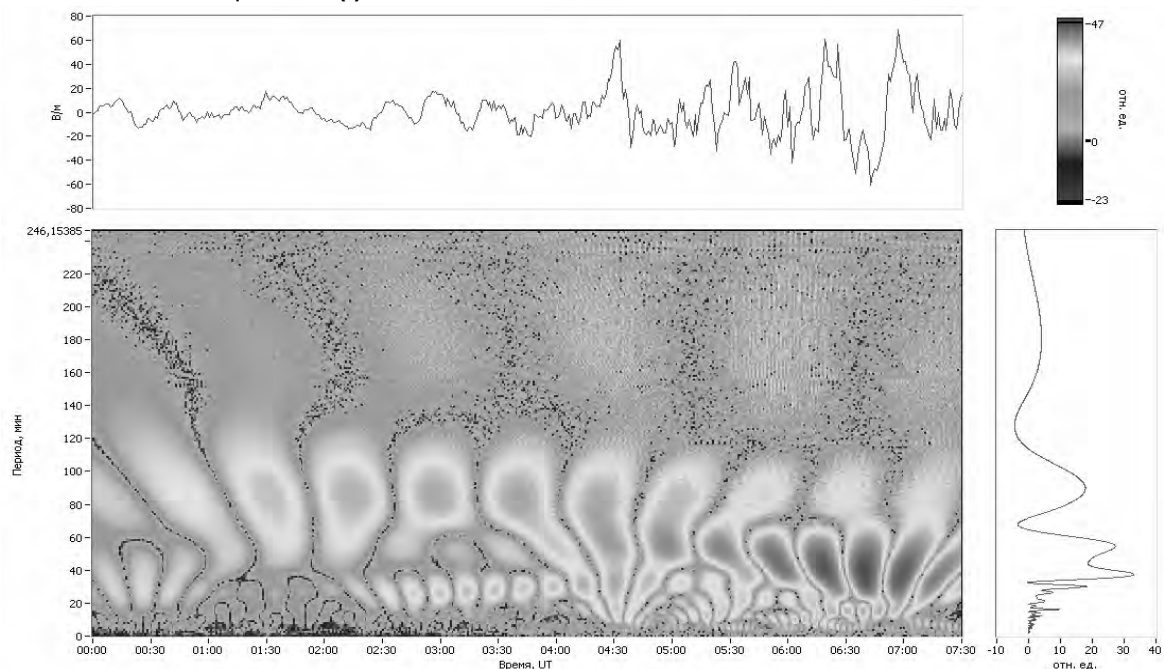


Рис.3 Результаты спектрального анализа данных мониторинга $E_z(t)$ перед грозой с 00:00 UT до 07:30 UT 03.05.2011 г. [4].

Таблица 1. Характерные периоды колебаний $E_z(t)$ для различных АЯ

Тип АЯ	Гроза	Туман	Ливень, снегопад	Сильный ветер
Период, минуты	За несколько часов до АЯ: 80-100; перед АЯ: 10-20	За несколько часов до АЯ: 25-50; во время АЯ: 75-120.	За несколько часов до АЯ: 40-60 и 100-120; перед АЯ: 80-100	За несколько часов до АЯ: 5-40; перед АЯ: 100-140 и 20-60

Литература

1. Апенс А. Г., Канониди Х. Д., Чернышёва С. П. и др. Магнитосферные эффекты в атмосферном электричестве. М: Наука, 1988. – 150 с.
2. Анисимов С. В. Электрические поля и токи слабопроводящей нижней атмосферы в глобальной электрической цепи // Дисс. на соиск. учёной степени доктора физ.-мат. наук. М. 2003. – 357 с.
3. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: основы теории и методы применения // Успехи физических наук. 1996. Т. 166. №11. С. 1145-1170.
4. Промежуточный отчет за 1 этап НИР 2011-82-1-Н. Обнинск, ФГБУ «НПО «ТАЙФУН» 2011 г., 292 с.

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЭРОЗОЛЯ

Л.С. Ивлев¹, Ю.А. Довгалюк²

1 - СПбГУ

2 - Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова Росгидромета
dovgaluk35@mail.ru

Известно, что с увеличением относительной влажности происходит перестройка спектра ионов по подвижностям и уменьшается электропроводность воздуха [1]. При наличии капель электропроводность воздуха резко уменьшается за счет интенсивного поглощения ими ионов [2]. При этом в обоих случаях, как правило, происходит более сильное уменьшение отрицательной проводимости по сравнению с положительной.

Экспериментально установлено, что, с одной стороны, увеличение относительной влажности от 20 до 60-70% приводит к увеличению в приземном слое атмосферы концентрации больших аэрозольных частиц размером $r \geq 0,2$ мкм [1], а с другой – крупные аэрозольные частицы при увеличении относительной влажности от 30 до 60-70% практически не увеличиваются. Для объяснения этого явления была предложена гипотеза, что при возрастании относительной влажности происходит ускорение коагуляционного роста частиц. Это подтверждается тем фактом, что распределение по размерам частиц аэрозоля $r \geq 0,1$ мкм описывается формулой Юнге, а это обусловлено, по-видимому, постоянным действием коагуляционного механизма [1].

Накопленные авторами экспериментальные данные свидетельствуют о том, что изменение относительной влажности приводит к одновременному изменению как структурных, так и электрических характеристик атмосферного аэрозоля. Учитывая это, авторы в большой камере туманов начиная с 1973 года неоднократно проводили комплексные исследования изменения микроструктурных и электрических характеристик аэрозоля с небольшими изменениями измерительного комплекса приборов при вариациях относительной влажности от 30 до 90%. Натурные эксперименты, к сожалению, не давали воспроизводимых результатов. В процессе опытов определялись интегральная и спектральная концентрация аэрозоля, его морфологический состав и полярные электропроводности воздуха. До этих экспериментов аэрозольные и электрические измерения проводились раздельно. Проведение комплексных экспериментов позволило получить новые научные результаты.

Использовался, в основном, следующий комплекс аппаратуры: экспериментальный образец прибора для измерения электропроводности воздуха, разработанный Я. М. Шварцем, предназначенный для измерения полярных проводимостей воздуха в диапазоне $(0 \div 30) \cdot 10^{-15}$ См/м. Прибор состоит из аспирационного конденсатора, измерителя тока конденсатора, регистрирующего устройства. Скорость протяжки воздуха в приборе 2,5 м/с. Инерционность - около 10 с.

Для измерения интегральной площади аэрозольных частиц применялся электроиндукционный пылемер ЭИП-4 конструкции Ленинградского института авиационного приборостроения. Прибор определяет суммарный заряд аэрозольных частиц радиусом $r \geq 0,5$ мкм, прошедших за единицу времени через входное устройство прибора, в котором частицы приобретают заряд, пропорциональный площади частиц. Аэрозольные пробы брались на полихлорвиниловые фильтры ФПП-15 [1] с последующей обработкой для морфологического и дисперсионного анализов на электронном микроскопе. Температура и влажность фиксировалась стандартными психрометром и гигрометром.

Методика проведения экспериментов была следующей. Перед началом увлажнения воздуха делались фоновые измерения температуры, влажности и электропроводности, а также структуры аэрозоля. Увлажнение воздуха в камере производилось либо путем увлажнения стенок и пола камеры, либо испарением воды при нагревании ее в открытом сосуде. В каждом из опытов проводились комплексные измерения всех характеристик при определенном значении влажности. При втором способе увлажнения воздуха измерения проводились в диапазоне 30 до 90% относительной влажности через каждые 10%. Все приборы устанавливались на уровне 1,5-2,0 м от пола камеры. Аэрозольные измерения обычно проводились на двух уровнях (2 и 6 м).

Для выяснения связи между электрическими и микроструктурными характеристиками аэрозоля в замкнутом объеме проводились фоновые опыты при $f = 30$ %; опыты в увлажненной камере при двух способах увлажнения: а) увлажнение внутренней поверхности камеры; б) увлажнение испарением подогретой воды. Определялся спектр размеров частиц от $r > 0,05$ мкм до 5 мкм. Общая концентрация частиц варьировала от 150 см^{-3} до 350 см^{-3} с распределением близком к Юнговскому ($v = 3,5 - 4$). Под электронным микроскопом исследовалась морфологическая структура частиц по 8 градациям: 1) плотные сферы, 2) плотные несферические, 3) покрытые «шубой», 4) с «ободком», 5) сферы с

высохшей оболочкой, 6) рыхлые, 7) рыхлые неправильной формы, 8) «цепочки». Во время фоновых опытов в камере держалась температура около 22°C и относительная влажность около 30%.

При этом положительная электропроводность в камере составляла $(3,5 \div 5,5) \cdot 10^{-15}$ См/м, отрицательная $(3,3 \div 5,0) \cdot 10^{-15}$ См/м, что на порядок ниже средних значений электропроводности в атмосфере. Подтвердилась известная зависимость Имянитова – Шифрина увеличения напряжённости электрического поля с возрастанием относительной влажности [1].

Исследования структуры аэрозоля показали четко выраженное изменение её с высотой и заметное отклонение от юнговского распределения для гигантских частиц. Морфологический анализ проб показывал наличие относительно большого количества рыхлых частиц, как правильной сферической, так и неправильной формы: от 55 до 65% по счетной концентрации для всего исследуемого диапазона размеров частиц (от 0,05 до 5 мкм). В случае увлажненной камеры увеличивается доля рыхлых сферических частиц и уменьшается доля частиц неправильной формы и цепочек.

При увеличении влажности наблюдается заметный рост концентрации частиц с диаметром $d \leq 0,4$ мкм, уменьшение концентрации частиц с $0,4 \text{ мкм} \leq d \leq 0,6$ мкм и примерное постоянство концентрации частице $d > 0,6$ мкм. Концентрация крупных частиц с $d > 3$ мкм уменьшается.

Измерения полярных проводимостей, коэффициентов униполярности λ_+ , λ_- , λ_+/λ_- и интегральной концентрации аэрозольных частиц с увеличением относительной влажности показали, что λ_+ , и λ_- уменьшаются с увеличением относительной влажности до 60%. Однако, как показывает ход λ_+/λ_- , отрицательная проводимость уменьшается гораздо сильнее, чем положительная. Механизм захвата ионов аналогичен процессу гидратации фуллеренов [2]. Затем до 80% наблюдается незначительный рост проводимостей. Ход полярных проводимостей хорошо коррелирует с ходом интегральной концентрации аэрозоля, которая имеет максимум при относительной влажности 60%, а затем уменьшается. Уменьшение полярных проводимостей происходило в основном за счет осаждения ионов на аэрозольных частицах, влияние на проводимость эффекта перестройки спектра ионов по подвижностям незначительно. Наблюдается эффект изменения структуры частиц из-за увеличения эффективности коагуляции аэрозольных частиц при увеличении влажности.

Литература

- 1.Ивлев Л.С. Начала физики погодообразования и климата. Часть1. С.278. Том 2. Влияние аэродисперсных систем на динамические и другие климатообразующие процессы в атмосфере. Санкт- Петербург, 2006.
- 2.Резников.В.А. Гидратация фуллеренов как модель конденсации воды на частицах. В сб. трудов третьей международной конференции «Экология и космос» 30 мая – 1 июня 2011г. СПб. 2011, 255 – 274с.

КРИТЕРИИ ФОРМИРОВАНИЯ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГЛОБАЛЬНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Н.В. Ильин, А.А. Евтушенко, Ф.А. Кутерин, Е.А. Мареев, М.В. Шаталина
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ilyin@appl.sci-nnov.ru

Атмосферное электричество - одна из фундаментальных проблем атмосферной физики, привлекающая пристальное внимание в течение многих лет. Но в течение последних 15-20 лет интерес к проблемам атмосферного электричества в нашей стране и за рубежом резко возрос. Не в последнюю очередь это связано с новыми экспериментальными данными, прямо или косвенно позволяющим судить об электрических явлениях в атмосферах других планет Солнечной системы (полученных с помощью космических аппаратов Cassini, Mars-Express, Venus-Express и др.), а также по исследованию высотных разрядов в атмосфере Земли.

Предложенная Вильсоном [7] в 1920 году концепция глобальной электрической цепи (ГЭЦ) на сегодняшний день является основой для описания свойств и построения моделей атмосферного электричества Земли. При этом, сам по себе эффект атмосферной электрификации присущ не только Земле: атмосферы всех планет Солнечной системы также слабо ионизируются галактическими космическими лучами (ГКЛ). Вполне логичным выглядит предположение, что концепция глобальной электрической цепи также применима и для других планет Солнечной системы [1].

До сих пор не известно, существуют ли атмосферные глобальные электрические цепи в атмосферах других планет. Общие критерии их существования изучались в работе [2], однако этот анализ содержит множество неточностей и не учитывает последних достижений в изучении генераторов глобальной цепи Земли.

До настоящего времени разработаны лишь самые общие модели генерации электрического поля в атмосферах планет (см., например, [5,8]). Генерация полей и зарядов в процессе сальтации частиц при пылевых бурях на Марсе промоделирована впервые в работе [6], но этот анализ не учитывал возмущений проводимости и использовал общие выражения для параметризации зарядки частиц, что было недавно частично исправлено в новой модели [4].

В данной работе мы рассмотрим основные критерии формирования и поддержания ГЭЦ в атмосферах других планет, а также проведем сравнительный анализ особенностей ГЭЦ разных планет Солнечной системы. Благоприятные условия для формирования глобальной цепи, по-видимому, имеются в атмосфере Марса [3]. Поэтому предполагается особое внимание уделить изучению соответствующих условий на Марсе. Вызывает большой интерес также проблема глобальной электрической цепи для Титана

Тривиальным условием существования ГЭЦ является наличие у планеты атмосферы, однако уже на данном этапе можно выделить объекты, которые не удовлетворяют данному критерию и соответственно не будут рассмотрены в данной работе – Меркурий и многие спутники планет.

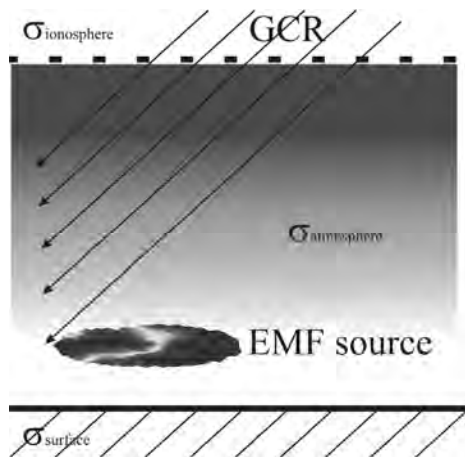


Рисунок 1. Схематичное представление основных условий существования ГЭЦ

В качестве основных условий существования ГЭЦ у атмосферы можно выделить три составляющих (схематично показано на рис.1):

1. Проводящая поверхность, слабо проводящая нижняя атмосфера и ионосфера.
 2. Наличие в атмосфере аэрозольных (пылевых) частиц, способных заряжаться и служить носителями тока.
 3. Источники ЭДС (мезомасштабные конвективные системы, облака, песчаные бури).
- Одним из ключевых факторов устойчивого протекания тока от источника ЭДС до поверхности и ионосферы планеты является особый профиль проводимости атмосферы: проводимость ничтожно мала в пограничном слое, но резко (экспоненциально) возрастает с увеличением высоты [2].

Мы рассмотрим одномерную модель ионизации атмосферы планеты, считая, что воздействие ГКЛ приводит к появлению долгоживущих положительных и отрицательных ионов – переносчиков тока. Скорость ионообразования и соответственно профиль проводимости определяется профилем потока ГКЛ, который в свою очередь зависит от распределения плотности атмосферы планеты. В качестве источников ЭДС мы рассмотрим генератор стороннего заряда.

Постановка задачи с источником внешнего поля:

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_+}{\partial t} &= I(z) - \alpha N_+ N_- - \mu \frac{\partial}{\partial z} (N_+ E), \\ \frac{\partial N_-}{\partial t} &= I(z) - \alpha N_+ N_- + \mu \frac{\partial}{\partial z} (N_- E), \\ \frac{\partial E_z}{\partial z} &= \frac{e}{\epsilon_0} (N_+ - N_-) + \frac{\rho_{ex}}{\epsilon_0}. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь N_+, N_- - концентрации аэроионов, α - коэффициент рекомбинации, μ - подвижность аэроионов, e - элементарный заряд, ϵ_0 - диэлектрическая проницаемость вакуума, ρ_{ex} - сторонний ток, $I(z)$ - скорость ионизации.

Данная модель и ее численная реализация позволяют выявить основные условия возникновения и устойчивого протекания тока от источника ЭДС к границам атмосферы (образования ГЭЦ):

1. Достаточная величина интенсивности стороннего тока (заряда) и средней длительности работы сторонних источников.
2. Нужная высота и достаточная протяженность области источника.
3. Особый пространственный профиль проводимости атмосферы.

В качестве примера (для земной атмосферы характеризующего один из наиболее эффективных генераторов ГЭЦ), где формирование стороннего заряда происходит под действием механизмов разделения заряда при столкновениях нескольких сортов частиц, были рассмотрены поля и токи в мезомасштабной конвективной системе (ММКС):

Пример задачи с источником заряда в ММКС:

$$\frac{\partial \rho_Q}{\partial t} + \frac{\partial((V_Q + V_{conv}) \cdot \rho_Q)}{\partial z} = -R \cdot f(z) - \gamma \cdot \rho_Q \cdot A_+$$

$$\frac{\partial \rho_q}{\partial t} + \frac{\partial((V_q + V_{conv}) \cdot \rho_q)}{\partial z} = R \cdot f(z) + \gamma \cdot \rho_q \cdot A_-$$

$$\frac{\partial A_+}{\partial t} + \frac{\partial(V_+ \cdot A_+)}{\partial z} = I(z) + \alpha \cdot A_+ \cdot A_- + \gamma \cdot \rho_Q \cdot A_+$$

$$\frac{\partial A_-}{\partial t} + \frac{\partial(V_- \cdot A_-)}{\partial z} = -I(z) - \alpha \cdot A_+ \cdot A_- - \gamma \cdot \rho_q \cdot A_-$$

$$\varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial z} = \rho_q + \rho_Q + A_+ + A_- + \rho_{ADD}$$

Здесь ρ_-, V_Q – плотность заряда и скорость больших частиц (фракция «осадков»); ρ_+, V_q – плотность заряда и скорость «облачных» частиц; A_+, V_+, A_-, V_- – плотности заряда и скорости легких ионов, образующихся под действием источника ионизации $I(z)$, функция $R \cdot f(z)$ характеризует разделение заряда при столкновениях двух сортов крупных частиц, γ – коэффициент рекомбинации легких ионов с тяжелыми фракциями, ρ_{ADD} – плотность заданного стороннего заряда, рассмотрение которого часто необходимо с учетом многообразия механизмов зарядки частиц.

Используя характерные значения интенсивности ионизации $I(z)$ для Земли и других планет, были получены критерии формирования и проведен сравнительный анализ глобальных атмосферных электрических цепей планет солнечной системы.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН N22 «Фундаментальные проблемы исследований и освоения Солнечной системы».

Литература

1. Мареев Е.А. Достижения и перспективы исследований глобальной электрической цепи // УФН, 2010, Т.180, №5. С. 527-534.
2. Aplin K.L. Atmospheric electrification in the solar system // Surv.Geophys., 2006, V.27. Pp.63-108.
3. Farrell W.M., Desch M.D. Is there a Martian atmospheric electric circuit? // J. Geophys. Res., 2001, V. 106, N E4. Pp. 7591 - 7595.
4. Kok J.F., Renno N.O. Electrification of wind-blown sand on Mars and its implications for atmospheric chemistry // Geophys. Res. Lett., 2009, V.36, L05202.
5. Mareev E.A. Formation of Charge Layers in the Planetary Atmospheres // Space Science Reviews, 2008, Vol. 137, N 1-4. Doi: 10.1007/s11214-008-9306-2.
6. Melnik O., Parrot M. Electrostatic discharge in Martian dust storms // J. Geophys. Res., 1998, V.103. Pp. 29107–29117. Doi:10.1029/98JA01954.
7. Wilson C.T.R. Investigation on lightning discharges and on the electric field of thunderstorms // Phil. Trans. R. Soc. Lond. A, 221, 73-115 (1921)
8. Yair Y. Charge generation and separation processes // Space Sci. Rev., 2008, V.137. Pp. 119–131, doi: 10.1007/s11214-008-9348-x.

КОНВЕКТИВНЫЙ ПЕРЕНОС ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ И ЕГО ДИАГНОСТИКА

Н.В. Ильин¹, А.А. Евтушенко¹, Ф.А. Кутерин¹, Е.А. Мареев¹, М.В. Шаталина¹, С.В. Анисимов²,
Н.М. Шихова², С.В. Галиченко²

1 - *Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород; ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород*

2 - *Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Ярославской обл., пос. Борок
mareev@appl.sci-nnov.ru*

В последние годы в нашей стране и за рубежом резко возрос интерес к проблемам физики планетарного пограничного слоя (ППС) и теории геофизической турбулентности. Это естественно: более 90% биосферы и вся антропосфера сосредоточены в атмосферном пограничном слое, который, по существу, является средой нашего обитания. В связи с этим разработка физических обоснованных моделей процессов, происходящих в ППС, а также развитие инструментальных методов и средств его мониторинга являются необходимыми условиями поддержания качества жизни в условиях антропогенной нагрузки на окружающую среду. Кроме того, понимание природы процессов в ППС играет ключевую роль в развитии современных моделей погоды и климата.

По мере развития технологической базы наблюдений в атмосфере и океане и прямого численного моделирования турбулентности были обнаружены новые эффекты, связанные с явлениями самоорганизации и формирования когерентных структур, приводящих к нелокальному переносу энергии и вещества. Стало очевидно, что традиционные параметризации ППС и турбулентности в оперативных моделях климата, погоды и загрязнения воздушной или водной среды не соответствуют

уровню сложности и возможностям современных негидростатических моделей высокого разрешения и оказываются тормозом дальнейшего прогресса в моделировании окружающей среды и климата, а традиционная теория геофизической турбулентности нуждается в кардинальном пересмотре [2, 5, 7]. Разработка современной теории геофизической турбулентности (т.е. теории стратифицированных течений жидкости/газа при больших числах Рейнольдса) активно ведется, начиная с конца XX века, в частности, в рамках ряда проектов Европейской Комиссии [7, 8].

Следует подчеркнуть, что параллельно с новой парадигмой геофизической турбулентности (и в какой-то мере независимо от нее) стали формироваться и новые представления об электрических процессах в ППС. Как было установлено в ряде работ [1, 3, 4], пограничный слой атмосферы характеризуется наличием аэроэлектрических структур (рис. 1), проявляющихся в короткопериодных (с периодами от единиц до нескольких сотен секунд) пульсациях электрического поля. Формируясь в результате захвата турбулентными конвективными ячейками положительных и отрицательных заряженных частиц, аэроэлектрические структуры перемещаются в потоке воздуха. Конвективный перенос заряда аэроэлектрическими структурами служит важнейшим механизмом формирования электрического тока в глобальной цепи. В связи с этим представляют большой интерес механизмы генерации и время существования электрических структур, связанные, в частности, с влиянием аэрозолей на время релаксации электрического заряда в конвективных ячейках [3, 6]. Особое значение имеет разработка и реализация методов мониторинга конвекции с помощью разнесенных наблюдений вертикального квазистатического аэроэлектрического поля. Такой мониторинг может послужить мощным средством оперативной диагностики ППС и верификации новых представлений о геофизической турбулентности.

В настоящей работе суммированы результаты недавних экспериментальных и теоретических исследований конвективного переноса заряженных частиц в пограничном слое атмосферы. При исследовании были использованы цифровые данные натурных полевых наблюдений вертикальной компоненты напряженности атмосферного электрического поля E_z , проведенных на выносном полигоне среднеширотной Геофизической обсерватории "Борок" ИФЗ РАН [58° 04' N; 38° 14' E] в 2008-2012 гг. Цифровая регистрация проводилась с тактовой частотой 10 Гц. В качестве датчиков применялись электростатические флюксометры типа "field mill", позволяющие проводить длительные прецизионные измерения в условиях полевого натурального эксперимента. Отличительная особенность выполненных наблюдений заключалась в синхронных непрерывных наблюдениях высотных профилей компонент скорости ветра в диапазоне высот 50÷800 м с разрешением 5 м акустическим доплеровским локатором (содар) "Волна-3". Метеорологические параметры регистрировались ультразвуковыми метеостанциями «Метео-2Н», расположенными на высотах 2 м и 10 м. Для наблюдений без осадков, при облачности 0-5 баллов и скоростях ветра 0-5 м/с характерный суточный ход параметра устойчивости приведен на рис. 3. При этом значимо прослеживается связь возмущений в пограничном слое с откликом аэроэлектрического поля вблизи поверхности земли.

Следует заключить, что короткопериодные пульсации аэроэлектрического поля имеют степенные спектры как в условиях хорошей погоды, так и в условиях тумана, в диапазоне частот $10^{-2} \div 10^{-1}$ Гц (рис. 2, 4). Показатели степени наклона спектра меняются от 1,23 до 3,36. Интенсивность пульсаций и показатели спектра зависят от характеристик устойчивости ППС.

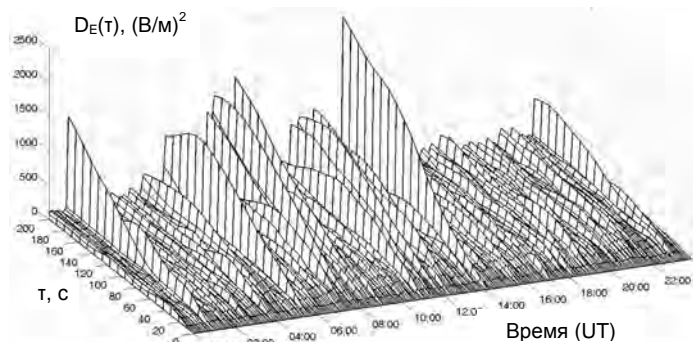


Рис. 1. Структурные функции аэроэлектрического поля по данным наблюдений обсерватории "Борок" 26 июля 2012 года.

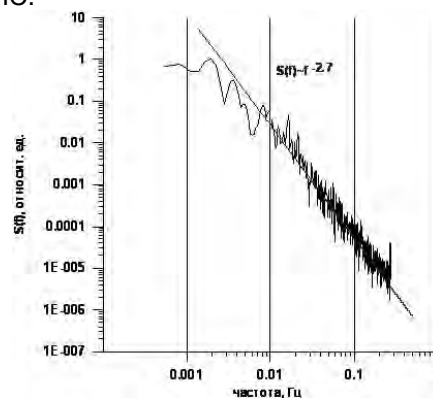


Рис. 2. Нормированная спектральная плотность аэроэлектрических пульсаций (обсерватория "Борок" 26.07.12; 08:00 – 09:00 UT).

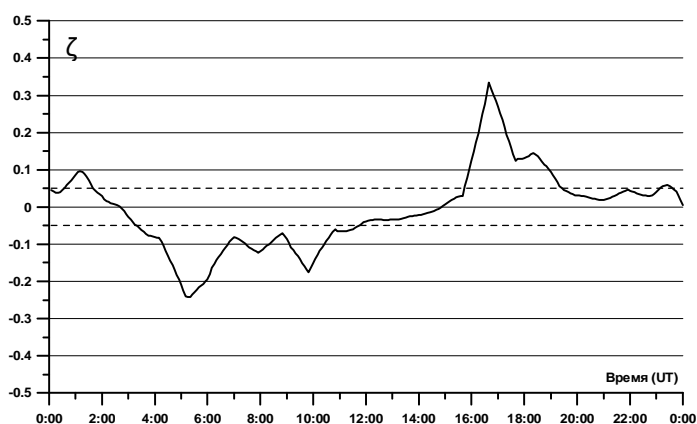


Рис. 3. Динамика параметра устойчивости Монина Обухова ($\zeta=z/L, z=2\text{м}$) по данным обсерватории “Борок” 26 июля 2012г.

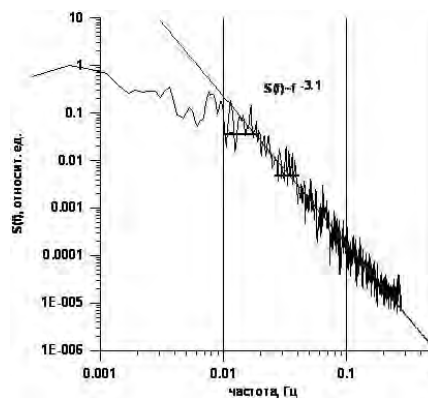


Рис. 4. Нормированная спектральная плотность аэроэлектрических пульсаций (обсерватория “Борок” 26.07.12; 18:00 – 19:00 UT).

Развита теоретическая модель, учитывающая вклад турбулентного перемешивания аэроионов и аэроэлектрических структур в ППС. Исследована зависимость времени жизни возмущений электрического заряда в системе, состоящей из легких аэроионов и аэрозольных частиц, от концентрации аэрозолей, величины электрического поля и внешнего масштаба системы. Показано, что электрические явления в ППС служат индикатором его состояния, поэтому измерения вариаций электрического поля, тока и проводимости позволяют проводить дистанционную диагностику турбулентности и когерентных структур. Наличие электрического поля и заряженных частиц в ППС приводят к нелокальным коллективным эффектам, связанным с турбулентностью, волнами и структурами.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ОФН РАН «Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследований атмосферных процессов», гранта РФФИ № 10-05-01045, гранта 12-05-00820, гранта Правительства РФ (договор № 11.G34.31.0048).

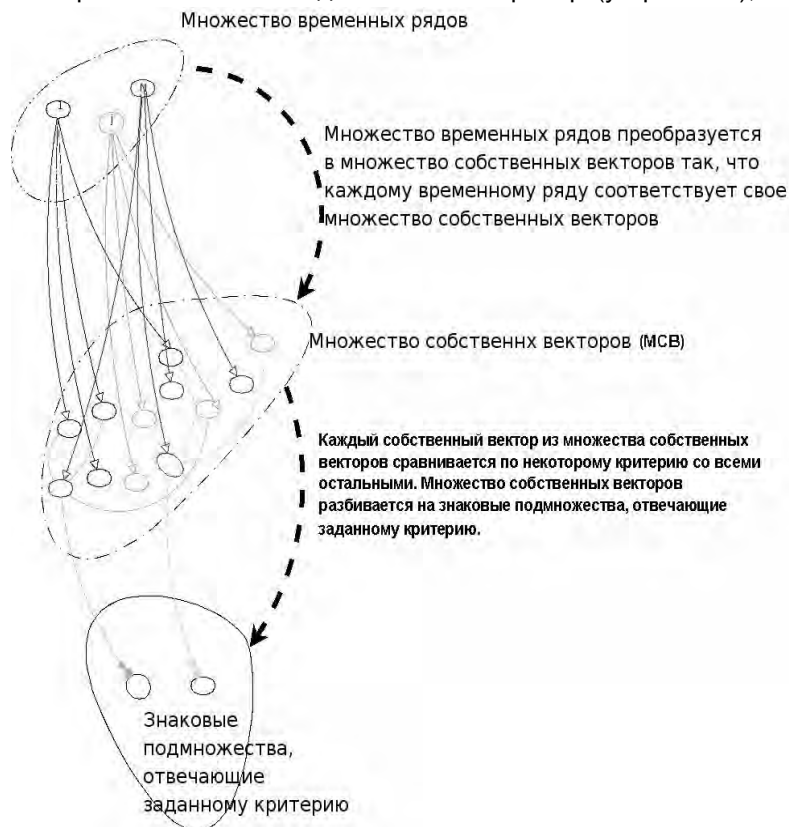
Литература

1. Анисимов С.В., Н.М. Шихова, Е.А. Мареев, М.В.Шаталина. Структуры и спектры турбулентных пульсаций аэроэлектрического поля // Физика атмосферы и океана, 2003, Т.39, №5. С.765-780.
2. Зилитинкевич С.С. Геофизическая турбулентность и планетарные пограничные слои // Геофиз. Журнал, 2010, № 6. С.168-174.
3. Шаталина М.В., Мареев Е.А., Анисимов С.В., Шихова Н.М. Моделирование динамики электрического поля методом пробных структур // Изв. ВУЗов – Радиофизика, 2005, Т. 48, №8. С.648-660.
4. Anisimov, S. V., Mareev E. A., Bakastov S.S. On the generation and evolution of aereoelectric structures in the surface layer // J. Geophys. Res., 1999, V.104(D12). Pp. 14359-14368. Doi: 10.1029/1999JD900117.
5. Mahrt L. The near-calm stable boundary layer // Boundary-Layer Meteorol., 2011, V.140. Pp. 343-360.
6. Shatalina M.V., Mareev E.A., Anisimov S.V., Shikhova N.M. Recovery of space charge distribution by the method of test structures. In: Proc. Int. Conf. on Atm. Electr. (ICAE 07), Beijing, Aug 2007.
7. Zilitinkevich S.S., Hunt J.C.R., Grachev A.A., Esau I.N., L alas D.P., Akylas E., Tombrou M., Fairall C.W., Fernando H.J.S., Baklanov A., Joffre S.M. The influence of large convective eddies on the surface layer turbulence // Quart. J. Roy. Met. Soc., 2006, V.132. Pp.1423-1456.
8. Zilitinkevich S.S., Elperin T., Kleerorin N., L'vov V., Rogachevskii I. Energy- and flux-budget (EFB) turbulence closure model for stably stratified flows. Part II: The role of internal gravity waves // Boundary-Layer Meteorol., 2009, 133. Pp.139-164.

ПРОГРАММНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ СИГНАЛОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

В.В. Исакевич, Л.В. Грунская, Д.В. Исакевич, А.С. Батин
Владимирский государственный университет, г. Владимир
grunsk@vlsu.ru

Разработан программно - аналитический комплекс для исследования структуры сигналов в спектральной и временной областях, вызванных геофизическими процессами. Основная цель в разработке такого комплекса – исследование структуры сигналов в спектральной и временной областях, вызванных геофизическими и астрофизическими процессами в электрическом и магнитном поле пограничного слоя атмосферы и обнаружения подшумовых периодических процессов геофизического характера. На базе разработанного программно-аналитического комплекса построен универсальный виртуальный прибор, реализующий задачи обнаружения подшумовых периодических процессов геофизического и астрофизического характера (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010615300, №20106155301). Использование метода собственных векторов может значительно повысить селективность любого известного метода анализа (в том числе и спектрального), поскольку последние будут применяться не ко всему временному ряду, а к его независимым составляющим, в том числе тем, которые не обладают энергетическим доминированием и представляют собой «тонкую» структуру временного ряда (рис. 1). Программно-аналитический комплекс (ПАК) собственных векторов и компонент сигнала - измерительный и исследовательский прибор (устройство), отдельное или встраиваемое, общего и



специального назначения, предназначение которого — визуальный и (или) автоматизированный, в т.ч. автоматический, анализ исследуемых сигналов и принятие решений с использованием базиса собственных векторов матриц смешанных моментов сигнала (сигналов). ПАК собственных векторов и компонент сигнала - позволяет вычислять и анализировать собственные вектора и спектр собственных значений матрицы смешанных моментов сигнала, определять спектральный состав и статистические свойства отдельных собственных векторов, осуществлять разложение сигнала в подпространства собственных векторов, отобранных по тем или иным признакам - с целью последующего анализа такого сигнала. Анализ собственных векторов открывает новые возможности при выявлении тонкой структуры сигнала и обнаружении новых физических эффектов и характеристик исследуемых объектов. ПАК собственных векторов и компонент сигнала - расширяет возможности известных

Рис.1. Формирование знакового множества (подмножества) собственных векторов, отвечающих заданному критерию, из множества собственных векторов временного ряда (рядов)

способов анализа сигнала, так как позволяет отдельно анализировать отдельные некоррелированные компоненты сигналов, поступающих по многим каналам измерения (многомерных временных рядов) в широком диапазоне их относительных энергетических вкладов в энергию анализируемого сигнала в задачах радиофизики, обнаружения новых (астро-) физических явлений, акустики, звуко-, радио и гидролокации, медицинской диагностики. Анализ эффективности выявления в исследуемых временных рядах компонент, соответствующих периодам лунных приливов, показал

высокую эффективность метода собственных векторов, отбираемых по критерию МКК, который обеспечивает пренебрежимо малую вероятность ложной тревоги при вероятности пропуска обнаруживаемых признаков на уровне 10^{-4} . Энергетический вклад собственных векторов, несущих информацию о частотах, соответствующих лунным приливам, выделенных в результате обработки экспериментальной информации по электромагнитным полям составил -60 дБ (10^{-6}). На рис.2 приведена диаграмма модели, описывающей семантический и прагматический анализ знаков целеустремленными индивидами в рамках понятийного аппарата, изложенного в [2].

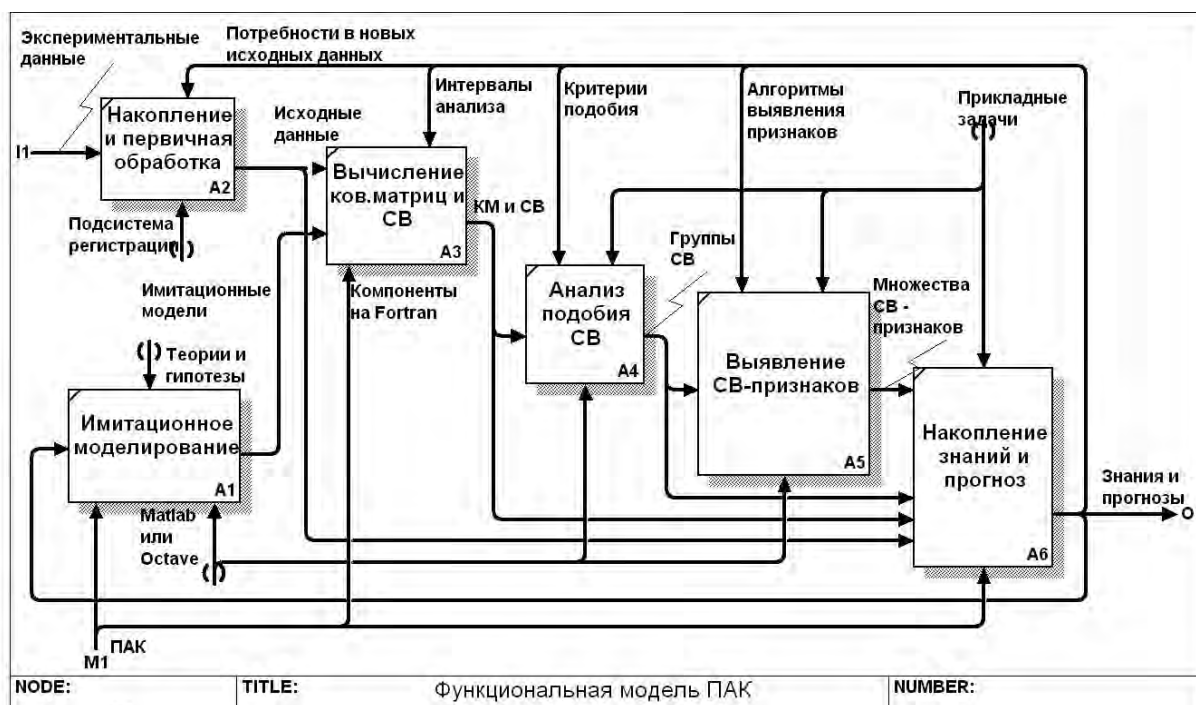


Рис.2. Диаграмма модели, описывающей поиск во временных рядах признаков природных явлений

Работа осуществляется при поддержке гранта РФФИ 11-05-97518, ФЦП № 14.740.11.0407, ФЦП № 16.740.11.0185 и ГЗ № 5.2971.2011.

Литература

1. Акофф Р., Эмери Ф. О целеустремленных системах. Пер. с англ. Под ред. И.А.Ушакова. М.: 2009, 272 с.
2. Грунская Л.В., Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Батин А.С., Ефимов В.А. Разработка программно-аппаратного комплекса для исследования воздействия геофизических и техногенных факторов на электрическое поле приземного слоя атмосферы. Биомедицинская радиоэлектроника 6,2008, с. 42-47.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬ АЙГЕНОСКОПА - АНАЛИЗАТОРА НЕКОРРЕЛИРОВАННЫХ КОМПОНЕНТ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПОЛИГАРМОНИЧЕСКИХ И АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

В.В. Исакевич¹, Д.В. Исакевич¹, Л.В. Грунская²
 1 - ООО "БизнесСофтСервис"

2 - Владимирский государственный университет
 businesssoftservice@gmail.com

На основании анализа свойств матрицы смешанных моментов второго порядка полигармонических временных рядов получены потенциальные характеристики новой полезной модели анализа временных рядов — анализатора некоррелированных компонент, использующих представление временного ряда на заданном фиксированном интервале анализа в базисе собственных векторов матрицы вторых смешанных моментов.

Предлагаемое решение позволяет отдельно анализировать аддитивные некоррелированные компоненты временных рядов, поступающих по многим каналам измерения (многомерных временных рядов) в широком диапазоне их относительных энергетических вкладов в энергию анализируемого сигнала — безотносительно к области его использования. Айгеноскопия является относительно новой областью, эффективность которой подтверждается проведенными вычислительными экспериментами, но пока не исследованной в той мере, которая требуется для широкого практического применения.

Сформулированы критерии использования анализатора некоррелированных компонент:

- Критерий соответствия: Если значимый (с ненулевым собственным значением с точностью до вычислительной погрешности) собственный вектор ковариационной матрицы содержит гармоническую составляющую, то она присутствует в исходном полигармоническом ряде. Следовательно, на выходе айгеноскопа не может быть собственных векторов с частотами, которые не содержались в полигармоническом временном ряде на его входе (в том числе и комбинационных). Качество обнаружения частот определяется исключительно последующей обработкой собственных векторов.
- Критерий выявления: Для обнаружения гармонических составляющих в полигармоническом ряде достаточно провести спектральный анализ преобразованного ковариационной матрицей (как матричным фильтром) случайного пробного вектора. Все выявленные таким образом компоненты содержатся в исходном полигармоническом временном ряде.
- Критерий повышения достоверности: Повышать достоверность выявления частот, содержащихся в исходном полигармоническом временном ряде можно используя ансамбль случайных пробных векторов или специальный пробный вектор с равномерной спектральной плотностью в заданном диапазоне частот.
- Критерий максимальной эффективности: Эффективность выявления с помощью айгеноскопии в пробном векторе искомой в полигармоническом временном ряде частоты зависит от частоты дискретизации временного ряда. Для наиболее эффективного выявления искомой заданной частоты необходимо согласовать с ней частоту дискретизации.
- Критерий значимости: Основан на свойствах нормированных спектров собственных значений ковариационных матриц полигармонических временных рядов. Нормированные спектры ковариационных матриц полигармонических временных рядов при их вычислении и представлении в логарифмическом масштабе визуально содержат конечное число доминирующих над всеми остальными значений. Число таких собственных значений как правило не превышает удвоенное число гармонических компонент временного ряда. В случае амплитудных модуляций число собственных значений на каждую компоненту полигармонического временного ряда возрастает до 6 (при модуляции компоненты гармоническим рядом) и до кратного шести (при модуляции гармонической компоненты периодическим временным рядом). Имитационное моделирование показывает, что (при надлежащем квантовании и проведении вычислений с удвоенной точностью) для анализируемых временных рядов все собственные значения имеющие уровень больший -120 дБ являются значимыми. Таким образом, каждый собственный вектор, имеющий нормированное собственное значение, превышающее -120 дБ имеет значимость и отдельную причинную обусловленность.
- Критерий максимума выразительности: Среди прочих представлений представление исследуемого временного ряда, которое использует собственные векторы ковариационной матрицы, обеспечивает максимум энергии временного ряда на каждую следующую ортогональную компоненту (собственный вектор).
- Критерий информированного наблюдателя: По мере выявления причин, приводящих к появлению во временном ряде тех или иных собственных векторов, они изымаются из рассмотрения как объясненные. При этом информированность наблюдателя повышается. Информированный наблюдатель, использующий айгеноскоп на первом этапе наблюдений, направленных на решение сложной задачи, решение которой не было достигнуто с использованием других подходов, должен обращать внимание на энергетически недоминирующие собственные вектора.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА И ФЛУКТУАЦИОННОЕ Понижение порога пробоя облачной среды

Д.И. Иудин¹, Е.А. Мареев², А.А. Емельянов³, В.Ю. Климашев³, Ф.Д. Иудин³

1 - Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород; Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород; Российский новый университет, Москва

2 - Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород; Российский новый университет, Москва

3 - Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород

iudin_di@nirfi.sci-nnov.ru

В последнее время вопрос о роли неоднородной (тонкой) структуры электрического поля грозового облака привлекает большое внимание. Динамика накопления электрической энергии и распределение ее по спектру пространно-временных масштабов от глобальных до микромасштабов (связанных с разделением зарядов на гидрометеорах), а также пространственно-временные характеристики процессов диссипации электрической энергии в атмосфере составляют в настоящее время одну из наиболее актуальных задач исследования атмосферного электричества [6,8,9]. Сложная электрическая структура грозы фиксируется во всех *in situ* экспериментах. Например, в работах [7,8] на основе систематических баллонных измерений было впервые продемонстрировано наличие тонкой структуры электрического поля грозового облака и исследованы ее характеристики. Анализ результатов измерений показал, что спектры электрического поля в грозовых облаках носят степенной характер для достаточно широкого интервала масштабов от десятков метров до километров.

Уравнение диффузии для напряженности электрического поля.

Скейлинговые свойства грозового поля можно объяснить исходя из анализа механизмов формирования спектров, принимая во внимание специфические электродинамические свойства грозы, возникающие из-за интенсивного многопоточного движения заряженных частиц (как облачных частиц, так и частиц осадков). После пионерской работы В.Ю. Трахтенгерца [1], который предложил простую двухкомпонентную модель неустойчивости, приводящей к стратификации внутриоблачной среды, в работах [2-5] была предложена более сложная четырех-компонентная модель (ионы – гидрометеоры), в применении к обычным условиям грозовой тучи. Затем Е.А. Мареевым был предложен подход в рамках нелинейного уравнения диффузии для напряженности электрического поля. При этом рассматривается одномерная модель с распределенными параметрами, учитывающая диффузию плотности электрического заряда, то есть ток диффузии $j_{\text{dif}} = -D_c \Delta \rho_e$, где коэффициент диффузии зарядов $D_c \sim uL$ определен характерной скоростью u и масштабом L турбулентных участков [3]. Используя уравнения Пуассона, для вертикальной составляющей электрического поля можно записать следующее уравнение:

$$\partial E / \partial t = 4\pi(j_{\text{sep}} - j_{\text{dis}}) + D_c \partial^2 E / \partial t^2. \quad (1)$$

В этом уравнении, ток j_{sep} описывает рост поля из-за разделения зарядов на облачных частицах и на частицах осадков. Ток рассеяния j_{dis} вызван, главным образом, проводимостью легких ионов. В рамках диффузионного уравнения для вертикальной компоненты электрического поля предпринят феноменологический подход к проблеме внутриоблачной электрификации и последующего пробоя внутриоблачной среды. С использованием закона Ома

$$j_{\text{sep}} = \sigma_{\text{sep}} E; j_{\text{dis}} = \sigma_{\text{dis}} E, \quad (2)$$

исходная модельная система (1) переписывается в виде следующей распределенной системы со случайным размножением, распадом и диффузией:

$$\partial E / \partial t = 4\pi(\sigma_{\text{sep}} - \sigma_{\text{dis}})E + D_c \partial^2 E / \partial t^2. \quad (3)$$

Электродинамика полученного уравнения определяется конкуренцией двух токовых источников: тока сепарации, описывающего рост поля из-за разделения зарядов на облачных частицах и на частицах осадков, и тока рассеяния или тока диссипации, вызванного, главным образом, проводимостью легких ионов. При этом скорость распада определяет ток диссипации, а скорость размножения – ток сепарации. Далее предполагается, что скорость распада однородна в пространстве и во времени, а размножение происходит лишь внутри определенных центров размножения, которые случайно возникают во времени в случайных точках среды, но имеют одинаковую форму, интенсивность и продолжительность жизни. Существенным параметром задачи является безразмерная пространственно-временная концентрация центров размножения, определяемая их масштабом и временем жизни. Когда параметр концентрации мал, различные центры размножения действуют независимо друг от друга и расчет порога пробоя внутриоблачной среды осуществляется в рамках стандартного анализа в приближении среднего поля. По мере роста пространственно-временной концентрации центров размножения различные центры размножения начинают перекрываться в пространственно-временном континууме и их взаимное влияние становится существенным:

последующие центры начинают действовать на фоне пятен электрического поля оставленных предыдущими центрами. Появляются пространственно-временные цепочки центров размножения – кластеры растущей вертикальной составляющей электрического поля, эволюционирующие на фоне практически нулевого среднего поля. Можно показать, что пространственно-временные масштабы этих кластеров расходятся при стремлении параметра пространственно-временной концентрации центров размножения к некоторому критическому значению, соответствующему порогу направленной перколяции. Характерный паттерн развития вертикальной компоненты электрического поля представлен на рис. 1.

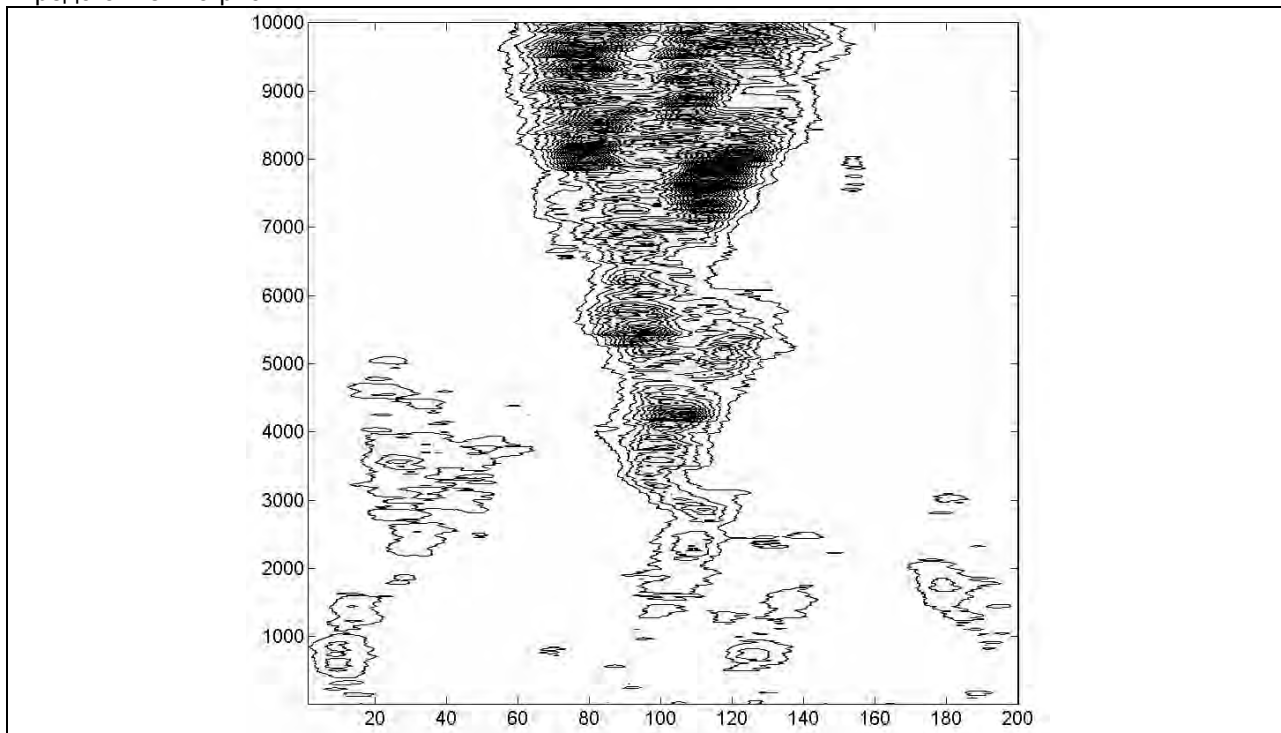


Рис. 1. Динамика линий уровня амплитуды электрического поля, ось времени направлена вертикально вверх

Замечательно, что перколяционный эффект обеспечивает генерацию поля в условиях, когда ток диссипации существенно (в разы) превосходит средний ток сепарации.

Вероятностная модель атмосферного электрического пробоя.

Модель роста внутриоблачного потенциала должна быть дополнена механизмом, ограничивающим этот рост. Естественно предположить, что дискриминация носит локальный характер. Пусть, например, рост потенциального рельефа ограничен некоторым критическим значением разности потенциалов U_c между ближайшими узлами, по достижении которого происходит пробой - между соседними узлами возникает проводящая связь, выравнивающая соответствующую разность потенциалов. Предполагается далее, что некоторые участки потенциального рельефа метастабильны и на следующем шаге модельного времени возникший пробой может инициировать пробой соседних связей (инфицировать соседей), если приложенная к ним разность потенциалов превышает некоторый фиксированный уровень – уровень активации U_a , значение которого в λ раз меньше критического. Для проводящего эллипсоида ($a > b = c$), вытянутого вдоль поля усиление составляет

$$\lambda = e^3 / \{(1 - e^2)(\text{arth}(e) - e)\}, \tag{4}$$

где $e = (1 - a^2/b^2)^{0.5}$ – эксцентриситет эллипсоида. Предположим, что вероятность мелкомасштабного пробоя определяется распределением Вейбулла:

$$p_r = 1 - \exp\{-(E_r/E_0)^m\} \tag{5}$$

и растет с уменьшением масштаба. Тогда вероятность p_{2r} пробоя на удвоенном масштабе может быть представлена в следующем виде $p_{2r} = p_r^2 + 2 p_r (1 - p_r)P_r$, где P_r – условная вероятность наступления второго пробоя масштаба r при условии, что один такой пробой уже наступил. Для распределения Вейбулла эта вероятность имеет следующий вид

$$P_r = 1 - (1 - p_r)^{2m - 1}. \tag{6}$$

Окончательно для p_{2r} получаем

$$p_{2r} = 2p_r(1 - (1 - p_r)^{2m}) - p_r^2. \quad (7)$$

Функциональная зависимость представлена графически на рис. 2. Стационарная точка отображения (4) $p_r = p_{2r}$ достигается при $p_r = 0; 1; p_c$. Неустойчивая критическая точка

$$p_c = 1 - (1/2)^{1/(\lambda m - 1)} \quad (8)$$

определяет переход от режима, когда зона разряда остается ограниченной, к режиму неограниченного роста разрядного процесса.

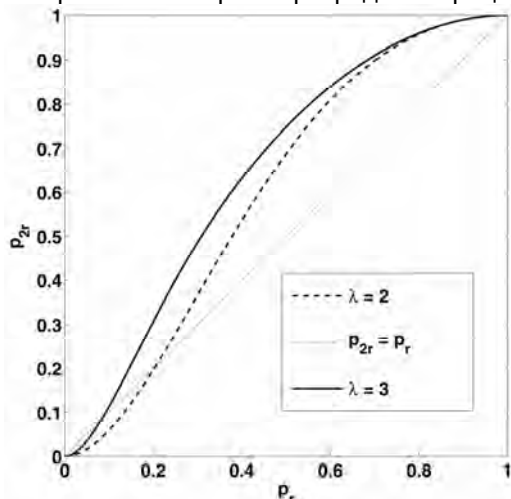


Рис. 2. Графическое представление рекуррентного соотношения для вероятности развития пробоя.

Функциональная зависимость p_{2r} от p_r при параметре Вейбулла $m = 2$ показана для $\lambda = 2$ and $\lambda = 3$. Соответствующие критические точки $p_c(\lambda = 2) = 0.2063$ и $p_c(\lambda = 3) = 0.0808$

Соответствующее критическое поле может быть вычислено с помощью формулы Вейбулла (5):

$$E_c = \{\ln(2)/(\lambda^m - 1)\}^{1/m} \quad (9)$$

Зависимость критической вероятности и критического поля от параметра λ показана на рис. 3. При $m = 2$ и $\lambda = 2$, $p_c = 0.2063$ и $E_c = 0.4807E_0$.

Настоящая работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 11-01-97028; при поддержке Министерства образования и науки РФ (ГК № 16.740.11.0488, ГК № 11.519.11.5017 и ГК № 16.518.11.7006).

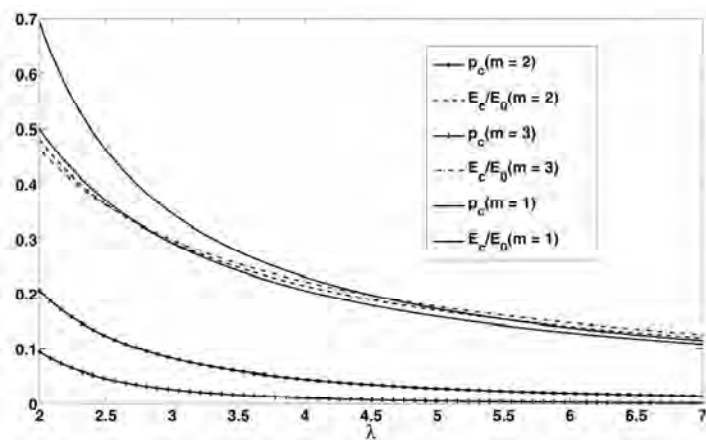


Рис. 3. Зависимость критической вероятности p_c и приведенного критического поля E_c/E_0 от параметра λ

Литература

1. Трахтенгерц В.Ю. Коллективная зарядка облака / В.Ю. Трахтенгерц // Доклады Акад. Наук, 308:584, 1989.
2. Трахтенгерц В.Ю. Электродинамика конвективного облака / В.Ю. Трахтенгерц, Е.А. Мареев, А.Е. Сорокин // Известия вузов--Радиофизика. т. 40, №1-2, с. 123-137, 1997.
3. Мареев Е.А. Электрическое турбулентное динамо в слабопроводящей среде / Е.А. Мареев, препринт ИПФ РАН // Нижний Новгород, 1998.
4. Мареев Е. А. Эффекты коллективной зарядки облака в многотоковой аэрозольной плазме / Е.А. Мареев, А. Е. Сорокин, В.Ю. Трахтенгерц // Физика плазмы. 1999. N 3. С. 123.
5. Mareev, E.A. Effects of collective charging in a multiflow aerosol plasma / E.A. Mareev, A.E. Sorokin and V.Yu. Trakhtengerts // Plasma Physics Reports, 25, 3, 289-300, 1999.
6. Iudin D.I. Fractal dynamics of electric discharges in a thundercloud / D. I. Iudin, V. Yu. Trakhtengerts, and M. Hayakawa // 2003, Phys. Rev. E 68, 016601.
7. Mareev E. A. Fine structure of thunderstorm electric field: spectra from soundings and significance for charge generation mechanisms / Mareev E. A., Sorokin A. E., Iudin D. I., Trakhtengerts Y. Yu., Marshall T. C., Stolzenburg M. // Proc. 12th Int. Conf. on Atmospheric Electricity. Versailles, France, 2003. P. 123-126.
8. Мареев Е. А. Современные проблемы исследования грозового электричества. / Е. А. Мареев, Иудин Д.И., Трахтенгерц В.Ю., Сорокин А.Е., Шаталина М.С. // Проектирование и технология электронных средств, с.7 - 16, 2004.
9. Petersen D. A brief review of the problem of lightning initiation and a hypothesis of initial lightning leader formation / Petersen D., Bailey M., Beasley W. H., and Hallett J. // JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 113, D17205, doi:10.1029/2007JD009036, 2008.

О НЕКОТОРЫХ СООТНОШЕНИЯХ ТЕОРИИ КЛАССИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОДНОГО ЭФФЕКТА

А.В. Калинин¹, Е.Е. Григорьев², А.М. Терентьев²

1 - Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород; ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород

2 - ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород
avk@mm.unn.ru

Стационарная система уравнений для классической модели электродного эффекта при одинаковой подвижности положительных и отрицательных запиcывается в виде [1]:

$$\operatorname{div}(k\vec{E} \cdot n_1) = q - \alpha n_1 \cdot n_2, \quad (1)$$

$$-\operatorname{div}(k\vec{E} \cdot n_2) = q - \alpha n_1 \cdot n_2, \quad (2)$$

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{e}{\varepsilon_0} (n_1 - n_2). \quad (3)$$

Здесь $\vec{E} = \vec{E}(\vec{x})$ – напряженность электрического поля, $n_1 = n_1(z)$, $n_2 = n_2(z)$ – концентрации положительно и отрицательно заряженных ионов соответственно, $\vec{x} = (x_1, x_2, x_3) \in \Omega$, Ω – некоторая трехмерная область, граница Γ которой может состоять из одной или нескольких связных компонент, играющих роль электродов (при моделировании электродного эффекта в приземных слоях атмосферы, Γ – поверхность Земли), ε_0 – электрическая проницаемость вакуума; e – величина зарядов ионов, принятая в работе равной заряду электрона; q – интенсивность ионообразования; α – коэффициент рекомбинации; k – подвижность ионов. В настоящей работе предполагается, что k , q , α постоянны и принимают в области Ω значения

$$q \cong 10^7 \text{ м}^{-3}\text{с}^{-1}, \quad \alpha \cong 1.6 \times 10^{-12} \text{ м}^3\text{с}^{-1}, \quad k \cong 1.2 \times 10^{-4} \text{ м}^2\text{с}^{-1}\text{В}^{-1}. \quad (4)$$

В работе показывается, что справедливо равенство

$$(\vec{E} \cdot \operatorname{grad} F_\beta(n_1, n_2)) = 0, \quad (5)$$

где

$$F_\beta(n_1, n_2) = \tilde{F}_\beta(\eta_1, \eta_2) = \begin{cases} \left(\frac{\beta-1}{\beta} \eta_1 \cdot \eta_2 + \frac{1}{\beta} \right)^{\frac{\beta}{\beta-1}}, & \beta \neq 1, \\ \frac{e^{(\eta_1 \eta_2 - 1)}}{(\eta_1 + \eta_2)^2}, & \beta = 1, \end{cases} \quad (6)$$

$\eta_i = \frac{n_i}{n_\infty}$, $n_\infty = \sqrt{\frac{q}{\alpha}}$, $\beta = \frac{2ke}{\varepsilon_0 \alpha}$ ($\beta \cong 2.7$). Равенство (5) означает, что вдоль силовых линий

электрического поля \vec{E} величина $F_\beta(n_1, n_2)$ остается неизменной:

$$F_\beta(n_1, n_2) = C = \operatorname{const}. \quad (7)$$

В частности, если при достаточном удалении силовой линии от поверхности Γ среда становится электрически нейтральной и

$$n_1 \rightarrow n_\infty, \quad n_2 \rightarrow n_\infty, \quad (8)$$

то, как видно из (6), (7),

$$F_\beta(n_1, n_2) = F_\beta(n_\infty, n_\infty) = \frac{1}{4}. \quad (9)$$

Используя этот факт, могут быть получены как известные классические результаты ([3]), так и новые соотношения. Из соотношений

$$F_\beta(n_0, 0) = F_\beta(0, n_0) = F_\beta(n_\infty, n_\infty) = 1/4$$

следует, что если на поверхности Γ (не обязательно плоской) $n_2|_\Gamma = 0$, то

$$n_1|_{\Gamma} = n_0 = \begin{cases} 2 \left(\frac{1}{\beta} \right)^{\frac{\beta}{2(\beta-1)}} \sqrt{\frac{q}{\alpha}}, & \beta \neq 1, \\ 2 \sqrt{\frac{q}{\alpha}}, & \beta = 1 \end{cases} \quad (10)$$

[2, 3]. Соотношения (7) (в общем случае) и (9) (при условии (8)) позволяют получить алгебраическую связь на силовой линии электрического поля между проводимостью $\sigma = ke(n_1 + n_2)$ и плотностью заряда $\rho = e(n_1 - n_2)$ после подстановки в (6), (7) (или (6), (9)) выражений

$$n_1 n_2 = \left(\frac{\sigma}{2ke} \right)^2 - \left(\frac{\rho}{2e} \right)^2, \quad n_1 + n_2 = \frac{\sigma}{ke}.$$

В случае, когда известна геометрия силовых линий электрического поля, т.е. известно поле $\vec{s} = \vec{E}/|\vec{E}|$, из (7) (или (9)) и из уравнения $\text{div}(\vec{E}(n_1 + n_2)) = 0$ может быть получено дифференциальное уравнение для $|\vec{E}|$ вдоль силовой линии и отношение $|\vec{E}_\infty|/|\vec{E}_0|$. Например, в рассматриваемом в работах [2, 3] случае

$$\vec{E} = \vec{i}_3 E_3(x_3) = \vec{i}_3 E(z), \quad \vec{s} = \vec{i},$$

$$\text{div}(\vec{E}(n_1 + n_2)) = \frac{d}{dz}(E(n_1 + n_2)) = 0, \quad ke(n_1 + n_2)E = I = \text{const}, \quad (11)$$

и из (3), (6), (7), (11) может быть получено выведенное в работе [3] уравнение для напряженности электрического поля.

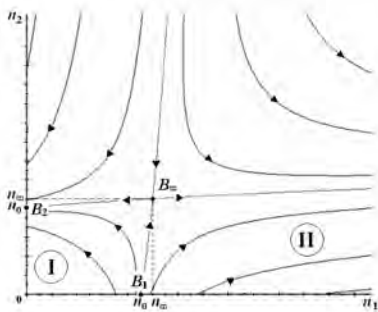


Рис.1. Фазовая плоскость.

В докладе также анализируются особенности постановок корректных задач для системы (1)–(3) на основе качественного представления поведения решений $E(z)$, $n_1(z)$, $n_2(z)$, представленного на фазовой плоскости (рис. 1), и проведенных численных экспериментов. Классическая теория электродного эффекта, развитая в работе [3], фактически соответствует предположению о том, что решение системы (1)–(3) рассматривается на неустойчивой траектории (сепаратрисе) $B_1 B_\infty$ фазовой плоскости. На рис. 3 приводится решение, соответствующее сепаратрисе $B_1 B_\infty$, на рис. 2, 4 представлены решения системы, соответствующие I и II областям фазовой плоскости. При этом, как показывает численный эксперимент, на высоте до 4.5 м отличие решений на рис. 2–4 составляет менее 0.1%, а далее происходит качественное изменение поведения решений.

высоте до 4.5 м отличие решений на рис. 2–4 составляет менее 0.1%, а далее происходит качественное изменение поведения решений.

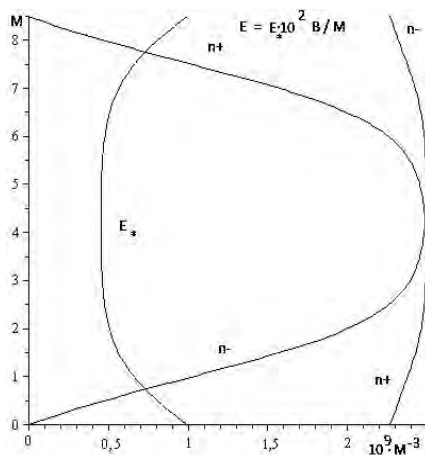


Рис. 2. Решение в области I.

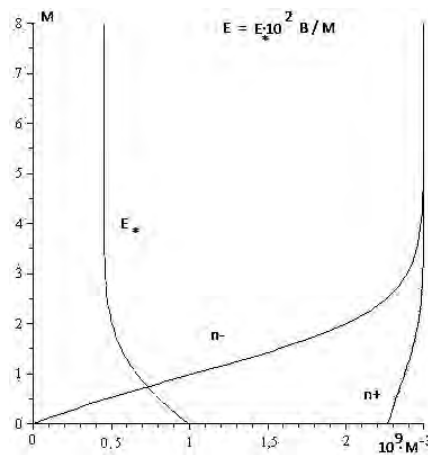


Рис. 3. Решение на $B_1 B_\infty$.

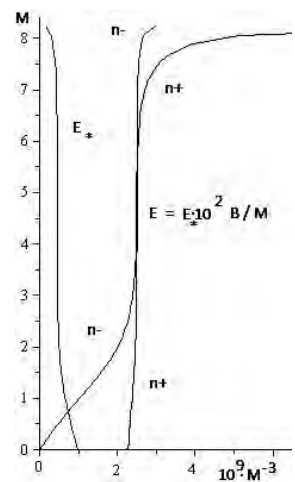


Рис. 4. Область II.

Полученные результаты обобщают известные результаты из теории классического электродного эффекта [1-3] и могут быть использованы для решения обратных задач определения параметров атмосферы по измерениям электрического поля вблизи поверхности Земли. Проанализированы вопросы корректности при постановке задач для системы (1)-(3). Основным результатом является новый первый интеграл системы (1)-(3).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства Российской Федерации (договор № 11.G34.31.0048) и Программой Президиума РАН «Природная среда России».

Литература

1. Куповых Г.В., Морозов В.Н., Шварц Я. М. Теория электродного эффекта в атмосфере. Таганрог: Изд-во ТРТУ. 1998. 123 с.
2. Hoppel W.A. Theory of electrode effect // J. of Atmospheric and Terrestrial Phys., 1967, V.29. Pp. 709–721.
3. Thomson J.J. Conduction of electricity through gases. Cambridge. 1903. 566 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ АТМОСФЕРЫ В Г. НАЛЬЧИКЕ, ПО ДАННЫМ ИЗМЕРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ EFM550

Р.Х. Калов, Х.М. Аджиев
ФГБУ "Высокогорный геофизический институт"
ruskalov@rambler.ru

С 2010 г. в Высокогорном геофизическом институте введен в эксплуатацию измеритель напряженности электрического поля атмосферы и грозовых облаков EFM550 фирмы Vaisala с целью мониторинга электрофизических явлений в свободной атмосфере и облаках.

Актуальность исследований электрических характеристик облаков и свободной атмосферы не вызывает сомнений в связи с тем, что изменениями напряженности электрического поля сопровождаются такие важные для исследований явления и процессы, как: развитие облаков по высоте, выпадение осадков и рост их интенсивности, развитие грозы, разряды молнии, рост заряда облака, возникновение туманов и многие другие. Следует отметить, что исследования атмосферного электричества необходимы для решения широкого круга задач: построение вариаций электрического поля атмосферы, определение предмолниевой стадии развития облака, выявление опасных для полетов зон, выяснение вопросов, существенных для физики облаков и грозового электричества.

Локальное отслеживание, регистрация и точное измерение характеристик электрического поля дает информацию, позволяющую оценить вероятность удара молнии в области измерения и заблаговременно принимать решения, связанные с безопасностью при приближении грозы, в частности, выдавать заблаговременное предупреждение о грозовых условиях и определять, когда эти условия стабилизировались и опасность миновала. Использование измерителя электрического поля наряду с другими источниками метеоинформации, например радиолокатором, спутником и системой отображения грозовых районов, на сегодняшний день дает самую надежную информацию об опасных явлениях, связанных с грозами.

Измеритель напряженности электрического поля (далее датчик) EFM550, включающий датчик поля и аппаратно-программный комплекс для сбора, обработки и хранения информации, предназначен для регистрации напряженности поля в атмосфере в месте его установки. На рис. 1 приведен внешний вид датчика EFM550. Основные технические характеристики датчика EFM550:

- диапазон измерений напряженности электрического поля в атмосфере от +10000 В/м до –10000 В/м;
- точность измерения: $\pm 10\%$;
- инерционность не более 1с.

Датчик EFM550 используется, как правило, для обеспечения заблаговременного предупреждения об активизации грозовой деятельности в районах расположения следующих объектов:

- на военных объектах;
- близи аэродромных заправочных станций;
- в районах проведения взрывных работ;
- на аэрокосмических и ракетных комплексах;
- на строительных объектах;
- в рекреационных и развлекательных учреждениях;
- в местах работы с взрывоопасными или легковоспламеняющимися материалами;

Рис.1. Датчик EFM550.

- в местах проведения атмосферных исследований при подготовке прогнозов;
- на нефтехранилищах и перерабатывающих заводах.

Для проведения измерений и регистрации суточного хода напряженности электрического поля в свободной атмосфере датчик EFM550 был установлен на крыше здания ВГИ в Нальчике в 2010 г. Датчики EFM550 в 2010 и 2012 гг. в летний период также устанавливаются в горной и предгорной зонах КБР: на пике Чегет (метеостанция «Чегет» на высоте 3040 м над уровнем моря), пике Терскол (высота 3100 м н. ур. м.) и научно-исследовательском полигоне ВГИ «Кызбурун» (высота около 700 м

н.ур.м.). На двух пунктах размещения датчиков EFM550 (ВГИ и полигон «Кызбурун») также были установлены датчики автоматической метеостанции METEOSKAN PRO 923 типа RSTO1938 для круглосуточной регистрации метеоданных: осадков, влажности и температуры воздуха, направления и скорости ветра с точностью, близкой к $\pm 10\%$. Целью регистрации метеопараметров является выявление особенностей изменения электрических параметров атмосферы при изменениях метеоусловий. Для этих целей были выполнены синхронные регистрации вариации атмосферного электричества и параметров погоды в различные периоды года, при различных метеоусловиях: отсутствии облачности, частичной и сплошной облачности, при выпадении жидких и твердых осадков; туманах, при различных значениях температуры, давления и влажности воздуха.

В процессе проведения измерений и анализа их результатов были выделены пять основных групп наблюдающихся суточных профилей напряженности электрического поля:

I группа – профили напряженности поля в безоблачные дни, дни хорошей погоды;

II группа – профили напряженности поля при сплошной облачности без осадков;

III группа – профили напряженности поля в дни при сплошной облачности с осадками;

IV группа – профили напряженности поля в дни с незначительной облачностью, не превышающей 2-3 балла;

V группа – профили напряженности поля в дни с грозовыми облаками.

Ниже приводятся некоторые данные регистраций, полученных с помощью датчика EFM550 для различных групп наблюдающихся суточных профилей напряженности электрического поля.

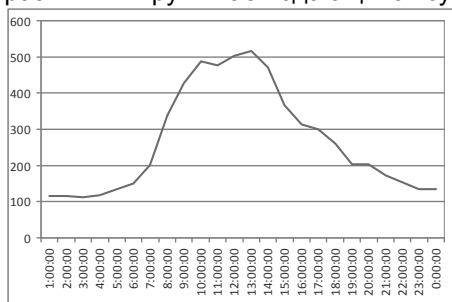


Рис.2. Осредненный по пяти дням (с 21 по 25.12.2010г.) суточный ход напряженности поля в Нальчике в дни с «хорошей погодой».

На рис.2 представлен суточный ход напряженности поля в г.Нальчике, осредненный по пяти дням с хорошей погодой (I группа). Амплитуда поля растет от минимального значения ~ 100 В/м в 0 часов до максимального значения 500...600 В/м в полуденное время и далее наблюдается уменьшение до первоначального значения.

Следует отметить, что профили поля в дни с облачностью при отсутствии осадков (II группа) практически схожи с полями в дни с «хорошей» погодой. Сравнение профилей электрического поля и метеоданных показывает для II группы, что максимальное значение напряженности поля имеет место в полдень по местному времени, когда температура воздуха наибольшая. С увеличением влажности воздуха, имеет место повышение амплитуды напряженности поля с 450 В/м до 700 В/м.

Наличие облачных образований с осадками оказывает значительное влияние на суточный ход напряженности поля. В подтверждение приведем профили электрического поля группы III – профили напряженности поля в дни при сплошной облачности с осадками (рис. 3.).

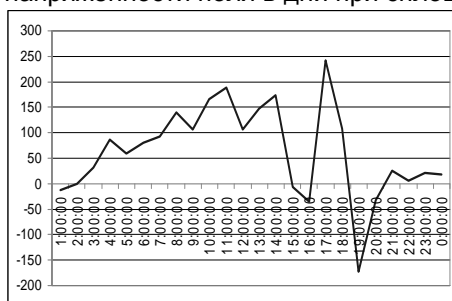


Рис.3. Суточный ход напряженности поля в Нальчике 30.12.2010г. при сплошной облачности с осадками.

Как видно из рис. 3 профили напряженности электрического поля III группы отличаются от предыдущих профилей I и II групп по следующим признакам:

1. Амплитуда поля в несколько раз меньше, чем при безоблачном небе.
2. Напряженность поля меняется с положительной полярности на отрицательную (с переходом через 0 В/м).
3. При выпадении осадков поле резко уменьшается и принимает отрицательное значение.

При наличии грозовой активности в атмосфере (в дни с грозовыми облаками и разрядами молний, зафиксированными грозорегистратором LS8000) по регистрациям датчика EFM550 получены значения напряженности поля различной полярности, превышающие ± 10000 В/м.

В процессе проведения измерений электрического поля атмосферы и грозовых облаков с использованием датчика EFM550 и анализа данных теоретических и натурных исследований выявлены особенности вариации электрического поля атмосферы при различных погодных условиях и, в том числе, при развитии грозовых процессов. Сопоставление данных регистрации электрического поля атмосферы, получаемых с помощью датчика EFM550, с данными метеонаблюдений метеостанции «Нальчик» показало наличие корреляционных взаимосвязей между суточным ходом электрического поля и состоянием погоды, а также продемонстрировало достаточно надежную работу датчика, достоверность получаемой информации и подтверждает возможность применения данных измерителя электрического поля для принятия решений, связанных с обеспечением безопасности при приближении грозы.

Высокогорным геофизическим институтом в настоящее время разворачивается многопунктная сеть станций по наблюдению за электрическими параметрами атмосферы на Северном Кавказе, которая

будет включать грозорегистрационную сеть, состоящую из 4-х грозопеленгаторов и центрального пункта приема и обработки информации LS 8000, и измерители электрического поля атмосферы EFM550 фирмы Vaisala. Совместная работа сети датчиков EFM550 и грозорегистрационной сети LS 8000 позволит организовать мониторинг электрического состояния атмосферы в центральной части Северного Кавказа.

РАЗВИТИЕ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА МОЛНИЕЗАЩИЩЕННОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

И.Е. Калугина, С.В. Гундарева
 Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва
 KaluginalY@mpei.ru

Вопросы молниезащиты объектов электроэнергетики никогда не теряли своей актуальности. Грозовые отключения воздушных линий электропередачи по-прежнему являются серьезным фактором нарушения бесперебойного электроснабжения потребителей. Традиционные подходы к оценке молниезащищенности часто не позволяют объективно оценить надежность защиты объекта (ЛЭП). В настоящей работе предлагается методика расчета, в основу которой положены существующие в этом направлении разработки, а именно вероятностная методика [2,3]. Реализация методики для трехмерной модели линии электропередачи позволяет рассмотреть наличие опор ЛЭП и провисание проводов и тросов в пролете линии, что значительно расширяет ее возможности и повышает достоверность полученных результатов.

Ключевой стадией, связывающей накопленные в грозовом облаке заряды и какой-либо наземный объект и фактически определяющей место поражения, является нисходящий лидер молнии. Канал лидера молнии моделируется линейным зарядом τ_n и точечным зарядом головки q_f . Область возможных положений головки лидера молнии, при прохождении которой существует вероятность поражения проводов линии, представляется сеткой, по которой двигается лидер молнии. Шаг сетки по вертикали и характер его изменения с высотой над землей соответствует наблюдаемым длинам ступеней отрицательного лидера молнии. Возможная искривленность траектории лидера учитывается при рассмотрении вероятности углов наклона его канала к земной поверхности.

Когда головка лидера достигает некоторой высоты, у заземленного объекта создается электрическое поле, достаточное для развития встречного лидера. Это событие связывается с процессом ориентации молнии. Решение задачи в рамках трехмерной модели позволяет рассмотреть возможность возникновения встречного лидера не только с фазных проводов и тросов, но и с опоры линии, в первую очередь с ее вершины и концов траверс. В результате расчета поля определяется разность потенциалов на выделенных участках вблизи каждого элемента. Критерием возникновения и устойчивого развития встречного лидера предлагается считать превышение разности потенциалов на выделенных участках величины пятидесятипроцентного разрядного напряжения промежутка той же длины $U_{50\%}$ [1-3]. Наличие разбросов пробивных напряжений выбранных промежутков σ позволяет учесть вероятностный характер процесса возникновения встречного лидера. Вероятность возникновения встречного лидера с k -того элемента при условии, что он не возникнет с остальных и с земли, определяется выражением:

$$P_k = \int_0^{\infty} f_k(U) \prod_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^n [1 - F_m(\Psi_m U)] [1 - F_3(\Psi_3 U)] dU,$$

где n – число рассматриваемых точек элементов объекта (ВЛ);

$F_m(\Psi_m U)$, $F_3(\Psi_3 U)$ – соответствующие интегральные функции распределения пробивных напряжений промежутков ΔX_m , ΔX_3 ;

$\Psi_m = U_m/U_k$;

$\Psi_3 = U_3/U_k$;

U_m , U_k , U_3 – напряжения на участках ΔX_m , ΔX_k , ΔX_3 ;

ΔX_m , ΔX_k , ΔX_3 – участки на прямой, соединяющей головку лидера с рассматриваемыми точками линии при $m \neq k$ и поверхностью земли соответственно (рис. 1).

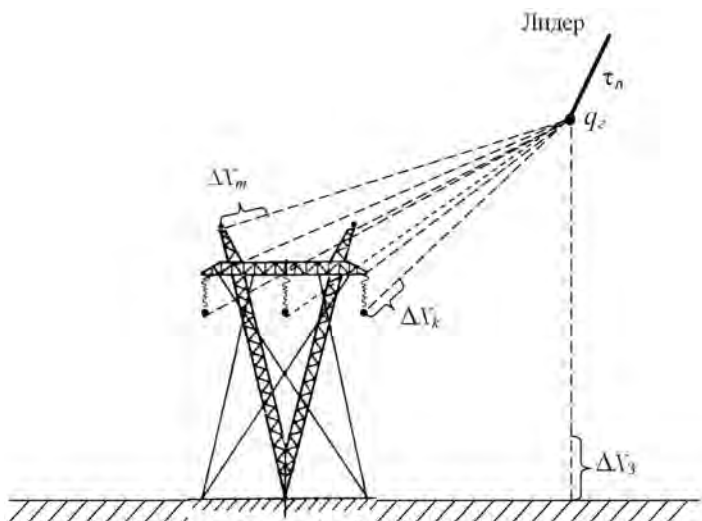


Рис.1. К расчету вероятности прорыва молнии

Перемещение головки лидера по всему выделенному пространству около ЛЭП позволяет рассмотреть весь возможный диапазон токов молнии, при которых возможно поражение ее элементов.

На основе предложенной математической модели создан программный комплекс. Основными результатами расчета являются число отключений линии в результате прорыва молнии на провода сквозь тросовую защиту $n_{пр}$ и при обратных перекрытиях изоляции линии в случае удара молнии в опору $n_{обр}$.

Тестирование методики проводилось для двух российских линий сверхвысокого напряжения ВЛ 500 кВ и 750 кВ с достаточно большим сроком эксплуатации (не менее 30,00 тыс. км-лет). Эти линии имеют характерную для нашей страны конструкцию опор, что позволяет воссоздать ее трехмерную модель.

Результаты расчетов и данные эксплуатации для тестируемых линий показаны в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительная таблица молниезащищенности линий электропередачи по данным эксплуатации и результатам расчетов

Класс напряжения, кВ	500	750
Данные эксплуатации		
$n_{гр}$, на 100 км 100 гр. ч.	0,160 ÷ 0,020	0,080
$n_{пр}$, на 100 км 100 гр. ч.	0,120 ÷ 0,150	0,072
$n_{обр}$, на 100 км 100 гр. ч.	0,045	0,008
Расчет		
$n_{гр}$, на 100 км 100 гр. ч.	0,160	0,066
$n_{пр}$, на 100 км 100 гр. ч.	0,099	0,056
$n_{обр}$, на 100 км 100 гр. ч.	0,061	0,010

Расчетные оценки общего числа грозовых отключений, $n_{гр}$, дают совпадение с данными эксплуатации для линии 500 кВ, для линий 750 кВ погрешность расчета не превышает 17,5%. Учитывая сложность моделируемых процессов, приближенность в оценках эксплуатационных данных, отсутствие информации по индивидуальным характеристикам каждой линии (например, рельеф местности, сопротивление грунта), полученный результат является очень хорошим. Он свидетельствует о том, что методика рассматривает процессы, являющиеся определяющими при поражении молнией наземных объектов. Также получена информация о распределении ударов между элементами конструкции ВЛ, а именно числе ударов в опоры, провода, тросы линии. Анализ этих параметров служит дополнительным подтверждением достоверности разработанной методики. Исследования влияния напряжения на фазных проводах показали вполне ожидаемые изменения в степени их поражаемости.

Разработанная методика позволяет рассчитывать линии любых нетиповых конструкций любого класса напряжения, определять распределение ударов молнии между элементами конструкции ЛЭП, устанавливать истинные причины низкой молниезащищенности каждой конкретной линии и в дальнейшем разрабатывать адекватные меры ее защиты от грозовых перенапряжений.

Литература

1. Базелян Э.М., Горин Б.Н., Левитов В.И. Физические и инженерные основы молниезащиты. – Л., Гидрометеиздат, 1978. – 223с.
2. Ларионов В.П., Колечицкий Е.С., Шульгин В.Н. Расчет вероятности прорыва молнии сквозь тросовую защиту. // Электричество. – № 5. – 1981.
3. Развитие вероятностной методики расчета молниезащиты линий СВН и УВН / И.Е. Калугина // Вестник МЭИ. 2008. № 1. С. 79-83.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ МОЛНИЕВОГО РАЗРЯДА С ВЫСОКИМ ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

А.Н. Караштин¹, Ю.В. Шлюгаев¹, О.С. Караштина¹, Г.П. Комраков¹, А.А. Лисов¹, Е.В. Пичужкин¹,
А.В. Гуревич²

1 - Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород, Россия

2 - Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

tolk@nirfi.sci-nnov.ru

На стенде СУРА Научно-исследовательского радиофизического института создан специализированный комплекс, позволяющий регистрировать радиоизлучение молниевых разрядов близких гроз в широком диапазоне частот с высоким временным разрешением. Комплекс состоит из четырех синхронно работающих установок. Одна из них регистрирует квазистатическое электрическое поле (флюксометр типа field-mill) и его вариации в диапазоне частот 50 Гц – 10 кГц. Эта установка работает непрерывно, регистрируя данные в "медленном" режиме с частотой дискретизации 20 Гц. При превышении амплитудой вариаций поля заданного порогового значения эта установка вырабатывает запускающий (триггерный) импульс для остальных установок, а сама по первому такому импульсу переходит в режим "быстрой" регистрации с темпом оцифровки данных около 50 микросекунд на период времени порядка одного часа, после чего возвращается в "медленный" режим. Три другие установки предназначены для регистрации волновой формы КВ радиоизлучения и определения направления его прихода в диапазоне частот 50 кГц – 30 МГц, УКВ радиоизлучения в диапазоне на частоте около 400 МГц и вариаций электрического поля в диапазоне частот 50 Гц – 2 МГц (датчик конденсаторного типа, измерение тока). Эти установки также работают непрерывно, записывая данные во внутренние кольцевые буферы. По поступлении триггерного импульса данные записываются в буферы еще некоторое время, зависящее от заданного времени предыстории и размеров буфера, после чего весь буфер переписывается в память компьютера и на жесткий диск. Ограничение времени записи данных на этих установках необходимо из-за большой скорости дискретизации и, соответственно, накопления данных. Кроме того, в состав комплекса входит грозопеленгатор фирмы Voltek, служащий для оперативной оценки грозовой обстановки в радиусе до 500 км от пункта наблюдения. Синхронизация установок производится с использованием протокола NTP в локальной сети и триггерных импульсов.

В настоящем докладе представлены результаты проведенных с использованием описанного выше комплекса наблюдений. Рассмотрены импульсные и спектральные характеристики молниевых разрядов в диапазоне частот от 1 кГц до 30 МГц. Обнаружено, что начиная с подготовительной стадии разряда вплоть до возвратного удара (для молний облако - земля) излучение молниевых разрядов носит импульсный характер. На начальной стадии развития молнии наблюдаются очень короткие биполярные импульсы полной длительностью 0.2 - 0.3 мкс и длительностью первого пика менее 100 нс. Соответственно, спектры излучения имеют сходный вид с максимумом интенсивности в диапазоне частот 0.5 - 5 МГц. Отметим, что на частотах выше 10 - 15 МГц от молниевых разрядов никогда не наблюдалось радиоизлучение, превышающее фоновый уровень, что указывает на отсутствие в излучении интенсивных импульсов с характерной длительностью менее 30 - 50 нс. На стадии возвратного удара, типичная длительность которого составляет порядка 100 мкс, наблюдается появление сильного низкочастотного радиоизлучения с максимумом в диапазоне частот 10 - 50 кГц, а само излучение носит непрерывный квазишумовой характер.

В настоящем докладе представлены результаты проведенных с использованием описанного выше комплекса наблюдений. Рассмотрены импульсные и спектральные характеристики молниевых разрядов в диапазоне частот от 1 кГц до 30 МГц. Обнаружено, что начиная с подготовительной стадии разряда вплоть до возвратного удара (для молний облако - земля) излучение молниевых разрядов носит импульсный характер. На начальной стадии развития молнии наблюдаются очень короткие биполярные импульсы полной длительностью 0.2 - 0.3 мкс и длительностью первого пика менее 100 нс. Соответственно, спектры излучения имеют сходный вид с максимумом интенсивности в диапазоне частот 0.5 - 5 МГц. Отметим, что на частотах выше 10 - 15 МГц от молниевых разрядов никогда не наблюдалось радиоизлучение, превышающее фоновый уровень, что указывает на отсутствие в излучении интенсивных импульсов с характерной длительностью менее 30 - 50 нс. На стадии возвратного удара, типичная длительность которого составляет порядка 100 мкс, наблюдается появление сильного низкочастотного радиоизлучения с максимумом в диапазоне частот 10 - 50 кГц, а само излучение носит непрерывный квазишумовой характер.

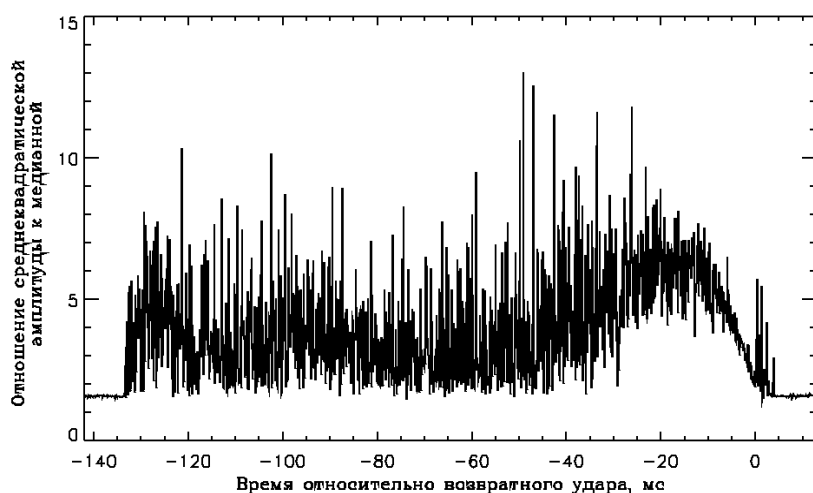
Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, гранты 11-05-97036, 12-02-01294.

СТРУКТУРА КОРОТКОВОЛНОВОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ МОЛНИЕВОГО РАЗРЯДА

А.Н. Караштин¹, Ю.В. Шлюгаев¹, О.С. Караштина¹, Е.В. Пичужкин¹, А.В. Гуревич²
1 - Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород, Россия
2 - Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия
tolk@nirfi.sci-nnov.ru

Измерения волновой формы радиоизлучения близких молниевых разрядов выполнены на специализированном аппаратном комплексе Научно-исследовательского радиофизического института, расположенном на территории лаборатории «Васильсурск» (стенд СУРА) примерно в 140 км к востоку от Нижнего Новгорода, в диапазоне частот 50 кГц — 30 МГц с временным разрешением 16 нс. По данным наблюдений указанное временное разрешение позволяет полностью разрешить тонкую структуру радиоизлучения разряда и отдельно проанализировать его импульсную и квазинепрерывную компоненты.

Для оценки интенсивности радиоизлучения можно использовать среднеквадратическое и медианное среднее его амплитуды. Соотношение между этими средними дает информацию о характере излучения. Очевидно, что для монохроматического сигнала оба этих средних значения совпадают, в то время, как для редких импульсов медианное среднее должно быть близко к нулю вне зависимости от амплитуды импульсов. Характерная зависимость отношения среднеквадратической и медианной амплитуд радиоизлучения в конкретном молниевом разряде приведена на рис. 1. Был выбран разряд, достаточно удаленный от точки наблюдения для того, чтобы изменение расстояния до различных частей разряда несущественно влияло на амплитуду наблюдаемого радиоизлучения. Из рис.1 видно, что вне разряда отношение среднеквадратической амплитуды к медианной близко к 1.5, что характерно для нормального гауссовского шума. Принимаемый сигнал в этом случае обусловлен сложением сигналов множества работающих радиостанций, что подтверждается спектральным составом наблюдаемого шума.



С началом развития молниевых разрядов отношение средних амплитуд резко возрастает, указывая на импульсный характер излучения. Следует отметить, что при этом среднеквадратическая амплитуда сигнала увеличивается почти на порядок, в то время, как медианная практически не изменяется. Такое поведение отношения средних амплитуд сохраняется вплоть до возвратного удара, вблизи которого оно начинает уменьшаться, возвращаясь к значению, близкому к 1.5, непосредственно во время возвратного удара.

Рис. 1. Отношение среднеквадратической амплитуды радиоизлучения непосредственно во время молниевых разрядов к медианной за время развития разряда.

Таким образом, на всех стадиях развития молнии, исключая возвратный удар, ее радиоизлучение носит импульсный характер. Оно, в основном, представляет собой последовательность коротких биполярных импульсов, разделенных интервалами, существенно превышающими длительность импульса. Одним из характерных свойств импульсного излучения молнии является его внезапное начало и слабое изменение интенсивности в течении всего времени развития разряда.

Частота следования импульсов (см. рис. 2) остается практически неизменной на подготовительной стадии развития молнии, составляя 30-40 импульсов за миллисекунду. При дальнейшем развитии разряда частота следования импульсов существенно повышается (до 10 раз непосредственно перед возвратным ударом). При этом среднеквадратическая интенсивность излучения меняется незначительно в связи с пропаданием импульсов большой амплитуды.

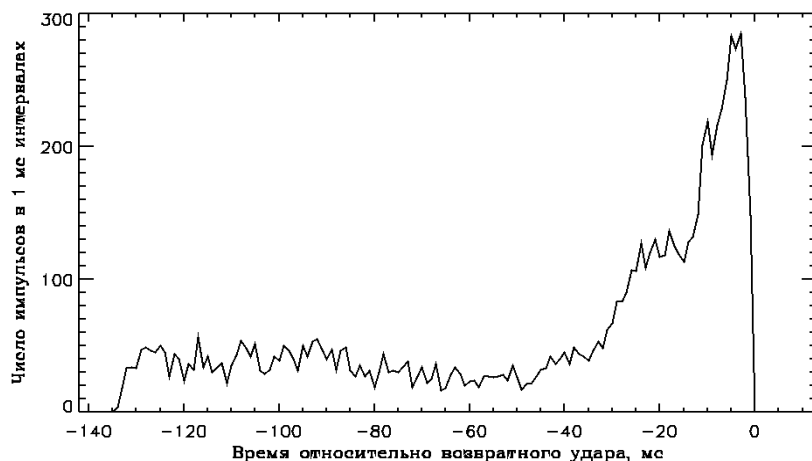


Рис. 2. Частота следования импульсов радиоизлучения за время развития молниевых разряда.

Распределения амплитуд импульсов и межимпульсных интервалов, показанные на рис. 3 для всего времени развития молниевых разряда, свидетельствуют в пользу независимости и случайности импульсов. Следует отметить, что параметры данных распределений меняются в ходе развития разряда в части уменьшения характерной амплитуды импульса и характерного межимпульсного интервала к стадии возвратного удара.

Характерная длительность наблюдаемых биполярных импульсов составляет сотни наносекунд при наиболее вероятной длительности

первого пика около 75 нс на подготовительной стадии разряда, уменьшающейся примерно до 55 нс ближе к стадии возвратного удара.

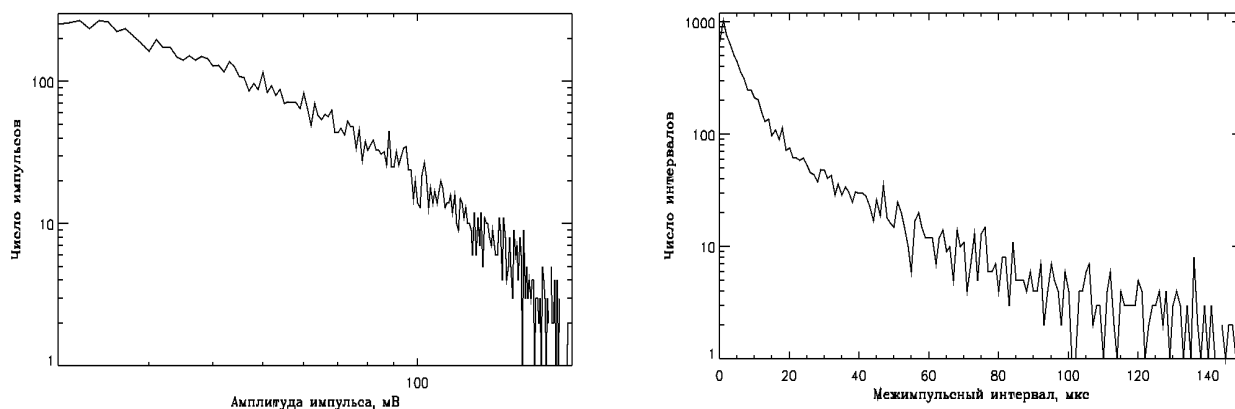


Рис. 3. Распределение амплитуд импульсов радиоизлучения молниевых разряда (слева) и межимпульсных интервалов (справа) на всем времени развития разряда.

Квазинепрерывная компонента излучения на подготовительной стадии разряда практически отсутствует, и появляется только ближе к возвратному удару, по-видимому, на стадии развития ступенчатого лидера, где ее интенсивность тем не менее остается существенно ниже интенсивности импульсной компоненты. На стадии возвратного удара интенсивность коротковолнового радиоизлучения молнии увеличивается более чем на порядок за счет значительного усиления квазинепрерывной компоненты, которая на этой стадии становится преобладающей.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, гранты 11-05-97036, 12-02-01294.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ГРОЗ В ЯКУТИИ В 2009-2011 ГГ

Р.Р. Каримов, В.И. Козлов, В.А. Муллаяров, Л.Д. Тарабукина, С.Н. Шабаганова
Институт космических исследований и аэронавтики СО РАН, Якутск
v.kozlov@ikfia.yasn.ru

Представлены карты плотности грозных разрядов на территории Северной Азии (60°-170° в.д. и 40°-80° с.ш.) за 2009-2011 гг по регистрации методом многопунктовых дистанционных наблюдений с использованием Якутского пункта системы World Wide Lightning Location Network (wwlln.net). Выделяются две области с повышенной грозовой активностью от 44° до 62° с. ш. - Западносибирская равнина (60°-88° в.д.) и районы Большого и Малого Хингана (114°-140° в.д.). За исключением этих

областей наблюдается постепенное уменьшение плотности грозовых разрядов от низких широт к высоким. В долготном ходе, за исключением упомянутых двух областей, наблюдается плавный спад с увеличением долготы. С увеличением высоты местности от 0 м до 800 м над уровнем моря наблюдается подъем грозовой активности, а с дальнейшим повышением местности - плавный спад. Выше 3 км грозовая активность минимальна.

Рассмотрены методика кластеризации грозовых ячеек и полученные с ее помощью характеристики грозовых очагов по наблюдениям на многопунктовом грозопеленгаторе (WWLLN) и трех однопунктовых радиусами действия 300 км в гг. Якутск, Мирный, Нерюнгри. С увеличением плотности грозовых разрядов в регионе, количество грозовых очагов и количество ячеек в очаге растет. Максимальная площадь и интенсивность и очага и грозовой ячейки достигается в средней части времени жизни. С увеличением площади ячеек интенсивность грозовых разрядов падает обратно пропорционально площади. С повышением вытянутости ячеек увеличивается интенсивность грозовых разрядов в этих ячейках.

Число дней с грозой на территории круга радиусом 400 км вокруг г. Якутска с 2009 по 2011 годы изменялось соответственно как 46, 37, 63 дня в летний период. При этом наблюдалось следующее число дней с интенсивными грозами (большая плотность разрядов) или грозами, распространяющимися по большей части наблюдаемой территории: 29 (2009), 21 (2010), 43 (2011). Суммарное количество зарегистрированных грозовых разрядов за рассматриваемый летний сезон (с начала грозовой деятельности – по 31 августа) составило: 2009 г. – 56086, 2010 г. – 49413, 2011 г. – 148359 разрядов. В течение всех трех лет наблюдается выделение двух характерных максимумов активности – в первой декаде июня и последней декаде июля или начале августа. Первый максимум попадал на числа от 12 июня (2011) до 18 июня (2009), даты второго максимума – от 29 июля (2009, 2010) до 3 августа (2011). Также можно выделить третий максимум, приходящийся на середину третьей декады июля – 22-24 июля (2010, 2011). Вероятно, такие всплески грозовой активности объясняются ежегодной сменой циркуляции ветров в северном полушарии.

В 2011 году полученные данные были сопоставлены с наблюдениями на одиннадцати метеостанциях, расположенных в зоне действия используемого в данной работе грозопеленгатора. На рассматриваемой территории в период с начала проявления грозовой деятельности 25 мая до 28 августа включительно по данным метеослужбы было отмечено 59 дней с грозой, а по данным с грозопеленгатора – 63 дня. Причины расхождений количества дней с грозой на наблюдаемой территории, зарегистрированных прибором, но не отмеченных ни на одном из рассмотренных метеопунктов, могут быть объяснены продолжением грозового облака в пространстве между метеостанциями или кратковременной продолжительностью (менее 3 ч.) и непопаданием в сроки наблюдений. Труднее объяснить не принятые пеленгатором, но отмеченные метеостанциями события. Количество таких ошибок увеличивается с отдалением местоположения наблюдательного пункта от центра в г. Якутск. Несовпадения отсутствуют в центральной зоне наблюдений, ограниченной пунктами – Чурапча, Намцы, Бердигестях, а их количество увеличивается с увеличением расстояния от Якутска до станции. Таким образом, можно отметить достоверность измерений, произведенных с помощью грозопеленгатора, для расстояний до разрядов в пределах радиуса действия прибора.

По результатам обработки данных стационарного грозопеленгатора для территории центральной Якутии соотношение количества разрядов типа «облако-земля» (ОЗ) и «облако-облако» (межоблачные) имеет достаточно большие вариации от года к году, меняясь от 40 до 60%. В 2009 и 2011 годах наблюдалось доминирование числа ОЗ разрядов за один грозовой день: медианные значения соответственно – 58% и 57%, средние значения для обоих годов – 57%. В 2010 г. отмечалось более низкое число случаев появления ОЗ разрядов за один день грозы: медиана – 45%, половина значений доли наземных разрядов принадлежала интервалу от 38 до 56%.

При этом соотношения всего количества разрядов типа «облако-земля» в год ко всему числу произошедших разрядов обоих типов 2009-2011 гг.: 65%, 41%, 48%. Значения за 2011 г. демонстрируют сильное различие в результатах усреднения. Причиной является количество межоблачных разрядов в дни максимумов активности, превышающее количество ОЗ разрядов. Данная разница не может быть полностью компенсирована в итоговой сумме разрядов за весь летний период. Сезонный ход доли ОЗ разрядов не отражает этот факт, так как соотношение числа ОЗ разрядов и общего числа разрядов в дни максимумов несильно отличается от соотношений в остальные дни. Следовательно, грозы в дни двух максимумов активности во второй-третьей декаде июня и конце июля являются фронтальными [1]. По ранним исследованиям грозовой активности в Якутии [2] в период 1968-1970 г.г. по визуальным наблюдениям с метеостанций было получено, что около 40% составляют молнии «облако-земля».

Соотношение полярностей демонстрирует устойчивое доминирование относительного числа отрицательных разрядов типа «облако-земля» в течение трех лет. Медианные значения доли отрицательных разрядов: 81% (2009), 84% (2010), 82% (2011). Годовые отношения количества отрицательных ОЗ разрядов ко всему количеству ОЗ разрядов: 92% (2009), 85% (2010), 86% (2011). В подобных исследованиях на Северном Кавказе [3] при доминировании наземных разрядов доля

положительных молний принимает значение близкое к 15%. По статистике 5-летних наблюдений грозовой активности по всей территории США (наблюдения с помощью системы NLDN) (исключая Аляску) положительные молнии в среднем составляют 4,5% от общего числа в год (минимальное значение – 2,2%, максимальное – 8,2%) [4]. Низкие значения рассматриваемого показателя дают усреднение по всем широтам континентальной части: от 25° до 49° с.ш. В десятилетних наблюдениях грозовой деятельности на территории Германии [5] доля положительных разрядов составила в среднем 17% с наибольшим среднегодовым значением более 21% в 2001 г. и 2006 г.

За одну вспышку молнии, фиксируемую невооруженным глазом, по одному плазменному каналу, сформированному ступенчатым лидером первого разряда, могут пройти несколько повторных возвратных ударов с предшествующими им стреловидными лидерами.

Проанализированы радиоимпульсы, идентифицируемые как повторные возвратные разряды в 25 молниях типа «облако-земля», наблюдаемые одновременно в трех пунктах (Якутск, Хандыга и Батагай), и в 44 молниях зарегистрированных в одном пункте. Большинство импульсов ассоциировалось с отрицательными молниевыми разрядами. Последующие повторные разряды повторяли полярность первого в серии. Было зафиксировано всего 4 случая первых в серии разрядов положительной полярности. При этом одна серия показывает интересное поведение многократной молнии – при положительном первом разряде повторные разряды имеют отрицательную полярность. Такие случаи изменения полярности иногда наблюдаются и в других регионах [6]. Максимальное количество разрядов в рассмотренных сериях составило 9 разрядов, мода – 3 разряда, медиана – 4 разряда, среднее значение – 4,4. Длительность серий достигала 600 мс, при этом наиболее короткая серия из двух разрядов длилась 17,4 мс. Медиана определяется значением 205,3 мс. 50% всех длительностей принадлежат интервалу значений от 64 до 400 мс. Наименьшая разность во времени между повторными разрядами – 10 мс, наибольшая – 314 мс (единичный случай превышения 200 мс), среднее значение – 69,5 мс, медианное значение – 61 мс, 50% значений лежало в интервале от 31,8 до 81,4 мс. Для сравнительного анализа амплитуда повторных разрядов нормировалась на первый в серии разряд и выражалась в процентных соотношениях. Таким образом, были получены следующие характеристики: среднее значение – 50,1%, со стандартным отклонением – 27,1%, медианное значение – 42,5%. 50% значений нормированных амплитуд содержалось в интервале от 29,7 до 63,2%. Также было отмечено 5 случаев превышения амплитуды первого разряда амплитудами последующих разрядов в серии. Максимальное соотношение составило 116,6%.

Работа поддержана РФФИ 12-02-00174-а, 12-05-98528-р_восток_а и 12-07-98504-р_восток_а и ФЦП «НиН-ПКИР» соглашение № 8404.

Литература

1. Козлов В.И., Муллаяров В.А. Грозовая активность в Якутии. Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН. 2004. 104 с.
2. Филиппов А.Х. Грозы Восточной Сибири. Л.: Гидрометеиздат. 1974. 75 с.
3. Ализаде А.А., Хыдыров Ф.Л., Аджиев А.Х., Богаченко Е.М. Результаты исследования радиолокационно-осциллографическим методом электромагнитных полей молниевых разрядов на Северном Кавказе // Труды 3-го Всесоюзного симпозиума. Атмосферное электричество. – Спб.: Гидрометеиздат, 1988, - с.189-192.
4. Lyons W.A., Uliasz M., Nelson T.E. Large peak current cloud-to-ground lightning flashes during the summer months in the contiguous united states // American Meteorological Society. Monthly weather review, v.126, 1998, - p.2217-2233.
5. Т. В. Ершова, В. П. Горбатенко. Параметры молниевой активности по инструментальным измерениям // Вестник ТГПУ. 2011. Выпуск 5 (107).
6. Юман М.А. Молния. М: Мир, 1972. 328 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕНОСА ПЕСЧИНОК НА ОПУСТЫНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ В НИЖНЕМ СЛОЕ САЛЬТАЦИИ

А.В. Карпов, Г.И. Горчаков, А.В. Соколов, Д.В. Бунтов, И.А. Злобин
 Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва
 karpov@ifaran.ru

Приведенные в [3] результаты измерения удельного заряда сальтирующих песчинок и вертикального профиля напряженности электрического поля в приповерхностном слое атмосферы свидетельствуют о том, что электрические силы способны существенно трансформировать траектории сальтирующих песчинок и тем самым заметно менять интенсивность сальтации.

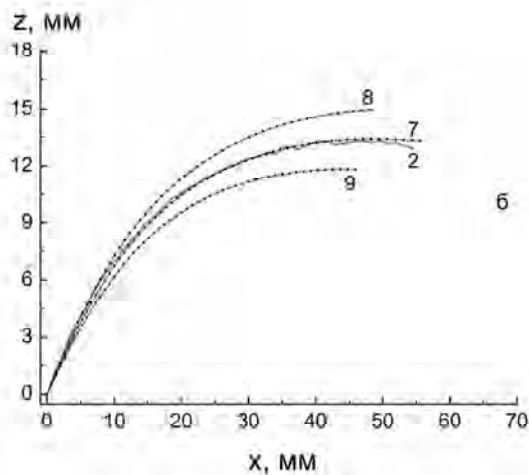
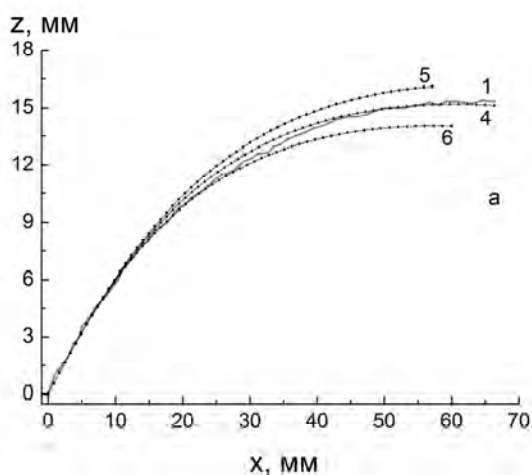
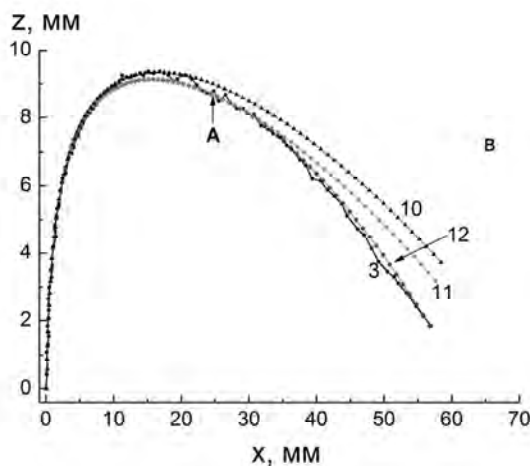


Рис. 1а, б, в. Пример восстановления одновременно зарегистрированных методом скоростной видеосъемки на песчаной территории вблизи р. Волги 19.08.2011 трех траекторий (1, 2, 3). Модельная траектория (4): диаметр песчинки 125 мкм, компоненты скорости вылета $V_{0x} = 1.0$ м/с и $V_{0z} = 0.68$ м/с, динамическая скорость $u_* = 0.38$ м/с, параметр шероховатости $z_0 = 1$ мм. Иллюстрация изменений диаметра песчинки D_p : $D_p = 140$ мкм (5) и $D_p = 110$ мкм (6). Модельная траектория (7): диаметр песчинки 115 мкм, компоненты скорости вылета: $V_{0x} = 0.81$ м/с и $V_{0z} = 0.65$ м/с, динамическая скорость $u_* = 0.38$ м/с, параметр шероховатости $z_0 = 1$ мм. Иллюстрация изменений вертикальной компоненты скорости вылета: $V_{0z} = 0.7$ м/с (8) и $V_{0z} = 0.6$ м/с (9). Модельная траектория (10): диаметр песчинки 112 мкм, компоненты скорости вылета $V_{0x} = 0.09$ м/с и $V_{0z} = 0.53$ м/с, динамическая скорость $u_* = 0.38$ м/с, параметр шероховатости $z_0 = 1$ мм. Модельная траектория (11): учтено вращение против часовой стрелки с частотой 450 Гц. Модельная траектория (12): кроме вращения песчинки учтено изменение в точке А динамической скорости ($u_* = 0.35$ м/с) и вертикальной компоненты скорости ветра ($W = -0.32$ м/с).



Для оценки влияния электрических процессов на перенос сальтирующих песчинок важно иметь информацию о реальных траекториях сальтирующих песчинок и электрических параметров ветропесчаного потока. В частности, оценить роль вариаций удельного заряда песчинок и вертикальных профилей напряженности электрического поля можно, опираясь на наши результаты экспериментальных и теоретических исследований процесса переноса отдельных песчинок на опустыненных территориях [1]. В работе [1] методом скоростной видеосъемки получены траектории отдельных сальтирующих песчинок. На рис. 1 представлены примеры (1, 2 и 3) наблюдаемых траекторий сальтирующих песчинок.

Моделирование траекторий основано на существующих представлениях о динамике сальтирующих песчинок. Как известно, на сальтирующую песчинку действует целый ряд сил [2,4,5], включая силу аэродинамического сопротивления \bar{F}_D , силу тяжести \bar{F}_g , подъемную силу \bar{F}_L , силу Магнуса \bar{F}_M , силу Сэффмана \bar{F}_S и эмпирическую силу $\bar{F}_E = q\bar{E}$, где q - электрический заряд песчинки и \bar{E} - напряженность электрического поля. Уравнение движения песчинки имеет вид

$$m_p \bar{a}_p = \bar{F}_D + \bar{F}_g + \bar{F}_L + \bar{F}_M + \bar{F}_S + \bar{F}_E,$$

где m_p и \bar{a}_p – масса и ускорение сальтирующей песчинки

В [1] рассмотрены прямая и обратная задачи динамики сальтирующей песчинки. Позже была рассмотрена методика решения обратной задачи, основанная на совместной интерпретации группы одновременно наблюдаемых траекторий. Для наблюдаемых траекторий 1, 2 и 3 (рис. 1) методом обратной задачи были построены согласующиеся с ними модельные траектории.

Вертикальный профиль скорости ветра $u(z)$ в приповерхностном слое атмосферы моделировался логарифмической функцией

$$u(z) = k^{-1} u_* \ln \left(\frac{z}{z_0} \right),$$

где u_* – масштаб скорости ("динамическая скорость"), z_0 – параметр шероховатости и $k=0.4$ – постоянная Кармана. Пульсации вертикальной компоненты скорости ветра w моделировались прямоугольными импульсами.

В представленных на рис. 1 результатах моделирования (восстановления) траекторий сальтирующих песчинок влияния электрической силы не учитывалось. Полученные решения обратной задачи было взято за основу при оценке влияния силы F_E на траекторию песчинки при различных предположениях о профиле напряженности электрического поля и о величине удельного заряда песчинок.

Работа частично поддержана РФФИ (проект № 10-05-00280).

1. Горчаков Г.И., Карпов А.В., Соколов А.В., Бунтов Д.В., Злобин И.А. Экспериментальное и теоретическое исследование траекторий сальтирующих песчинок на опустыненных территориях // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25, № 6. С. 501 – 506.
2. Бютнер Э.К. Динамика приповерхностного слоя воздуха. Л.: Гидрометеоздат, 1978. 158с.
3. Schmidt D.S., Schmidt R.A., Dent Y.D. Electrostatic force on saltating sand // J. Geophys. Res. 1998. V. 103, No D8. P. 8997 -9007.
4. Shao Y. Physics and modeling of wind erosion. N.Y.: Springer, 2000. 393p.
5. Zheng X. Mechanics of wind blown sand movements. Berlin: Springer – Verlag, 2009. 290 p.

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРИКОВ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ В АРКТИКЕ (КОЛЬСКИЙ П-ОВ)

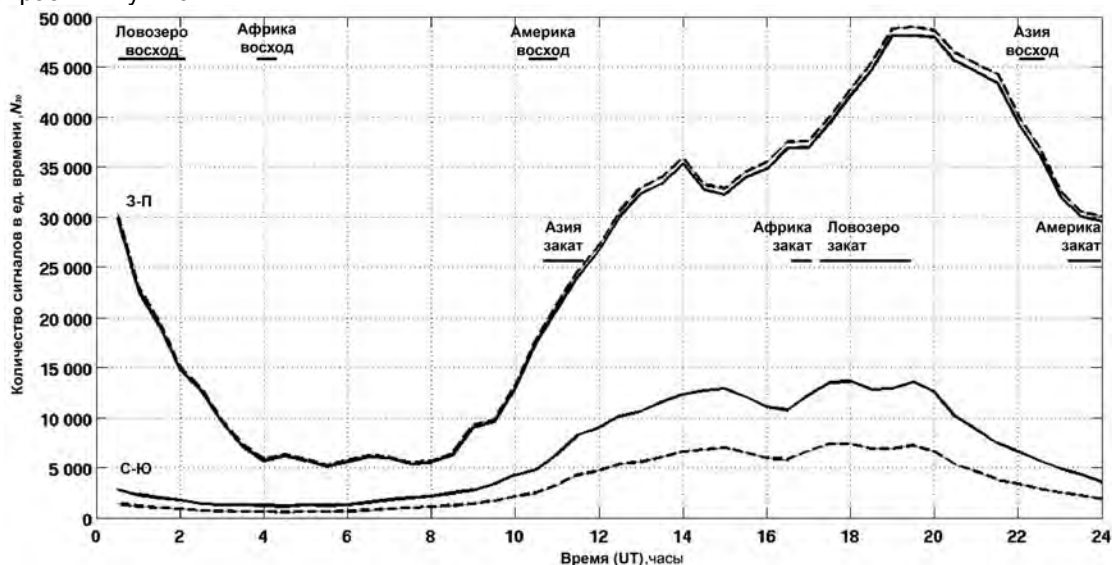
В.И. Кириллов, В.В. Пчелкин, М.И. Белоглазов, А.А. Галахов
 Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия
 kirillov_v@pgia.ru

Для изучения неоднородной структуры нижней ионосферы высоких широт представляется чрезвычайно полезным наличие сведений о поведении атмосфериков в диапазоне ОНЧ и на меньших частотах в зависимости от солнечной активности, геомагнитной возмущенности, сезона, времени суток и пр. К сожалению, в настоящее время информация подобного рода практически полностью отсутствует, если не считать работы [1]. С целью некоторого восполнения указанного пробела, в

ПГИ было разработано и изготовлено устройство для измерения амплитуд, моментов прихода и количества атмосфериков в диапазонах СНЧ и КНЧ [2]. Ниже обсуждаются результаты экспериментальных измерений атмосфериков, выполняющихся в регулярном режиме обсл. "Ловозеро" (центральная часть Кольского п-ва) с помощью разработанной аппаратуры на двух частотах - 600 Гц и 6 кГц. В качестве антенны применены 2 ортогональные рамки эффективной площадью около 100 кв.м, ориентированные вдоль и поперек магнитного меридиана.

Для анализа использованы данные за период январь-апрель 2012г. Этот период характеризуется весьма разнообразной космо-геофизической обстановкой: от спокойных условий до чрезвычайно возмущенных. Сортировка дней осуществлялась с помощью совместного анализа магнитограмм, динамических спектров КНЧ-диапазона, коэффициентов геомагнитной активности и по данным нейтронного монитора. Также исключались дни с техногенными помехами.

Рассмотрение суточных ходов атмосфериков показало, что на вариации поля в спокойных геофизических условиях оказывают существенное влияние как параметры волновода "земля-ионосфера", так и активность мировых грозных центров - Азиатского (АзГЦ), Африканского (АфГЦ) и Американского (АмГЦ). В качестве примера, на рисунке представлены суточные хода количества сигналов за 30 мин. (N_{30}) на обеих частотах за апрель 2012 года (600 Гц - сплошная линия, 6 кГц - пунктир). Здесь горизонтальными отрезками обозначены восходно-заходные периоды на высотах 0-90км в разных пунктах.



Суточные хода количества сигналов за 30 мин.

Видно, что по обеим компонентам суточные изменения N_{30} на обеих частотах подобны друг другу. При этом наблюдается дневной провал уровня N_{30} , обусловленный солнечной освещенностью большей части трасс распространения "Мировой грозовой центр - Ловозеро". В этих условиях практически не проявляется действие АзГЦ, максимум которого приходится примерно на 08UT, что соответствует местному полудню в Ловозере, за счет чего активизация АзГЦ нивелируется увеличением дневного затухания в волноводе "Земля-ионосфера". Наличие АзГЦ сказывается лишь на сдвиге максимума атмосфериков, обусловленных действием АфГЦ, с 15UT на 14UT в компоненте «3-В». Максимум интенсивности АфГЦ в компоненте «С-Ю» приходится на 15UT и выражен достаточно ясно. Увеличение N_{30} в 17-18UT в компоненте «С-Ю» вызвано началом действия АмГЦ и переходом к ночному периоду трассы на приемном конце в Ловозере. Максимум N_{30} , обусловленный действием АмГЦ в 19-20UT, выражен в компоненте «3-В» наиболее ярко за счет того, что приходится на ночные условия распространения атмосфериков на высокоширотном участке трассы.

Далее, в результате проведенного анализа было обнаружено влияние геомагнитных возмущений на условия распространения атмосфериков. В частности, коэффициент корреляции между геомагнитным индексом Ap и вариациями среднесуточного количества атмосфериков оказался отрицательным и равным: -0.51 (600 Гц) и -0.52 (6кГц). Для среднесуточных значений амплитуд и индекса Ap коэффициент корреляции составил -0.48 (6кГц). На частоте 600 Гц корреляция значительно хуже и величина -0.48 достигается только для сильных сигналов выше порога 400 усл.ед. Таким образом, можно констатировать, что повышение геомагнитной активности приводит к значительному затуханию сигналов в волноводе за счет возникновения аномальной ионизации нижней ионосферы в высокоширотной области и, как следствие, к уменьшению амплитуд и количества атмосфериков, регистрируемых на Кольском п-ве.

Следует сказать, что в период с января по март 2012 года на Солнце произошло несколько сильных вспышек, сопровождавшихся Форбуш-понижениями галактических космических лучей (ГКЛ).

Напомним, что Форбуш-эффекты - это результат рассеяния ГКЛ «облаками» низкоэнергичной плазмы с «вмороженными» магнитными полями. Сопоставление результатов наблюдений атмосфериков в Ловозере с данными нейтронного супермонитора в Апатитах показало, что хотя Форбуш-понижения ГКЛ происходят на фоне уменьшений количества и амплитуды атмосфериков, тем не менее методом наложения эпох нескольких событий не обнаружено достаточно уверенной связи между обоими параметрами.

Анализ сигналов в спокойных условиях показал, что экспериментальное распределение амплитуд атмосфериков удовлетворительно аппроксимируется с помощью выражения, полученного в работах [3,4]. Суточный ход показателя степени из этого выражения меняется от 2.2 до 3.2 для 600 Гц и от 1.5 до 2 для 6 кГц.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программой Отделения физических наук РАН №11 "Физика атмосферы: электрические процессы, радиофизические методы исследований".

Литература

1. Осинин В.Ф. Радишумы естественных источников на востоке СССР. М.: Наука. 1982. 161с.
2. Галахов А.А., Ахметов О.И. Комплекс аппаратуры для регистрации импульсной компоненты электромагнитного поля диапазона очень низкой частоты // Приборы и техника эксперимента, 2011, №3, С.136-142.
3. Лихтер Я.И. Об аппроксимационной формуле закона распределения амплитуды огибающей атмосферных радиопомех // Геомагнетизм и аэрномия. Т.1. 1961. №2. С. 281.
4. Махоткин Л. Г. Статистика атмосферных радиопомех // Геомагнетизм и аэрномия. Т.3. 1963. №2. С.284-292.

СТОХАСТИЧЕСКИЙ РАЗОГРЕВ ЭЛЕКТРОНОВ В ПОЛЕ ГРОЗОВОГО ОБЛАКА

В.Ю. Климашев¹, А.А. Емельянов¹, Д.И. Иудин²

1 - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

2 - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки ; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки ; Российский новый университет, Москва, Россия

iudin_di@nirfi.sci-nnov.ru

Введение.

Проблема инициации молниевых разрядов остается одной из самых интригующих загадок атмосферного электричества. И это несмотря на значительные теоретические и экспериментальные усилия последних десятилетий. Исследования направлены на поиск возможных механизмов генерации электронных лавин в грозовом облаке и группируются вокруг инициации положительного стримера на гидрометеорах, индуцированного космическими лучами пробоя на убегающих электронах или их комбинации [1-3]. В представленном на конференции докладе «Электрическая прочность заряженного аэрозоля» [5], показано, что квазистатическое поле, создаваемое заряженными внутриоблачными частицами, характеризуется значительными пространственными флуктуациями и обладает свойством масштабной инвариантности. Соответствующие среднеквадратичные флуктуации разности потенциалов между пространственно разнесенными областями системы пропорциональны корню квадратному из ее линейных размеров и могут достигать значительных величин даже в отсутствие регулярного поля. При этом интенсивность флуктуаций пропорциональна концентрации частиц и квадрату характерной абсолютной величины их заряда. Такой сложный «броуновский» потенциальный рельеф может оказаться серьезным фактором, ускоряющим тепловые электроны до энергий сопоставимых с потенциалом ионизации. Однако в среднем а priori не известно, будет ли электрон увеличивать скорость или терять её.

Механизм стохастического ускорения частиц.

Впервые механизм ускорения частиц в результате столкновения с массивными движущимися рассеивателями был предложен Э.Ферми [4] для объяснения происхождения космических лучей высоких энергий. Его идея состояла в том, что заряженные частицы, сталкиваясь с движущимися заряженными облаками в межзвездном пространстве, должны в среднем ускоряться. В самом деле, если рассматривать облако как массивный рассеиватель, то нетрудно понять причину такого ускорения. При случайном распределении скоростей движения число облаков, которые движутся в одном направлении, будет равно числу облаков, движущихся в противоположном направлении. Поэтому частицы преимущественно будет сталкиваться с облаками, движущимися им навстречу, т.е. в среднем они должны приобретать энергию. Так возникает ускорение, называемое ускорением Ферми. Для объяснения ускорения Ферми в своё время было предложено большое количество различных моделей. Эти модели в той или иной степени прояснили причину ускорения. Так, для одномерной конфигурации (модель Ферми-Улама), когда частица осциллирует между двумя массивными стенками, одна из которых фиксирована, а другая движется, было показано, что если

фаза колебаний частицы в момент столкновения является случайной величиной, частица будет ускоряться. Однако в случае гладкой зависимости от времени движения стенки рост скорости частицы будет ограничен. В случае взаимодействия электрона с «броуновским» потенциальным рельефом мы фактически имеем пространственный аналог упомянутой ситуации. При гладком поведении пространственных изменений потенциала рост скорости электрона будет ограничен (в силу теоремы Ирншоу, электрон не может остановиться ни в какой точке потенциального рельефа за исключением случаев «прилипания»). Однако в стохастическом потенциале ансамбль электронов должен приобретать дополнительную кинетическую энергию, забирая ее у резервуара флуктуаций. Мы решили проверить эту гипотезу в численном эксперименте.

Модель.

Трехмерный броуновский потенциальный рельеф создавался двумя способами. В первом случае рассматривалось поле десяти тысяч зарядов с нулевым средним зарядом. Во втором случае для формирования броуновского распределения потенциала на простой кубической решетке, мы использовали трехмерный аналог алгоритма Фосса [6].

Далее, в модельный объем, заполненный стохастическим потенциалом «запускается» электрон. Мы рассматривали случай, когда электрон «влетает» в рассматриваемую область перпендикулярно одной из граней (в эксперименте рассматривалась грань xOz). Начальная скорость электрона бралась на уровне тепловой (10^7 см/с), что соответствует энергии электрона, равной примерно 30 мэВ. Характерный масштаб пространственного бокса составляет порядка 10 см, а характерное время пролета электрона через модельный объем не превышало десятых долей микросекунды. Последнее обстоятельство позволило нам пренебречь эффектам прилипания. Далее, на каждом шаге модельного времени рассчитывались силы, действующие на электрон со стороны зарядов, находящихся в модельном объеме. На каждом шаге рассматривается движение электрона внутри элементарного объема (пространственное разрешение). Количество элементарных расчетных шагов заранее неизвестно: эксперимент заканчивался, как только электрон вылетает за одну из граней рассматриваемого модельного объема. После выхода электрона за границы модельного объема высчитывалось отношение его выходной скорости к начальной. Эксперимент с каждой начальной скоростью проводится N -раз, после чего начальная скорость электрона увеличивается на величину ΔV и эксперимент повторяется. По результатам серии экспериментов строятся графики, отражающие величину отношения скоростей в зависимости от начальной тепловой скорости электрона. Моделирование ограничивалось нерелятивистскими скоростями электронов.

Результаты моделирования.

Положительный эффект – наличие стохастического ускорения электронов - наблюдался для обоих типов формирования случайного рельефа. Дополнительно было исследовано введение в рассматриваемую область постоянного электрического поля, введение эффекта «вязкости» среды, эффектов упругого/неупругого столкновения электрона со свободными зарядами, а также рассмотрение не единичного электрона, а ансамбля электронов, влетающих в рассматриваемую область. Соответствующая структура траекторий представлена на рисунке 1.

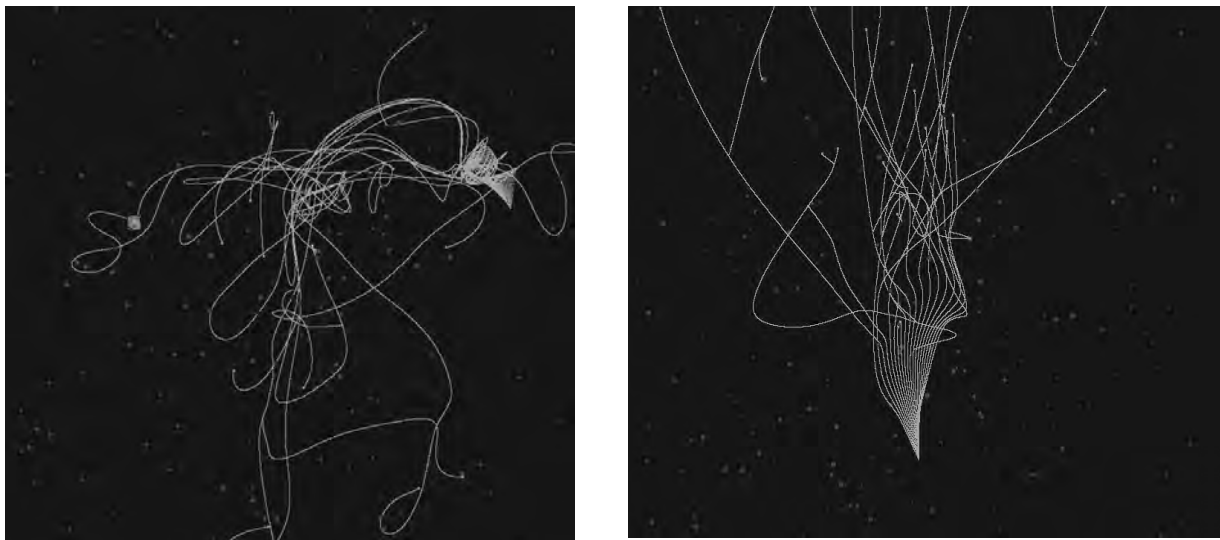


Рисунок 1. Пространственное распределение траекторий электронов.

В правом окне рисунка представлен результат моделирования пучка тепловых электронов с учетом ионизационных эффектов, которые приводят к разветвлению траекторий отдельных электронов.

Настоящая работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 11-01-97028; при поддержке Министерства образования и науки РФ (ГК № 16.740.11.0488, ГК № 11.519.11.5017 и ГК № 16.518.11.7006).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Iudin D.I. Fractal dynamics of electric discharges in a thundercloud / D. I. Iudin, V. Yu. Trakhtengerts, and M. Hayakawa // 2003, Phys. Rev. E 68, 016601.
- [2] Мареев Е. А. Современные проблемы исследования грозового электричества. / Е. А. Мареев, Иудин Д.И., Трахтенгерц В.Ю., Сорокин А.Е., Шаталина М.С. // Проектирование и технология электронных средств, с.7 - 16, 2004.
- [3] Petersen D. A brief review of the problem of lightning initiation and a hypothesis of initial lightning leader formation / Petersen D., Bailey M., Beasley W. H., and Hallett J. // JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 113, D17205, doi:10.1029/2007JD009036, 2008.
- [4] E.Fermi. Phys. Rev. 75:1169, (1949). Дополнительно см. А.Ю. Лоскутов. Успехи физ. наук 177, 989 (2007).
- [5] Бударрагин, Д.И. Электрическая прочность заряженного аэрозоля / Д.И. Бударрагин, В.Ю. Климашев, А.А. Емельянов, Д.И. Иудин // Труды VII ВКАЭ, Санкт-Петербург, 2012
- [6] Voss R.F., Random fractals: Characterization and measurement. -- In: Scaling Phenomena in Disordered Systems (eds. R. Pynn & A. Skjeltorp), Plenum Press, New York, pp. 1 -- 11, 1985.

ЭСТАФЕТНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ АЭРОЗОЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ ГРОЗОВОГО ОБЛАКА

В.Ю. Климашев¹, А.А. Емельянов¹, Ф.Д. Иудин¹, С.С. Давыденко², Д.И. Иудин³

1 - Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород

2 - Институт прикладной физики Российской академии наук, Нижний Новгород

3 - Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород; Институт прикладной физики Российской академии наук, Нижний Новгород; Российский новый университет, Москва, Россия

iudin_di@nirfi.sci-nnov.ru

Анализ возможных механизмов быстрого роста электрической проводимости внутриоблачной среды играет важную роль при построении моделей электродинамики грозового электрического генератора. Одним из таких механизмов может служить эстафетная передача электрического заряда в среде, содержащей аэрозольные частицы. При этом сами аэрозольные частицы сохраняют относительную неподвижность, однако между соседними частицами с некоторой вероятностью возникают электрические связи, что приводит к перераспределению электрического заряда и в конечном итоге к возникновению его направленного движения. Принцип работы данного механизма проводимости может быть проиллюстрирован в рамках следующей эмпирической модели [1]. Рассмотрим одномерную цепочку из p клеточных автоматов (ячеек, представляющих собой аэрозольную частицу и промежуток среды до соседней частицы), каждый из которых может быть либо проводником, либо изолятором. Изображенная на рис.1 цепочка автоматов из $L=12$ ячеек присоединена клеммами А и В к генератору тока. Черный цвет соответствует непроводящим ячейкам, серый - проводящим, белый - проводящим ячейкам, содержащим заряд. Пусть в каждый момент дискретного времени источник через клемму А подает на вход системы единичный заряд. Этот заряд может беспрепятственно перемещаться вправо только до ближайшей блокирующей ячейки - изолятора. Очевидно, что такая статическая цепь способна передавать ток только при значении $p=1$.



Рис. 1. Одномерная цепочка клеточных автоматов. Черный цвет соответствует блокирующим ячейкам - изоляторам, серый – проводящим ячейкам, белый - проводящим ячейкам, содержащим единицу заряда

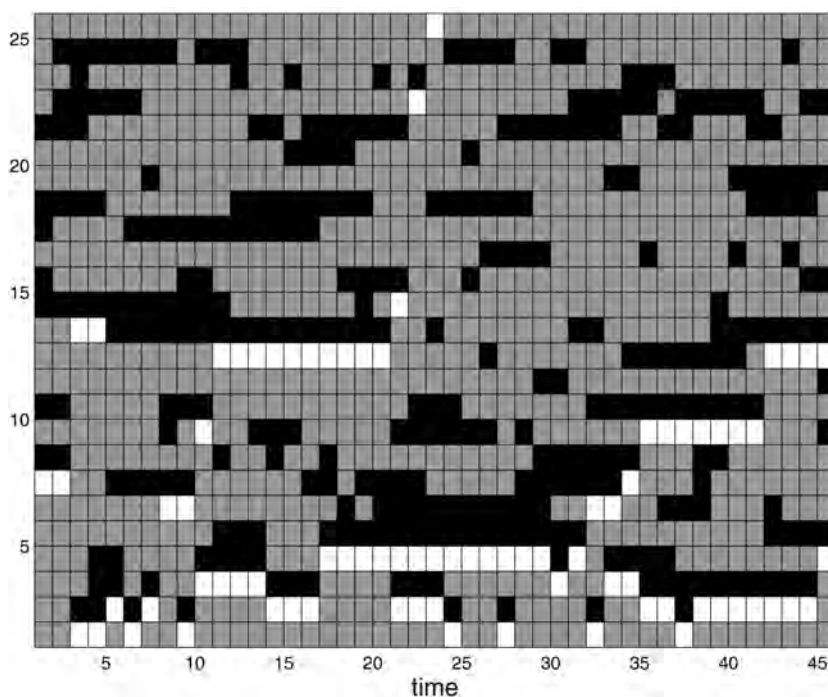


Рис. 2. Заряды передаются снизу вверх, время увеличивается слева направо

Предположим теперь, что элементы сети могут с течением времени изменять свое состояние так, что за один шаг дискретного времени некоторое число s проводящих элементов становятся изоляторами, и, наоборот, s элементов изоляторов становятся проводящими (s - параметр обновления сети). При этом уровень прозрачности p остается постоянным, а доля обновляемых за один шаг автоматов составляет величину $q=2s/L$ - удельный параметр обновления. Исследуем возможность передачи заряда по такой флуктуирующей цепи при условии, что заряд способен сохраняться на проводящих ячейках и пропадает только при изменении статуса ячейки. Предполагается, что заряд передается через проводящие ячейки за время, малое по сравнению с длиной шага модельного времени, так что порция заряда всегда занимает крайнее правое из доступных ему положений. На каждом шаге модельного времени у единичного заряда, сохранившегося в проводящей ячейке перед блокирующей ячейкой, существует три возможности: 1) он может продвинуться вправо с вероятностью $q(1-q)$, равной произведению вероятностей двух независимых событий: изменения статуса соседней ячейки справа с непроводящего на проводящий (вероятность q) и сохранения проводимости самой ячейки, содержащей рассматриваемый заряд (вероятность $1-q$); 2) может остаться на месте с вероятностью $(1-q)^2$ и, наконец, 3) может диссипировать с вероятностью q . Очевидно, что при низком удельном уровне проводящих элементов ($p \ll 1$) вероятность одновременного выполнения условий 1) чрезвычайно мала и заряд не проходит через канал. Напротив, при удельном уровне проводящих элементов, близком к единице, заряд передается через канал со скоростью, близкой к максимально возможной. Существует некоторое критическое значение удельного уровня проводящих элементов $p=p_c$, при котором появляется отличная от нуля вероятность прохождения зарядов через систему. При этом проводимость канала вблизи порога стремится к нулю.

Рисунок 2 демонстрирует эволюцию во времени цепочки автоматов с длиной $L=25$ при $q=0,16$ для уровня прозрачности $p_c=0,72$. Зависимость проводимости канала как функции доли проводящих элементов флуктуирующего канала при трех различных значениях параметра q представлена на рис.3 в обычном, а на рис. 4 – в билогарифмическом масштабе.

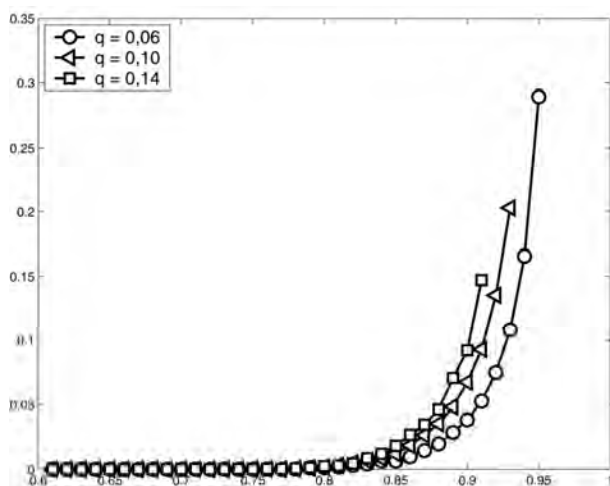


Рис. 3. Зависимость проводимости канала от доли проводящих элементов p

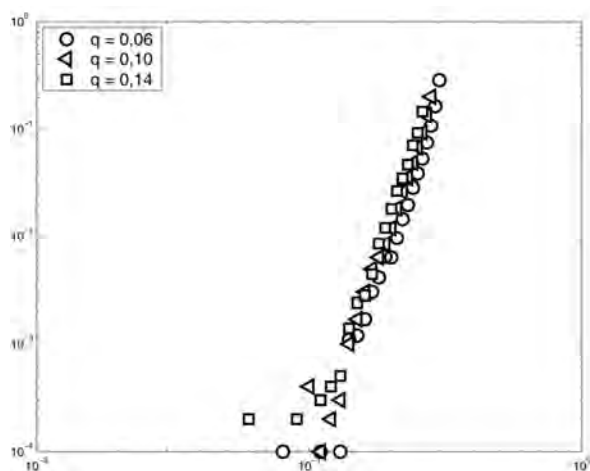


Рис. 4. То же, что на рис. 3 в билигарифмическом масштабе при различной доле обновляемых на одном шаге автоматов

В двумерном случае порог эстафетной передачи заряда опускается до значения 0,3.

Таким образом, в рамках представленной эмпирической модели показана возможность резкого увеличения проводимости облачной среды с аэрозольными включениями при наличии стохастических электрических связей между аэрозолями. Физический механизм возникновения такого рода связей и более детальные модели переноса заряда будут являться предметом дальнейших исследований.

Настоящая работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 11-01-97028) и Министерства образования и науки РФ (ГК № 16.740.11.0488, ГК № 11.519.11.5017 и ГК № 16.518.11.7006).

Литература

[1] Иудин, Д. И. Фрактальные лабиринты: структурная динамика / Д.И.Иудин, В.Ю.Трахтенгерц // Нелинейные волны 2006; Отв.ред. А.В.Гапонов-Грехов, В.И.Некоркин. Н.Новгород: ИПФ РАН, 2007. - С. 360-377.

НЕТЕПЛОЙ ДЕЦИМЕТРОВЫЙ РАДИОШУМ ИЗ ОБЛАСТИ АТМОСФЕРНОГО ФРОНТА

В.В. Клименко

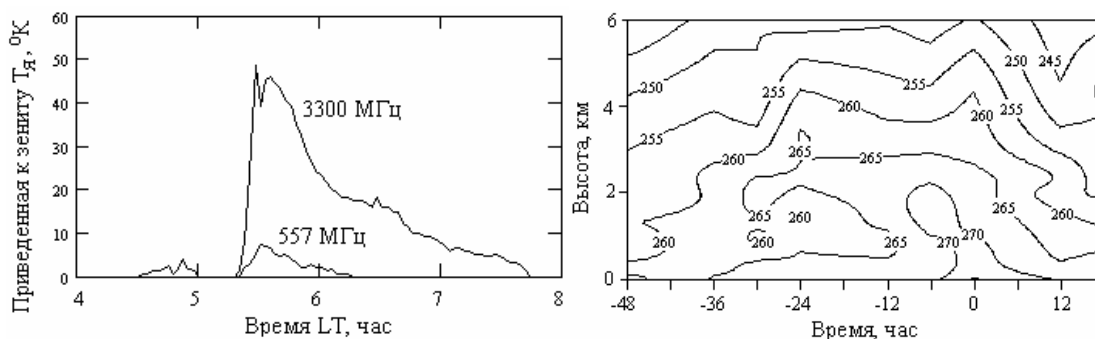
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

klimenko@appl.sci-nnov.ru

В данной работе представлен и проанализирован один нетривиальный наблюдательный факт – достаточно интенсивный широкополосный СВЧ шум, зарегистрированный 6 октября 1981г. в момент прохождения атмосферного фронта через пункт наблюдения (Комплексная магнитно-ионосферная станция ИСЗФ СО РАН, г. Норильск, географические координаты $\varphi=69.4N$, $\lambda=88.1E$). Рассмотрены локальные атмосферные характеристики и возможные причины возникновения такого радиошума, из которых наиболее вероятной предполагается электрическая активность во фронтальной облачности.

1. Аппаратура. Радиошум был зарегистрирован двумя приемниками, которые представляли собой серийные модуляционные СВЧ радиометры для измерения слабых шумовых сигналов П5-9 и П5-16 с рабочими частотами $f=557$ МГц ($\lambda=54$ см) и $f=3300$ МГц ($\lambda=9.1$ см), соответственно. Антенны располагались на помосте примерно в 2-х метрах от поверхности земли и были направлены в зенит. Флуктуационный порог чувствительности равнялся $\Delta T_{\min}=4^{\circ}K$ и $\Delta T_{\min}=3^{\circ}K$. Для анализа геофизической и метеорологической обстановки использованы данные аппаратного комплекса КМИС и данные Норильской гидрометеорологической обсерватории (ГМО), расположенной примерно в 5 км к западу от КМИС.

2. Экспериментальные данные. На рисунке показаны вариации яркостной температуры радиошума на обеих частотах. Время LT - это локальное время меридиана $90^{\circ}E$: $LT(90^{\circ}E)=DT(\text{мск})+3^h = UT+6^h$. Максимальные интенсивности радиошума характеризуются значениями $\Delta T(\lambda=9.1 \text{ см})=48^{\circ}K$ и $\Delta T(\lambda=54 \text{ см})=12^{\circ}K$.



Особенностью данного излучения является его большая интенсивность, при том, что в поле зрения антенн какие либо мощные источники радиоизлучения отсутствовали. Из данных Норильской ГМО, включая данные аэрологического зондирования, следует, что радиошум наблюдался в момент прохождения над пунктом наблюдения атмосферного фронта, имеющего все признаки фронта окклюзии, когда теплая воздушная масса зажата с двух сторон холодными массами и вытесняется ими вверх. На рисунке (справа) показана динамика вертикального профиля температуры воздуха за период с 6LT 4 октября по 00LT 7 октября. За начало отсчета временной шкалы на этом рисунке (0 час.) принят момент 6:00LT 6 октября, в ближайшей окрестности которого и регистрировался радиошум.

3. Анализ возможных источников интенсивного дециметрового радиошума.

1) Излучение из верхней атмосферы, связанное с ионосферно-магнитосферными возмущениями и поступлением энергии из солнечного ветра и магнитосферы можно исключить, т.к. по данным геофизического комплекса Норильской КМИС в этот период времени никаких возмущений в магнитном поле не зарегистрировано.

2) Попадание на антенны приемников излучения Солнца. На момент максимума шума зенитный угол Солнца равнялся $96^{\circ}56'50''$ ($\sim 7^{\circ}$ ниже горизонта) и граница земной тени находилась на высоте ~ 50 км, поэтому прямого воздействия солнечного радиоизлучения не было. Отсутствовали также вспышечные явления на Солнце и большие градиенты показателя преломления в атмосфере, необходимые для сверхрефракции.

3) Тепловое радиоизлучение облаков, обусловленное, главным образом, поглощением радиоволн каплями облаков [1], пропорционально интегральной массе капель вдоль луча зрения

$$T_{я}^{тепл} \approx T_{ср} \cdot (1 - e^{-\tau}), \text{ где } \tau = V(t) \cdot \frac{0.1118}{\lambda^2} \cdot Q_w,$$

Q_w – водозапас (масса конденсированной влаги) в вертикальном столбе в $кг/м^2$, $T_{ср} \approx 263^{\circ}K$ – средняя по высоте температура в облаке, $V(t) \approx 2.5$ при $t = -10^{\circ}C$. С учетом усреднения по диаграммам направленности антенн должно быть для $\lambda=9.1см$ $T_{я}(^{\circ}K) \approx 1.1 \cdot Q_w(кг/м^2)$ и для $\lambda=54см$ $T_{я}(^{\circ}K) \approx 0.05 \cdot Q_w(кг/м^2)$. Это означает, что для теплового излучения облаков с $\Delta T_{я}(9.1см) \sim 50^{\circ}K$ и $\Delta T_{я}(54см) \sim 10^{\circ}K$, что соответствует максимальной интенсивности радиошума в 5:30 LT, их водозапас в вертикальном столбе должен был бы быть более $50 кг/м^2$! Тогда как вычисленные по данным аэрологии и оценки по известным методам [2] значения водозапаса во время регистрации радиошума не превышали $\sim 16 кг/м^2$. Это означает, что была зарегистрирована некоторая дополнительная компонента шума, не связанная с тепловым излучением облака.

4) Нетепловое радиоизлучение конвективных облаков. Электромагнитное излучение, обусловленное сталкивающимися заряженными каплями. Имеется ряд публикаций, в которых сообщалось о регистрации радиоизлучений шумового характера от конвективных облаков в метровом и дециметровом диапазонах, не связанных с молниевыми разрядами [3-4]. Одним из механизмов генерации нетеплового шума предполагалось излучение сталкивающихся заряженных капель [5]. Исследования характеристик излучения сталкивающихся противоположно заряженных капель были выполнены в лабораторных условиях [6-8]. Учитывая конвективный характер облачности и его капельно-кристаллическую структуру, можно предположить, что в нашем случае этот источник э.м. шума также может иметь место. Предложена количественная модель для оценки интенсивности шума. Вычисления с помощью данной модели при довольно обычных значениях параметров распределения капель по размерам, а также при $Q_w=15 кг/м^2$ и эффективной мощности облака ~ 3000 м, дают яркостную температуру в зените $T_{я}^{h.t.} \sim 6^{\circ}K$, т.е. значение, по порядку величины соизмеримое с интенсивностью зарегистрированного шума.

4. Обсуждение. Основной вклад в $T_{я}^{h.t.}$ обеспечивают столкновения крупных капель хвоста распределения с основной популяцией более мелких капель. Несколько изменяя в разумных пределах параметры распределений капель по размерам можно получить и на порядок более высокие значения $T_{я}$. Однако, главное ограничение здесь состоит в том, что скорость нейтрализации суммарного электрического заряда облака оказывается достаточно велика. В частности, при $T_E=6^{\circ}K$ заряд исчезает со скоростью $\sim 1 Кл/км^3с$. Чтобы поддерживать сколько-нибудь продолжительное

время уровень излучения, необходима генерация зарядов с такой же или большей скоростью, которая является практически предельной для мощных грозовых облаков.

Основные выводы.

1. Анализ обстоятельств регистрации СВЧ шума из области атмосферного фронта приводит к выводу, что на фоне обычного теплового излучения плотной облачности был зарегистрирован также нетепловой радиошум, обусловленный электрической активностью в конвективном облаке. Наиболее вероятным механизмом генерации шума представляется электромагнитное излучение при перезарядке сталкивающихся противоположно заряженных капель.

2. Радиотеплокационные исследования облаков и определение их водозапаса и водностей ведутся обычно в диапазоне длин волн $\lambda \leq 3$ см, где в некоторых случаях мощных грозовых облаков также нельзя исключать присутствия нетепловой компоненты. Индикатором ее присутствия может быть одновременный мониторинг облаков на более длинных волнах $\lambda \sim 10$ см.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации (договор № 11.G34.31.0048) и гранта РФФИ № 10-05-01045-«Особенности электрической структуры и динамики грозовых облаков».

Литература

1. Степаненко В. Д., Щукин Г. Г., Бобылев Л. П., Матросов С. Ю. Радиотеплокация в метеорологии. Л.: Гидрометеиздат. 1987. 284 с.
2. Облака и облачная атмосфера. Справочник. Под. ред. И. П. Мазина и А. Х. Хргиана. Л.: Гидрометеиздат. 1989. 648 с.
3. Sartor J.D. Radio observation of the electromagnetic emission from warm clouds.//Science. 1964. V.143. No.3609. P.948-950.
4. Harvey R.B., Lewis E.A. Radio mapping of 250- and 925-Megahertz noise sources in clouds.//J. Geophys. Res. 1973. V.78. No.12. P.1944-1947.
5. Atkinson W.R., Paluch I. Electromagnetic emission from pairs of water drops exchanging charge.//J. Geophys. Res. 1966. V.71. No.16. P.3811-3816.
6. Miller A.H., Sheldon C.E., Atkinson W.R. Spectral study of the luminosity produced during coalescence of oppositely charged falling water drops.//Phys. of Fluids. 1965. V.8. No.11. P.1921-1928.
7. Sartor J.D., Atkinson W.R. Charge transfer between raindrops.//Science. 1967. V.157. No.3794. P.1267-1269.
8. Keeney J. Observations on the microwave emission from colliding charged water drops.//J. Geophys. Res. 1970. V.75. No.6. P.1123-1126.

О СТАТИСТИКЕ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ МЕЖДУ РАЗРЯДАМИ В ГРОЗОВОМ ОБЛАКЕ И ВЕРОЯТНОСТИ ФЛУКТУАЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ, ПРЕВЫШАЮЩИХ НЕКОТОРЫЙ ПОРОГ

В.В. Клименко

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород
klimenko@appl.sci-nnov.ru*

Статистические характеристики шумовых выбросов представляют интерес в связи с разнообразными приложениями, в частности, в радиотехнике и в работе различных пороговых детекторов, а также при анализе различных физических систем. Предпосылкой для данной работы послужили некоторые результаты анализа статистических характеристик молниевых разрядов в грозовых облаках. Нет общепринятой точки зрения на механизм инициирования молниевых разрядов, т.к. из измерений электрических полей внутри грозового облака с помощью зондов известно, что поля существенно ниже, чем требуется для электрического пробоя в воздухе. В связи с этим существует ряд гипотез об инициации молний, одна из которых предполагает наличие кратковременных флуктуаций, в которых поля превышают пробойные значения. Анализ статистических закономерностей интервалов между молниевыми разрядами выявил большое сходство с общими представлениями о статистике шумовых выбросов, превышающих заданный порог. А именно, когда плотность разрядов в единицу времени мала, интервалы между разрядами распределены экспоненциально, что указывает на независимость момента появления каждого следующего разряда от предыдущего (пуассоновский процесс). По мере увеличения числа разрядов в единицу времени происходит отклонение от экспоненциального закона, т.е. появление некоторой корреляции между разрядами.

Одним из свойств экспоненциального распределения является равенство среднего и среднего квадратичного отклонения. На Рис.1 показано соотношение между средней длиной интервалов и средним квадратичным отклонением для 6 гроз. Если бы разряды возникали совершенно случайно, то точки на графике легли бы на биссектрису, тогда как они приближаются к ней лишь асимптотически при увеличении средней длительности интервалов между разрядами.

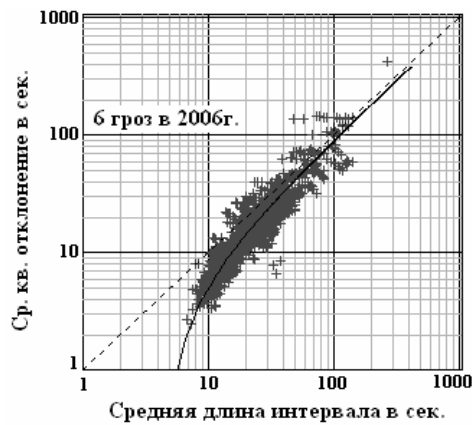


Рис.1

В работе [1] было показано, что аналогичная картина наблюдается с шумовыми выбросами, превышающими некоторый порог x_0 , где последовательность выбросов асимптотически приближается к пуассоновской (к экспоненциальному распределению) лишь при неограниченном повышении порога относительно среднеквадратичного уровня шума, т.е. при $x_0/\sigma \gg 1$.

В данной работе, в отличие от [1], в явном виде вычислено распределение вероятности для интервалов между выбросами шума, которое затем сопоставляется с экспериментальными распределениями для интервалов между молниями. Рассмотрен гауссовский стационарный случайный процесс, поступающий на вход порогового устройства, ограничивающего этот процесс снизу до уровня x_0 . На выходе устройства формируется последовательность случайных импульсов. Получено аналитическое выражение вероятности для длины временного интервала между этими импульсами, т.е. между выбросами гауссовского шума, превысившими заданный порог. Вычислены плотности вероятностей для временных интервалов между последовательными превышениями порога. Параметрами распределения являются отношение порога x_0 к среднему квадратичному значению шума σ и полоса частот шума (вторая производная автокорреляционной функции в нуле).

Плотность вероятности имеет глубокий минимум в области $\tau < \tau_{\text{корр}}$, максимум при $\tau \approx 2\tau_{\text{корр}}$ и экспоненциально падает при $\tau > 2.5\tau_{\text{корр}}$, где $\tau_{\text{корр}}$ - время корреляции шумовых флуктуаций. При одновременном действии 2-х, 3-х и более независимых источников шума минимум в области $\tau < 2\tau_{\text{корр}}$ замывается (см. Рис.2). Область с экспоненциальным падением соответствует временным интервалам, на которых корреляция между смежными импульсами отсутствует. В эмпирических распределениях при достаточно высокой частоте разрядов также обнаруживается уменьшение вероятности для интервалов $\tau < 5 \div 10\text{с}$ (см. Рис.2).

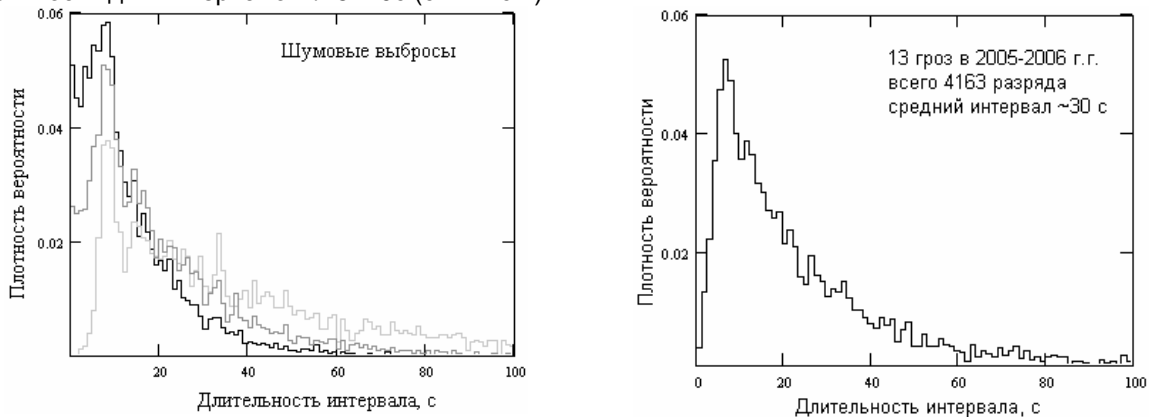


Рис.2

С повышением порога относительно среднего квадрата флуктуаций (или, что то же самое, уменьшения среднего квадрата флуктуаций относительно порога) увеличивается средний интервал между импульсами (падает частота появления импульсов) и растет относительное число импульсов, попадающих в область экспоненциального распределения вероятности. Т.е. увеличивается доля некоррелированных импульсов, что и является причиной асимптотического приближения потока импульсов к пуассоновскому, как это было в общем виде сформулировано в работе [1] для шумовых флуктуаций и как это следует из Рис.1 для электрических разрядов в грозовых облаках.

Таким образом, показано, что существует качественное сходство в поведении полученной экспериментально плотности вероятности для интервалов между электрическими разрядами в грозовых облаках и плотности вероятности для интервалов между шумовыми выбросами. Это является предпосылкой для экспериментальной проверки гипотезы о том, что электрический разряд в облаке происходит при возрастании электрического поля выше пробойного в результате флуктуаций

на фоне средних полей, которые обычно существенно ниже критических значений, необходимых для пробоя. Результаты данной работы дают количественную основу для такой проверки.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации (договор № 11.G34.31.0048) и грантов РФФИ № 10-05-01045 и № 11-05-97051-р_поволжье_а.

Литература

1. Яковлев В.П. Некоторые асимптотические свойства гауссовского случайного процесса. Радиотехника и электроника. 1960. Т.5. Вып.10. С.1728-1730.

О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОЙ РАДИОФИЗИКИ К АНАЛИЗУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ГРОЗОВОГО ОБЛАКА

В.В. Клименко, В.П. Денисов, Е.А. Широков

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной физики

Российской академии наук, Нижний Новгород

klimenko@appl.sci-nnov.ru

Вместе с очевидным прикладным интересом к исследованию гроз, имеется ряд важных фундаментальных вопросов о механизмах и режимах функционирования грозового электрического генератора, требующих специальных исследований. Электрические характеристики облака определяются пространственно-временной динамикой зарядов и токов, которая однозначно связана с электрическим полем вне облака. Однако, получить однозначное решение обратной задачи практически невозможно.

Вне облака наблюдаемыми проявлениями его электрической активности являются электрические разряды, формирующие импульсную компоненту возмущений, и относительно регулярные вариации электрического поля, обусловленные распределением и динамикой электрического заряда в облаке. Так как возмущения имеют случайный характер (поток случайных импульсов и случайные флуктуации регулярной части), то для их обработки и получения некоторых общих закономерностей применимы методы спектрального, корреляционного и статистического анализа, которые в целом можно обозначить, как методы статистической радиофизики [1,2].

В работе анализируются временные и спектральные характеристики возмущений электрического поля в окрестности грозовых облаков, в том числе и с точки зрения их связи с пространственной облачной структурой. Для анализа использованы записи возмущений электрического поля с помощью обычных датчиков типа "field mill" во время летних гроз в районе Нижнего Новгорода.

На Рис.1 показано, в какой мере усиливаются флуктуации в различных частотных диапазонах во время ближних гроз. Здесь максимальное усиление в области от 1.5 МГц и выше ($T < 1$ мин.) обусловлено импульсной компонентой из-за разрядов. Из рисунка также видно, что весьма существенное усиление происходит и в диапазоне 0.5÷1.5 МГц ($T=10\div30$ мин.), где спектральная плотность увеличивается более, чем в 10^4 раз, тогда как на самых низких частотах фактор усиления равен 100 (всего ~10 раз для поля). Этот факт подчеркивает важную роль внутриоблачных неоднородностей зарядов и их динамики в эволюции грозового облака.

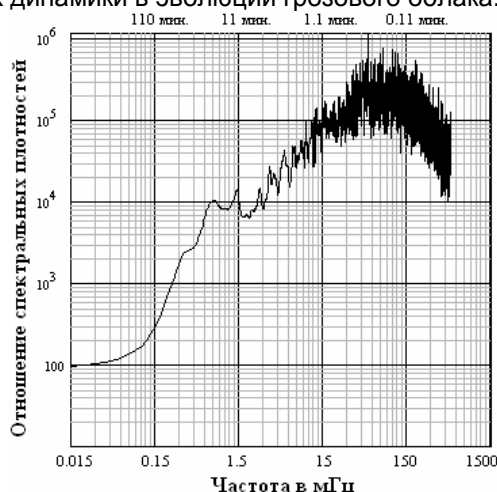


Рис.1. Фактор усиления спектральной плотности флуктуаций электрического поля по отношению к невозмущенным периодам в течение нескольких часов, предшествовавших грозам, в присутствии не грозовой облачности (среднее по 7-ми грозам 2009г.).

Так как компонента, связанная с разрядами, часто маскирует регулярную часть возмущений, целесообразно их разделить и анализировать отдельно. На Рис.2 приведены типичные спектры регулярных возмущений электрического поля в окрестности грозовых облаков. Здесь существенными являются два обстоятельства: 1) основная доля спектральной мощности содержится в полосе частот с периодами $T < 1$ час. и 2) спектральная плотность довольно резко спадает для флуктуаций с периодами короче ~ 15 мин.

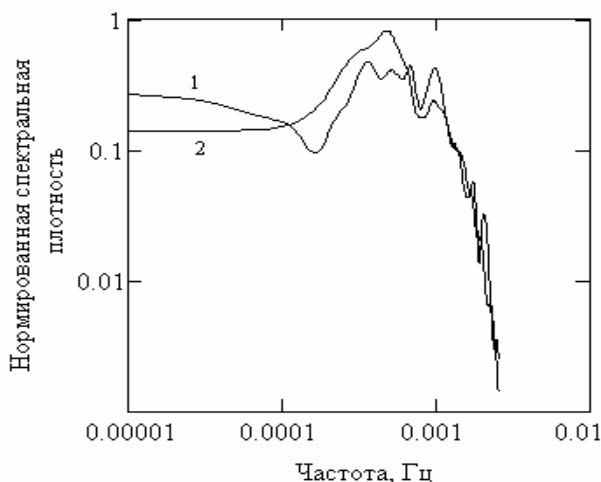


Рис.2. Усредненная спектральная плотность флуктуаций напряженности электрического поля в окрестности грозового облака: 1 – для 5-ти гроз 2005г.; 2 – для 10-ти гроз 2006г.

Первое означает, что возмущения электрического поля в окрестности грозового облака имеют, как правило, знакопеременный характер. Из этого следует, что среднее по времени (или по площади облака, если флуктуации связаны с движением облака относительно пункта измерений) поле существенно меньше, чем его амплитудные значения, а постоянная составляющая поля под облаком оказывается всего лишь на порядок больше поля хорошей погоды (см. Рис.1). Это может означать, что в замыкании токовой цепи в пространстве между облаком и землей роль регулярного электрического поля и, соответственно, регулярного тока невелика.

Второе обстоятельство – обрезание спектра на высоких частотах, скорее всего связано с фильтрацией вклада мелких масштабов в результирующее поле у земной поверхности. Как показано в [3], корреляционную функцию электрического поля, измеряемого у земной поверхности, можно записать в виде

$$\psi_E(\tau) = 4 \iint \frac{z_1 z_2 \psi_\rho(\tau, \Delta \vec{r})}{|\vec{R} + \Delta \vec{r} / 2|^3 |\vec{R} - \Delta \vec{r} / 2|^3} d\Delta \vec{r} d\vec{R},$$

где ψ_ρ - корреляционная функция плотности зарядов в облаке, R – расстояние до облака, Δr – расстояния между зарядами внутри облака, z_1 и z_2 – высота зарядов над земной поверхностью, коэффициент 4 учитывает индуцированные в проводящей земле заряды. Если представить $\psi_\rho(\tau, \Delta r)$ через спектральную плотность флуктуаций заряда $\Phi_\rho(\tau, k)$ в виде разложения по пространственным масштабам

$$\psi_\rho(\tau, \Delta \vec{r}) = \int \Phi_\rho(\tau, \vec{k}) \exp(i\vec{k}\Delta \vec{r}) d\vec{k},$$

то корреляционная функция для электрического поля примет вид $\psi_E(\tau) = 4 \int d\vec{k} \Phi_\rho(\tau, \vec{k}) \cdot G(\vec{k})$, где

$$G(\vec{k}) = \iint \frac{z_1 z_2 \exp(i\vec{k}\Delta \vec{r})}{|\vec{R} + \Delta \vec{r} / 2|^3 |\vec{R} - \Delta \vec{r} / 2|^3} d\Delta \vec{r} d\vec{R}$$

играет роль НЧ фильтра пространственных частот. Частотная характеристика этого ФНЧ зависит от геометрии облака и расстояний до него и может быть вычислена для некоторых простых или предельных случаев. В частности, для достаточно больших расстояний $R \gg L \geq \Delta r$, где L – линейный размер облака, частотная характеристика пространственного ФНЧ имеет «полосу пропускания» $k \leq 2\pi/L$, т.е. вклад в электрическое поле на большом расстоянии дают неоднородности заряда, соизмеримые с размером самого облака. Экспериментально это проявляется в более низкочастотном характере спектров полей удаленных гроз. Для ближних гроз также имеет место НЧ фильтрация вклада мелкомасштабных структур, что приводит к обрезанию спектра на высоких частотах.

В отличие от средней картины, каждой грозе присущи свои индивидуальные особенности, в частности присутствие в частотных спектрах одной или нескольких квазипериодических компонент. На Рис.3 приведен пример динамического спектра возмущений поля одной из таких гроз, на котором отчетливо видно развитие квазипериодического колебания поля в диапазоне периодов $7 \text{ мин.} \leq T \leq 30 \text{ мин.}$ Если эта периодичность связана с ветровым сносом пространственного распределения зарядов в облаке, то при характерных скоростях сноса $\sim 5 \text{ м/с}$ пространственный период неоднородностей должен лежать в пределах $2 \text{ км} < \lambda < 9 \text{ км}$. В то же время, с привлечением данных метеорологического радара удалось обнаружить в некоторых грозовых ячейках и временную периодичность с $T \sim 40 \text{ мин.}$, связанную с периодическим усилением вертикальных движений в облаке.

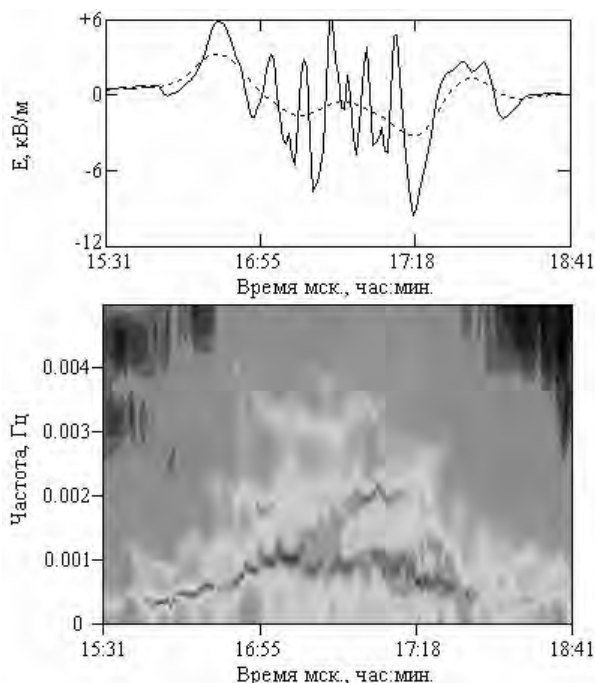


Рис.3. Временные вариации электрического поля (верхний рисунок) и динамика их спектральной плотности (нижний рисунок) во время грозы 17 июля 2005г.

В докладе приводятся также данные синхронных измерений флуктуаций поля датчиками, разнесенными на расстояние, превышающее размер отдельной грозовой ячейки ($\sim 8 \text{ км}$) и их совместный анализ. Проанализированы возмущения поля от грозовых облаков, перемещавшихся от одного пункта измерений ко второму, на основании чего сделаны оценки для времени жизни неоднородностей разных масштабов.

Интересную и важную для некоторых приложений информацию можно извлекать из импульсной компоненты возмущений поля, связанной с разрядами. На Рис.4 показана усредненная спектральная плотность возмущений поля во время гроз, вычисленная без предварительного разделения на регулярную и импульсную части. По сравнению с Рис.2 здесь появляется характерная компонента на высоких частотах, спадающая по закону $\sim 1/f^2$. Последовательность импульсных возмущений поля можно представить как случайный процесс $\xi(t)$, состоящий из потока импульсов с независимыми интервалами (пуассоновский поток)

$$\xi(t) = \sum_v a_v F(t - t_v),$$

и экспоненциально затухающей формой импульса

$$F(t) = \begin{cases} 0 & \leftarrow t < 0 \\ \exp(-t / \vartheta) & \leftarrow t \geq 0 \end{cases}$$

для которого спектральная плотность вычисляется по формуле [1]

$$g_\xi(\omega) = \frac{n_1 \cdot \langle a^2 \rangle}{2\pi} \cdot \int_0^\infty \frac{\vartheta^2}{1 + \omega^2 \vartheta^2} w(\vartheta) d\vartheta,$$

где n_1 – число импульсов в единицу времени, $\langle a^2 \rangle$ – средний квадрат амплитуды, $w(\vartheta)$ – закон распределения времен затухания. Если принять для времени затухания некоторую постоянную эквивалентную величину ϑ_0 , т.е. $w(\vartheta) = \delta(\vartheta - \vartheta_0)$, то

$$g_{\xi}(\omega) = \frac{n_1 \langle a^2 \rangle}{2\pi} \cdot \frac{1}{\omega^2 + 1/\theta_0^2}.$$

На Рис.4 показано, что наилучшим образом такая аппроксимация совпадает с экспериментальным спектром при $\theta_0 \approx 12$ с. В соответствии с моделью – это среднее время восстановления электрического поля после разряда, которое зависит от электрической проводимости σ внутри облака. Если принять $\theta_0 \sim \varepsilon_0/\sigma$ (ε_0 – диэлектрическая проницаемость свободного пространства), то получим $\sigma \sim 10^{-12}$ Ом⁻¹м⁻¹, т.е. более высокое значение, чем в свободной атмосфере на этих высотах. Из Рис.4 также определяется величина $n_1 \langle a^2 \rangle \cdot \theta_0^2$, характеризующая среднюю мощность разрядов во время грозы.

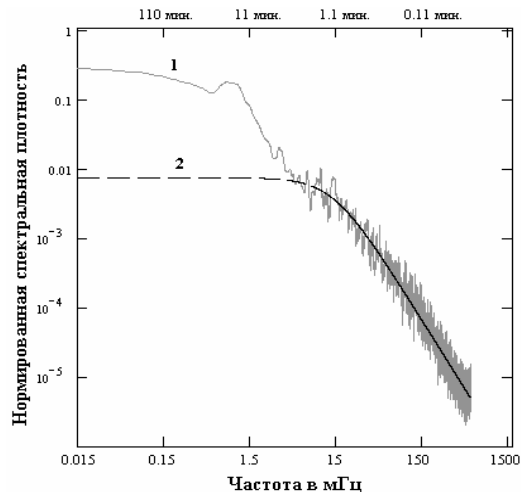


Рис.4. Средняя по 7-ми грозам 2009г. спектральная плотность возмущений электрического поля (1) и расчетная спектральная плотность пуассоновского потока импульсов с экспоненциальным затуханием при $\theta_0 = 12$ с. (2).

Дополнительно исследованы статистические характеристики последовательностей импульсных возмущений поля во время гроз. Показано, что интервалы между разрядами распределены экспоненциально, что указывает на независимость момента появления каждого следующего разряда от предыдущего (пуассоновский процесс), за исключением области $\tau < 10$ с [4].

Аналогичная картина наблюдается с шумовыми выбросами, превышающими некоторый порог x_0 (подробности см. в [4]), т.е. обнаруживается качественное сходство в поведении полученной экспериментально плотности вероятности для интервалов между электрическими разрядами в грозовых облаках и плотности вероятности для интервалов между шумовыми выбросами. Вычисленные в [4] вероятности для шумовых выбросов дают количественную основу для экспериментальной проверки гипотезы о том, что электрический разряд в облаке происходит при возрастании электрического поля выше пробойного в результате флуктуаций на фоне средних полей, которые обычно существенно ниже критических значений, необходимых для пробоя.

Данный доклад имеет своей целью акцентировать внимание на важности исследований внутриоблачной неоднородной структуры грозовых облаков.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ОФН РАН «Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследований атмосферных процессов», Грантов РФФИ № 10-05-01045, № 11-05-12055-офи-м-2011

Литература

1. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. Часть 1. Случайные процессы. М.: Наука. 1976. 495с.
2. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Часть 2. Случайные поля. М.: Наука. 1978. 464с.
3. Анисимов С.В., Мареев Е.А., Шихова Н.М., Дмитриев Э.М. Механизмы формирования спектра пульсаций электрического поля приземной атмосферы.//Изв.ВУЗов «Радиофизика». 2001. Т.64. №7. С.562-575.
4. Клименко В.В. О статистике временных интервалов между разрядами в грозовом облаке и вероятности флуктуационных выбросов электрических полей, превышающих некоторый порог.//Настоящее издание.

НАБЛЮДЕНИЯ ВСПЛЕСКОВ НЕЙТРОНОВ ВО ВРЕМЯ МОЛНИЕВЫХ РАЗРЯДОВ НА УРОВНЕ МОРЯ

В.И. Козлов, В.А. Муллаяров, С.А. Стародудцев, А.А. Торопов
Институт космических исследований и аэронауки СО РАН, Якутск
v.kozlov@ikfia.ysn.ru

Проведено экспериментальное исследование связи всплесков нейтронов с атмосферным электрическим и геомагнитным полями во время гроз в г.Якутске в 2009-2012 гг. Использованы минутные, исправленные на давление данные спектрографа космических лучей (61°59,362'N; 129°41,874'E, высота над уровнем моря 94 м), состоящего из нейтронного монитора 24-NM-64 и четырех мюонных телескопов на уровнях 0, 7, 20 и 40 м водного эквивалента и способных измерять интенсивность частиц из 5 направлений: вертикали, 30 и 60 с севера и юга. В нейтронном мониторе используются газоразрядные счетчики СНМ-15, а в мюонных телескопах СГМ-14. Электростатический флюксметр (диапазон +/-50 кВ/м с погрешностью 1 В/м) откалиброван в искусственном электрическом поле. Второй флюксметр установлен в 4 км от монитора, на здании института. Флюксметры регистрируют молниевые разряды с секундным разрешением в радиусе 10-15 км. Использованы 0,5 секундные данные ферромагнитного магнитометра типа FGE производства Danish Meteorological Institute с динамической областью измерений ± 3200 нТ и точностью 0,1 нТ, расположенного на расстоянии 4 км к юго-западу от спектрографа также для регистрации молний. Во время двух гроз 2011 г. производилась скоростная (300кадр/с) видеозапись молниевых разрядов с помощью камеры Casio EX-F1, что позволило определить тип, время и место удара молний.

Из 51 событий гроз, наблюдавшихся в радиусе до 10 км от нейтронного монитора за 4 года статистически значимые всплески потока нейтронов зарегистрированы в 14 мощных грозах. Амплитуда всплесков нейтронов с длительностью 3-4 мин в среднем превышала ошибку измерений на величину 5 σ .

При прохождении грозового облака над пунктом наблюдения у поверхности земли на фоне атмосферного электрического поля средней напряженности $E \sim 100$ В/м отмечаются быстрые вариации поля общей продолжительностью до 1÷2 час и амплитудой более 20кВ/м. В 2012 году наблюдались наиболее мощные всплески нейтронов во время грозы 08.06.12, достигающие 30%, а во время грозы 14.06.12 всплески нейтронов наблюдались во время положительных разрядов. Во всех остальных случаях всплески наблюдались во время отрицательных молниевых разрядов [1]. Данные параметров наблюдавшихся всплесков нейтронов и электрического поля, измеренного рядом с нейтронным монитором для гроз в июне 2012 г, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Данные параметров наблюдавшихся всплесков нейтронов и электрического поля, измеренного рядом с нейтронным монитором для гроз в июне 2012 г

Дата	UT	E, (В\м)	ΔE , сек	E-мак, (В\м)	Nфон, имп/мин	ΔT , мин	ΔN , имп/мин	ΔN , %
01.06.2012	07:23				12720	1	13536	6,4
	07:25				12688	2	13768	8,5
	07:28				12712	1	13192	3,8
	07:32				12616	1	13288	5,3
08.06.12	09:29	-1589	2	+4346	12776	1	14992	17,3
	09:32	-1596	2	+6322	12576	1	16536	31,5
	09:37	-1621	2	+6432	12680	1	17136	35,1
14.06.12	11:39	-1867	1	-1339	12664	1	13744	8,5
	11:47	+1811	2	-1651	12968	1	13728	5,9
	11:53	+133	1	-2730	12824	1	14640	14,2
	11:56	-17	2	-3268	13120	1	13736	4,7
	12:00	+383	3	-3920	12704	1	14680	15,6
	12:03	-773	2	-3246	13056	1	14152	8,4
	12:06	-453	2	-5662	12608	1	14152	12,2
	12:15	+1309	2	-5658	12720	1	14920	17,3
	12:19	+489	2	-5127	12880	1	14296	11,0
	12:23	+1031	2	-6254	12840	1	14496	12,9
12:29	+1839	2	-3555	12920	1	13856	7,2	
19.06.12	06:38	-1667	2	-437	12576	1	14552	15,7

Пример изменения темпа счета нейтронного монитора и вариаций атмосферного электрического поля, измеренного рядом с нейтронным монитором и в 4-х км от него (главное здание ИКФИА) во время грозы 08.06.12 приведены на рис. 1.

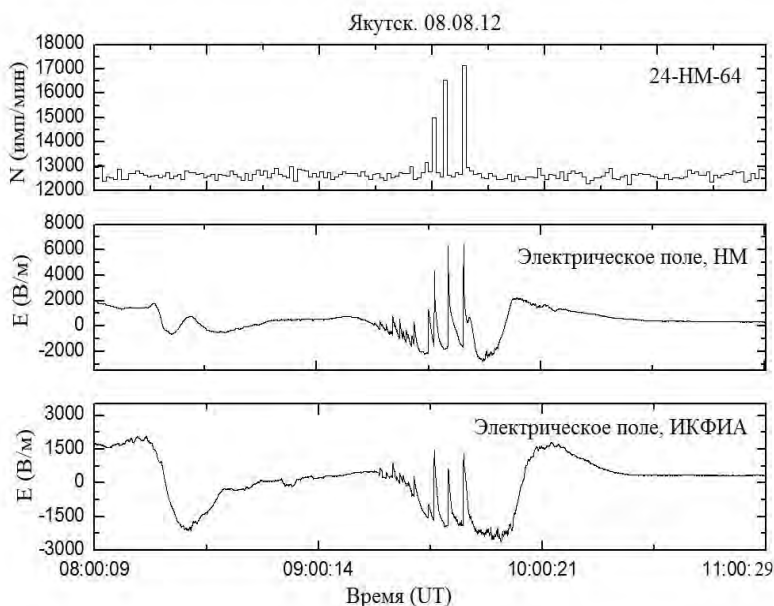


Рис. 1. Изменения темпа счета нейтронного монитора и вариаций атмосферного электрического поля, измеренного рядом с нейтронным монитором и в 4-х км от него (главное здание ИКФИА) во время грозы 08.06.12

В зависимости от электрической структуры грозового облака, вариации поля, наблюдавшиеся нами в г.Якутске, можно разделить на пять типов. Первый - связан с облаками, в верхней части которых преобладает положительный заряд, а в нижней отрицательный (положительная полярность облака); второй - с такими же облаками, в основании которых имеется дополнительный компактный положительный заряд; третий - с облаками, верхняя часть которых имеет положительный заряд, а нижняя - смещенный относительно верхнего отрицательный разряд. Четвертый - определяется облаками отрицательной полярности, у которых верхний заряд отрицательный, а нижний - положительный; в пятом - нижний положительный заряд смещен относительно верхнего отрицательного.

В Якутске наиболее часто наблюдаются вариации атмосферного электрического

поля второго типа (43,5%), и именно с ними связаны все случаи регистрации всплесков нейтронов. Возрастания нейтронов отмечались вблизи времени прохождения над спектрографом компактного положительного разряда, сосредоточенного в нижней части облака. В данных мюонных телескопов статистически значимых всплесков не было, кроме отдельных гроз, где наряду с всплесками нейтронов, в данных телескопа, установленного на уровне земли, наблюдались значимые всплески мюонов в вертикальном направлении (02.08.11). Кратковременные всплески нейтронов регистрируются при превышении пороговой напряженности электрического поля, причем, с ростом напряженности поля наблюдается повышение амплитуды всплесков. В комплексном эксперименте по регистрации нейтронов, проводимом на установке на Тянь-Шане [2], средний темп счета нейтронного монитора из 18 счетчиков составляет около 80000 имп/мин, а для монитора из 24 счетчиков в Якутске - 16500 имп/мин. Оценка для событий всплесков нейтронов во время молниевых разрядов, зарегистрированных в г.Якутске для грозы 26.06.10 (наблюдалось 14 молниевых разрядов) составляет приблизительно $4 \cdot 10^{(-3)} \text{см}^{(-2)} \cdot \text{с}^{(-1)}$ для 4-х наиболее мощных всплесков нейтронов. С учетом разницы толщины атмосферы ($350 \text{ г} \cdot \text{см}^{(-1)}$) и времени усреднения выборки результаты согласуются между собой.

Работа поддержана РФФИ 10-02-00877-а, 12-02-00174-а, 12-05-98528-р_восток_а и 12-07-98507-р_восток_а, программы Президиума РАН № 10, гранта Президента РФ для поддержки ведущей научной школы № НШ-1741.2012.2 и Минобрнауки России ФЦП «НИН-ПКИР» № 8404.

Литература

1. Стародубцев С.А., Козлов В.И., Торопов А.А., Муллаяров В.А., Григорьев В.Г., Моисеев А.В. Первые экспериментальные наблюдения всплесков нейтронов под грозовыми облаками вблизи уровня моря // Письма в ЖЭТФ, 2012. Т. 96. Вып. 3. С. 201-204.
2. Gurevich A.V., Antonova V.P., Chubenko A.P. et al. Strong Flux of Low-Energy Neutrons Produced by Thunderstorms // Phys. Rev. Lett., 2012, 108, 125001(4).

ИСКУССТВЕННОЕ ВЫЗЫВАНИЕ ОСАДКОВ ЗАРЯЖЕННЫМ РЕАГЕНТОМ

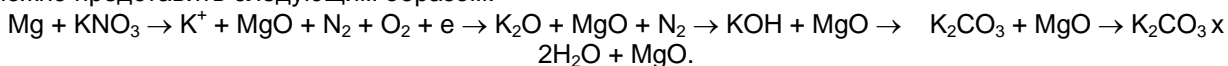
В.Н. Козлов
ФГБУ ГГО им.А.И.Воейкова, Санкт-Петербург, Россия
kozlov6391@gmail.com

Рассматриваются вопросы применения искусственно образованных ионов для вызывания осадков из мощных конвективных облаков. Электричество облаков может быть и следствием и причиной фазовых и структурных преобразований воды в атмосфере. Впервые рассматривать энергию неустойчивости электрического происхождения для искусственного вызывания осадков (ИВО) предложил И. М. Имянитов [1], который усматривал возможности эффективного вмешательства в атмосферно-электрические процессы с доступной людям относительно малой энергией и обозначил возможные пути такого вмешательства.

На основе этих положений рассматривается несколько методов воздействия электрическими методами, один из которых - воздействие искусственно созданными ионами на процессы коагуляции частиц в облаках. Эффективность слияния столкнувшихся капель существенно зависит от напряженности электрического поля и от величины и знака зарядов на каплях.

Первые опыты по воздействию на облака электрически заряженным реагентом проводились заряженным песком Б. П. Вейнберг (1924), затем заряженными каплями воды на осаждение туманов И. А. Вагер (1941). Стожков Ю. И. и др. (1996) детально изучили влияние потоков заряженных частиц (главным образом космических лучей) в атмосфере на интенсивность осадков и пришли к выводу, что повышение уровня ионизации приводит к увеличению количества осадков. Анализ 53 солнечных вспышек за период 1942-1992 г.г. показал, что увеличение осадков в среднем происходит на $+(13,3 \pm 5,3)\%$. Уменьшение количества осадков при снижении потока космических электронов (уменьшение потока космических лучей в нижней атмосфере) достигает $-(17,4 \pm 2,3)\%$ [5]. Вопросы влияния электрических сил на конденсационно-коагуляционные процессы в разные годы рассматривались Б. Дж. Мейсоном (1961), В.М. Мучником (1974), Л.М. Левиным (1961), Н.С. Шишкиным (1964), Н.В. Красногорской (1976) и другими исследователями.

Разработка искусственных источников ионизации основывалась на пиротехническом способе диспергирования реагента. Пиротехнический состав (ПС) для генерации заряженного аэрозоля получается из смеси порошкообразного металлического горючего (магний или его сплавы), окислителя (селитра калиевая или других щелочных металлов) и небольших добавок органического вещества [4]. Схематично происходящие реакции горения ПС при температуре порядка 4000-4500К можно представить следующим образом:



ПС снаряжается в макетах пиропатронов ПВ-26 в количестве 40г. Горение ПС в атмосфере длится 16-18с, траектория движения 800-900м. Физико-химические свойства реагента, расчеты столкновений заряженных капель, и, следовательно, их рост, связанный с электрической коагуляцией, приведены в работе [3]. На основании известных теоретических представлений установлено, что все электроны эмиссии пошли на образование отрицательных ионов молекул кислорода.

Разработанный реагент предназначен прежде всего для вызывания осадков из теплых облаков, но может быть применен для этих целей и к переохлажденным жидкокапельным облачным системам. Воздействие целесообразно проводить на стадии мощного кучевого облака, когда большая часть облачных капель имеет положительный заряд.

Экспериментальные работы по искусственному вызыванию осадков на лесные территории, проведенные в 1997-2006гг. ФГУ «Авиалесоохрана», из облаков *Cu cong* заряженными гигроскопическими реагентами приводили к выпадению ливневых осадков и града, но не наблюдались грозные разряды. Это свидетельствует о том, что раннее выпадение осадков из засеянного облака предотвращает образование объемных зарядов пробивной мощности.

Введение заряженного реагента в восходящий поток облака, в том числе и с его нижней границы осуществляется в макетах штатных пиропатронов ПВ-26. Методика введения реагента с нижней границы облака с использованием легкомоторных самолетов значительно уменьшает расходы на работы по проведению воздействий на облака с целью ИВО.

Проведенные опытно-экспериментальные работы по тушению лесных пожаров ИВО в 2000-2006 гг. показали их высокую эффективность. Всего в работах по ИВО было задействовано 15 авиабаз ФГУ «Авиалесоохрана», из них 12 проводили ИВО для тушения лесных пожаров, а 3, включая Тюменскую, Западно-Сибирскую и Уральскую, использовали ИВО и для снижения класса пожарной опасности лесов (КПО). Сводные результаты работ по ИВО для 10 авиабаз приведены в таблице [2].

Общая площадь погашенных пожаров ИВО составила 133328 га, эффективность ИВО равна в среднем по всем авиабазам 77%. Наиболее показательные результаты были получены Красноярской авиабазой, где ИВО проводилось ежегодно, погашено 42081га с эффективностью вызывания осадков 87%. Авиаработы проводились преимущественно с самолета Ан-26п, оборудованного

автоматической системой отстрела пиропатронов ПВ-26 с капсулем центрального боя. Вызываемые искусственно осадки имели в основном ливневый характер.

Таблица. Площадь (S, га) погашенных лесных пожаров ИВО по авиабазам за 2000-2006 гг [2].

Авиабаза, год	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	за7лет
Дальневосточная		500	800	190				1490
Забайкальская	35			309				344
Зап.-сибирская		240	**	**				240
Красноярская	26	130	3500	10170	7010	2215	19030	42081
Сыктывкарская	4503	70						14573
Томская	205			878				1083
Хант.мансийская	376				5329			5705
Читинская	1348		1300	62700				65348
Якутская	170		950	180				1300
Итого*	16693	945	6570	74496	13379	2215	19030	133328
Предотв. ущерб млн. \$***	417	236	164	186	334	553	475	333

Примечание: * – с учетом 15 авиабаз; ** - профилактические работы по снижению КПО лесов искусственно вызванными осадками; ***- предотвращенный ущерб, $S \times 25000$ \$ тыс.

Экспериментальным путем было установлено, что наилучшие результаты дает засев мощного кучевого облака на высоте две трети от основания облака. Характерными результатами являются засева мощных кучевых облаков с верхней границы на Сыктывкарской авиабазе, когда были вызваны ливневые осадки в 1999г. при 5 КПО, продолжавшиеся 2 часа, и на Иркутской авиабазе в 2006г., где в результате засева облака на очаг пожара выпал град, полностью загасивший огонь.

Количество осадков, выпадающих на лесные территории, измеряется косвенным образом по огнегасящему эффекту, определенному экспериментально при разном количестве горючего лесного материала. Зоны выпадения осадков имеют форму эллипса или овала, вытянутых вдоль направления ветра. Длина зоны осадков одного облака колеблется от 3 до 30 км (в 70 % случаев от 4 до 14 км), ширина - от 2 до 18 км (в 70 % случаев - от 2,5 до 5 км). Если принять среднюю водность облака, равной 1 г/м^3 (изменяется от 0,01 до 8 г/м^3), то из него может быть получено от 9 до 10 тыс. т воды, а с учетом коэффициента регенерации (около 4,2) этот объем увеличивается до 37 - 42 тыс. т.

Количество ИВО, выпавших из одного конвективного облака, колеблется от 2мм до 12мм. Для ликвидации лесных пожаров количество ИВО за 2000 – 2006гг на 1га лесной территории в среднем составило 100т, минимальное – 20т (ликвидация весенних пожаров), максимальное – 200т (ликвидация летних пожаров, когда горят лесная подстилка и покров).

Ориентировочный экономический эффект ИВО для ликвидации лесных пожаров составил за 2000-2006гг 3,33 млрд. долларов США, при средней стоимости одного гектара защищаемых лесов не менее 25000\$ по сообщениям Российской газеты от 26.08.2010г.

Проведенные результаты опытно-производственных работ подтверждают перспективность использования заряженных реагентов для ИВО из мощных кучевых облаков при борьбе с лесными пожарами с применением самолетов лесопатрульной авиации.

Использованные источники

- 1.Имянитов И.М., Чубарина Е.В., Шварц Я.М. Электричество облаков. Л.:Гидрометеиздат, 1971.- 94с.
2. Козлов В.Н. Методы искусственного вызывания осадков для борьбы с лесными пожарами. – СПб: Изд. Инфо-да.– 2011.– 202 с.
3. Козлов В.Н., Клинго В.В. Теоретическое обоснование генерации заряженного гигроскопического реагента для искусственного вызывания осадков из облаков -Труды ГГО. – 2012. – Вып. 265. – С. 216-231.
4. Козлов В.Н., Лихачев А.В., Окунев С.М., Фомин В.А. Пиротехнический состав для вызывания осадков.// Патент № 2090548. – Россия. – МПК С 06 D 3/00; А 01 G 15/00 .
5. Стожков Ю. И., Покровский П. Е., Зулло Ж. мл. и др. Воздействие потоков заряженных частиц на интенсивность осадков. Геомагнетизм и аэрномия, 1996, т. 36, № 4. – С. 211-216.

К МЕТОДКЕ ОБЪЕДИНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦИОННОЙ СЕТИ И ДАННЫХ О ПАРАМЕТРАХ ОБЛАКОВ ИСЗ

А.М. Колесов¹, А.В. Снегуров², В.С. Снегуров²

1 - Санкт-Петербургский ЦГМС-Р Санкт-Петербург Россия

2 - Главная геофизическая обсерватория им.А.И.Воейкова Санкт-Петербург Россия
info@alwes.ru

В течение нескольких десятков лет специалисты Гидрометеослужбы используют для прогнозирования летних конвективных явлений снимки с космических аппаратов и данные метеорологических локаторов. До середины 1990-х годов работа была построена на визуальном анализе спутниковых снимков, которые отпечатывали в виде обычной фотографии преимущественно в инфракрасном диапазоне и реже в видимом, а также на консультациях оператора МРЛ, осуществляемых по телефону. Сравнивая редкие космические снимки, синоптик определял степень развития конвективной облачности и траектории её перемещения. При прогнозировании грозовой деятельности основную помощь для составления штормовых предупреждений оказывали рекомендации операторов МРЛ, отслеживающих развитие и перемещение грозовых очагов.

В последние десятилетия с развитием компьютерных технологий вся обработка спутниковых данных и показаний МРЛ была переведена на ПЭВМ, поэтому уже сам синоптик обрабатывал, анализировал и самостоятельно принимал решение о развитии конвективной облачности и вероятности образования связанных с ней явлений (ливней, гроз, града и шквалов). Развитие этих технологий прошло длительный путь и постоянно совершенствовалось.

К настоящему времени специалисты в процессе оперативной работы могут анализировать данные МРЛ, поступающие каждые 10 минут. Развитие облачных образований отслеживается по нескольким параметрам: высоте облаков, метеоявлениям и т.д.

При просмотре спутниковых снимков с помощью компьютерной программы появилась возможность анализировать большой объём информации, поступающей по нескольким каналам. Для оперативной работы в течение нескольких десятилетий в основном использовались снимки с орбитальных спутников серии NOAA.

В последние годы в оперативной работе стали использоваться данные геостационарных спутников, снимки с которых поступают каждые 15 минут на фиксированную территорию. Это дает возможность в режиме мультипликации просматривать эволюцию барических образований.

Все получаемые материалы в значительной степени облегчили работу прогнозиста, но во многих случаях принятие правильных решений остается довольно трудной задачей. Прогнозирование грозовой деятельности при различных синоптических ситуациях существенно отличается, а данные, поступающие от МРЛ, показывают наличие грозовых очагов с некоторой вероятностью. Гроза отмеченная на локаторе, с вероятностью 30-70 % не всегда соответствует истине и подтверждается данными метеостанций.

Основная задача при получении спутниковых снимков серии NOAA заключается в выделении на обширной территории районов с конвективной облачностью и обработке вырезанных участков программой *Meteo Gamma*. Так как в подавляющем большинстве случаев опасные метеорологические явления происходят в уже хорошо развитом конвективном облаке (Cb), то при обработке снимка выделяются только эти типы облачности, а все более низкие облака отсеиваются. Максимальная высота таких облаков дает наглядное представление о развитии облака и его местонахождении.

В отличие от геостационарных спутников, для точной привязки данных орбитальных спутников, снимки с которых развернуты или сжаты в зависимости от угла наклона, производится дополнительный перевод в картографическую проекцию. При обработке снимка соблюдается строгая последовательность действий. На первом этапе данные преобразуются в картографическую проекцию. Далее уточняется их привязка к видимым географическим объектам (водные поверхности в местах, не закрытых облачностью). На следующем этапе проводится обработка снимка и формирование двух файлов с расширениями PNG и KML. Все полученные материалы с привязкой к географической карте передаются на сервер ГПС «Алвес», где совмещаются с данными МРЛ и ГПС. На рисунках 1 - 3 приведены примеры объединения информации на одной картографической основе Google map данных ИСЗ и ГПС, ГПС и МРЛ, ИСЗ и МРЛ 12 июня 2012 года за период с 09 часов 50 минут до 10 часов 50 минут по UTC.

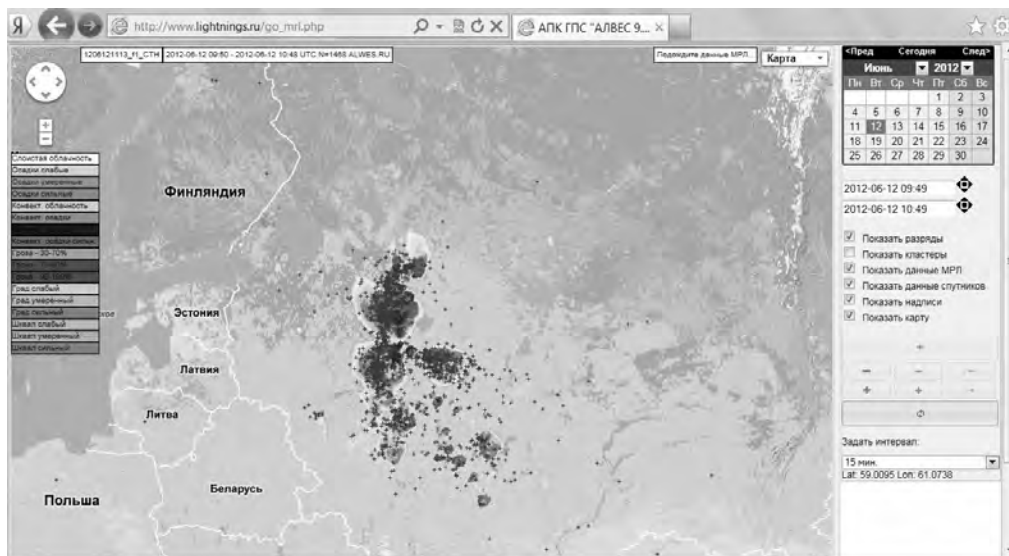


Рис.1.Контурсы облаков по данным ИСЗ (высокая верхняя граница выделена более тёмными тонами) и координаты разрядов по ГПС (обозначены крестиками синего цвета).

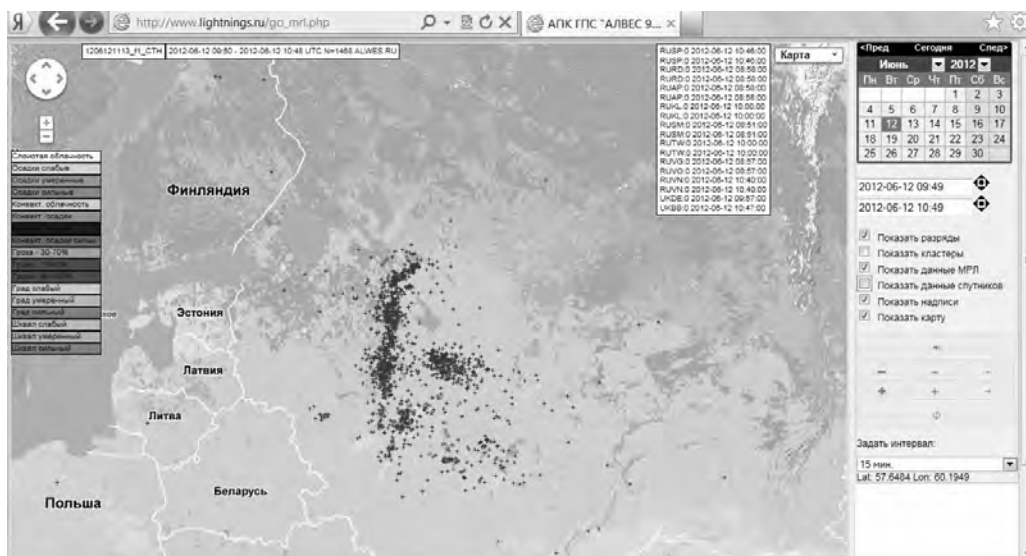


Рис.2.Метеоявления по данным МРЛ и координаты разрядов по ГПС (обозначены крестиками синего цвета).

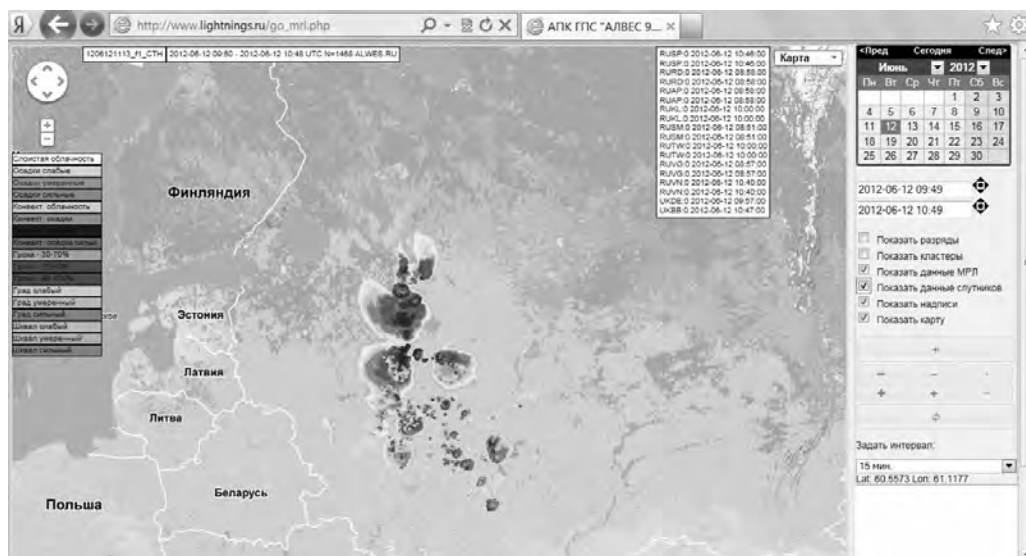


Рис.3.Контурсы облаков по данным ИСЗ (жёлто-оранжевые тона) и метеоявления по по данным МРЛ (сине-голубые и красные тона).

СЕЗОННАЯ И СУТОЧНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АТМОСФЕРНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Л.И. Коломеец, Л.В. Кашлева

Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург, Россия
liudusik88@mail.ru

Электрические явления, происходящие в атмосфере, оказывают существенное влияние на многие метеорологические процессы. Кроме этого, электрическое состояние атмосферы нередко влияет на работу различных технических средств в сфере авиации, связи, энергетики и т.д. Электрические параметры атмосферы являются хорошими индикаторами загрязнения окружающей среды, поэтому их изучение и анализ являются актуальными вопросами.

В настоящем исследовании использовались данные мировой сети станций атмосферного электричества, где представлены результаты измерений напряженности электрического поля, полярной проводимости и вертикального тока. Для анализа были взяты следующие параметры: напряженность электрического поля (E_z) и проводимость атмосферы (λ_+ , λ_- , λ_z). Целью работы было проследить сезонный и годовой ход напряженности и проводимости, делая основной упор на влияние и взаимосвязь этих параметров с подстилающей поверхностью.

Стилизация подстилающей поверхности производилась по следующему принципу: 1) разделение на море и сушу 2) море подразделялось на 2 типа - открытое море (рассматривается на примере станции Лиссабон) и закрытое (на примере станции Одесса); суша в свою очередь рассматривалась как горные районы и равнинные. Для анализа горных территорий были выбраны станции Ташкент (как пример гор с резко-континентальным климатом) и станция Душети (в качестве горного ландшафта, покрытого растительностью). Равнинная местность анализировалась на примере станций Дурбес, Воейково и Мурманск.

В ходе исследования были построены годовой ход напряженности и полярной/суммарной проводимости электрического поля, ход напряженности и полярной/суммарной проводимости в пиковые месяцы (январь и июль).

Как показали предварительные оценки, E_z изменяется в довольно широких пределах в разных районах. Так, для открытого моря характерна маленькая амплитуда годового хода E_z с одним максимумом в зимний период и одним минимумом в теплое время года (похожая зависимость наблюдается и на территории Ташкента). Равнинная местность характеризуется более сложными зависимостями, амплитуда E_z возрастает. E_z января превосходит значения E_z июля. Проводимость воздуха намного выше в горах, чем на равнинной местности или у прибрежных зон, так же максимум проводимости для всех станций наблюдается в теплый период года (что говорит о работе двух генераторов: радиоактивности почвы и космических лучей).

Все это свидетельствует о том, что подстилающая поверхность является важным критерием, который необходимо использовать для анализа изменчивости электрических характеристик атмосферы.

Литература

1. Чалмерс Дж. А., Атмосферное электричество. [перев] – Л.: Гидрометеоиздат, 1974, – 421 с.
2. Френкель Я.И. Теория явлений атмосферного электричества. Изд. 3, 2007, М.
3. Кашлева Л.В. Атмосферное электричество. Учебное пособие, 2008, РГГМУ

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ФОРМИРОВАНИЯ БАНКОВ КАНОНИЧЕСКИХ ФОРМ АТМОСФЕРИКОВ

И.И. Кононов, И.Е. Юсупов, Д.М. Крутой

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
igor_kononov@mail.ru

Рассматривается методика формирования банка усредненных форм ОНЧ атмосфериков (0,3...30 кГц) ближней зоны с использованием итеративной процедуры классификации. Жесткие ограничения на пространственное положение грозových очагов (50...130 км), электромагнитное излучение которых подвергается обработке, позволяет рассматривать атмосферерики соответствующими второй производной дипольного момента и использовать их в этом качестве для последующих численных расчетов. Оценки границ применимости дипольных представлений и влияния на форму атмосферика конечной проводимости земной поверхности и ее кривизны приводятся в [1].

Обсуждаются результаты классификации, полученные по данным регистрации атмосфериков из грозových очагов, выделенных для нескольких грозových дней: 28-06-01, 06-07-01 и 10-07-01 (рис. 1), развивающихся в различных метеорологических условиях. Грозových кластеры, отобранные для

последующего анализа, выделены жирными линиями, характеризующими треки центров кластеров, сформированных по методике пространственной кластеризации, описанной в [2]. Они соответствуют разному типу ее развития (фронтальный или внутримассовый), разному времени суток и указанному выше пространственному ограничению.

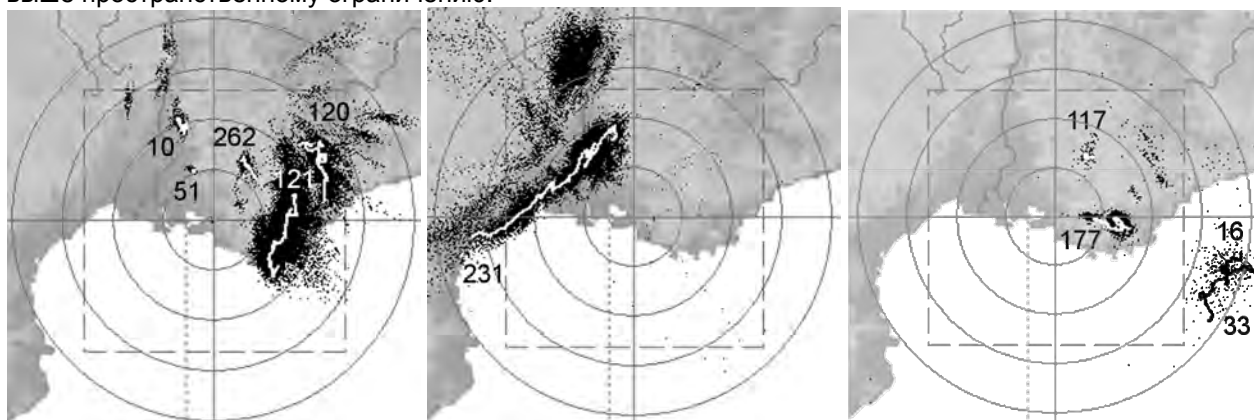


Рис. 1. Пространственно-временная картина грозовой активности за 28-06-01, 06-07-01 и 10-07-01. Некоторые параметры выделенных для обработки грозовых кластеров (время жизни, количество молниевых вспышек, зарегистрированных УКВ системой SAFIR и синхронных со срабатыванием ОНЧ-регистратора, средние расстояния и азимуты центров кластеров, количество атмосфериков в выделенных типах) приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры грозовых кластеров.

Кластер	Время жизни	N_{SAFIR}	$N_{синхр}$	R, km	$Az, ^\circ$	$N_{Тип1}$	$N_{Тип2}$	$N_{Тип3}$	$N_{ост}$
28-06-01									
10	00:41-02:21	132	96	104 ± 7	341 ± 2	34	31	8	23
51	03:33-03:08	29	20	54 ± 3	338 ± 2	4	3	5	8
121	11:57-15:53	3778	1216	80-55-75	$80 \rightarrow 130$	544	32	311	329
262	11:50-12:56	90	41	63 ± 4	31 ± 7	13	6	4	18
06-07-01									
231	18:01-22:13	2558	647	78 ± 8	$283 \rightarrow 345$	192	35	211	209

Для разделения волновых форм атмосфериков из выделенных грозовых кластеров по типам и последующего формирования их усредненных (канонических) форм была разработана эвристическая итеративная двухэтапная процедура классификации. На первом этапе все зарегистрированные формы, синхронизированные с данными системы SAFIR и нормализованные по амплитуде первой полуволны, подвергаются последовательному усреднению с разделением средних форм по отдельным классам с использованием в качестве критерия селекции некоторого заданного предельно допустимого отклонения очередного анализируемого атмосферика от усредненной формы (в метрике L_2), полученной на предшествующей стадии обработки. При следующем запуске процедуры усреднения эти формы используются в качестве исходных эталонных образцов. Процедура усреднения повторяется до тех пор, пока количество усредненных форм перестает заметно сокращаться. При этом отбрасывались формы, представленные единичными экземплярами. Рис. 2 иллюстрирует отдельные характерные экземпляры усредненных форм из кластера CI_121.

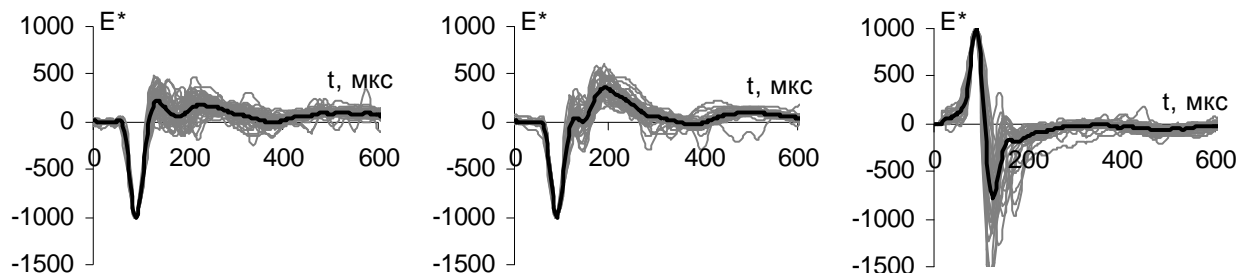


Рис. 2. Образцы характерных нормированных ОНЧ волновых форм атмосфериков (серые тонкие линии) и их усредненных образов (жирные кривые) из грозового кластера CI_121 (28-06-01).

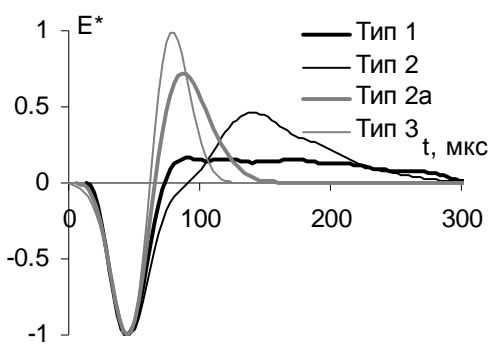


Рис. 3. Типы усредненных волновых форм атмосфериков.

На втором этапе классификации рассчитывалась матрица максимумов функций взаимной корреляции между всеми усредненными волновыми формами, полученными для разных грозовых дней, после чего формировались классы (или типы) сигналов, объединяющие усредненные формы атмосфериков, коэффициенты взаимной корреляции которых были не менее некоторого заданного порогового значения (для обсуждаемых данных этот порог составляет 0,9). На рис. 3 приведены основные типы усредненных волновых форм атмосфериков, рассматриваемых в качестве «канонических», а на рис. 4 – соответствие экспериментально зарегистрированных атмосфериков с рассчитанными с использованием одного из приведенных на рис. 3 типов (тип 2a).

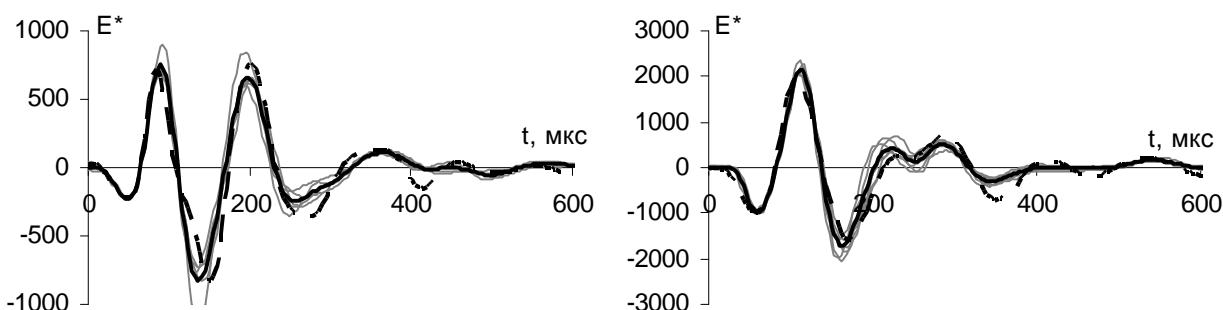


Рис. 4. Соответствие экспериментально зарегистрированных в разнесенных пунктах LM ($R = 1981$ км) и SPb ($R = 1046$ км) усредненных волновых форм атмосфериков (жирные кривые) с рассчитанными (пунктирные кривые) с использованием в качестве канонической формы типа 2a.

Результаты проведенных исследований подтверждают возможность и целесообразность использования предлагаемой методики в различных практических приложениях (и, прежде всего, при разработке и эксплуатации различных однопунктовых и многопунктовых систем пассивной локализации гроз).

Литература

1. Kononov I.I., Yusupov I.E. A simplified «engineering» return stroke model. // Proc. 31st ICLP, 2012, Vienna, Austria.
2. Kononov I.I., Yusupov I.E. Cluster analysis of thunderstorm development in relation to synoptic patterns. // 18th ILDC, 2004, Helsinki, Finland, Ref. No. 23.
3. Said R.K., Inan U.S., Cummins K.L. Long-range lightning geolocation using a VLF radio atmospheric waveform bank. // Journal of Geophysical Research, 2010, Vol. 115, D23108, doi:10.1029/2010JD01386.

МОЛНИИ НАД ЮГО-ВОСТОКОМ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Д.А. Константинова¹, В.П. Горбатенко²

1 - Томский политехнический университет, г.Томск, Россия

2 - Томский государственный университет, г.Томск, Россия

da_konstantinova@mail.ru

Прямая регистрация молний над территорией Томской области осуществлялась грозопеленгаторами Voltek LD-250 и Storm Tracker [1] в период 2008-2011 гг. Система позволяет определить местоположение разрядов молнии в полярных координатах, центром системы координат является Томск. На монитор персонального компьютера выводится информация о пространственной локализации каждого из разрядов (рис. 1), позволяющая отследить скорость и направление перемещения грозовых очагов и количество разрядов, зарегистрированных за последний час (отмечены точкой) и за последнюю минуту (отмечены крестиком). Так же на мониторе представлен график количества разрядов молний за последний час.

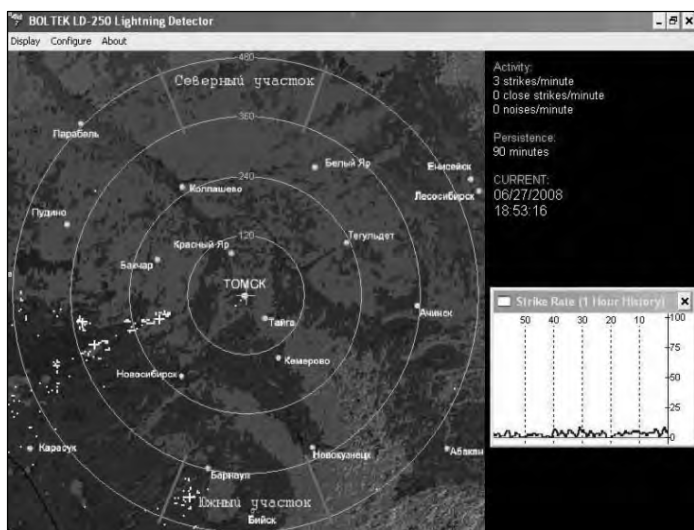


Рис. 1. Изображение на экране монитора, иллюстрирующее пространственное и временное распределение разрядов молнии в радиусе 480 км от г. Томска за последний час регистрации.

зафиксирована соответствующая синоптическая ситуация и грозы. Ложных срабатываний счетчиков во время отсутствия конвекции, необходимой для развития молнии, зарегистрировано не более 10%. Коэффициенты корреляции статистических рядов, полученных от двух разных грозорегистраторов (Boltek LD-250 и Storm Tracker) высоки и значимы с вероятностью не менее 99%. Временное распределение количества разрядов молнии, полученное на основе данных грозопеленгатора, было рассмотрено для двух участков исследуемой территории: северного и южного, для того, чтобы

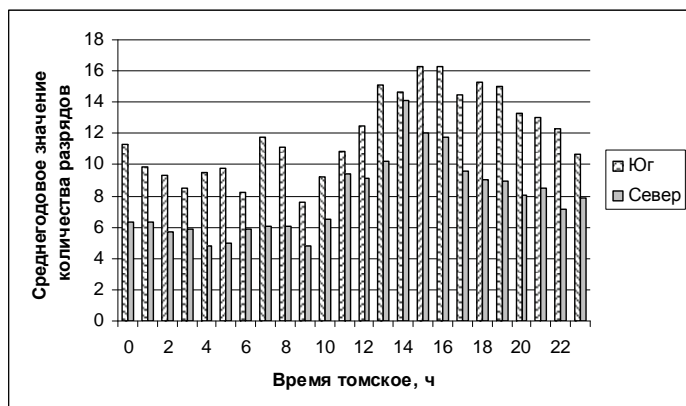


Рис. 2. Суточный ход количества разрядов молнии.

подтвердить или опровергнуть предположение о различии времени наступления максимумов суточного распределения количества разрядов молнии в зависимости от широты. Северный участок включает в себя часть сектора между радиусами с направлениями 340 и 20° (0° – направление на север) на удалении 360-480 км, южный участок – часть сектора между радиусами с направлениями 160 и 200° на удалении 360-480 км (рис. 1). Расстояние между двумя рассматриваемыми участками 720 км, площадь каждого из них около 35000 км². Для северного участка наступление максимума количества разрядов молнии приходится на 14 часов местного времени, а для южного – наступление максимума наступает с запазданием на 1-2 часа (приходится на 15-16 часов местного времени), но высокие значения количества разрядов молнии наблюдаются с 13 до 19 часов местного времени (рис. 2). Количество молний, зарегистрированных в этот период, превышает их количество в ночное и утреннее время, что связано с развитием мощной конвекции в атмосфере именно в послеполуденные часы.

Программное обеспечение регистраторов позволяет определять количество молний в заданном секторе и на любом удалении от центра в пределах радиуса действия счетчиков и времени их регистрации. Результаты регистрации молний позволяют выделить мезомасштабные грозовые кластеры и определить их осредненные за весь период наблюдения параметры: длительность существования, плотность молниевых разрядов (число разрядов молнии в единицу времени на единицу площади), скорость перемещения и преимущественные направления смещения грозовых очагов [3]. В результате анализа результатов пеленгации получено, что разряд молнии регистрируется в атмосфере исследуемого региона при благоприятствующих синоптических ситуациях, при наличии хорошо развитой конвекции, а метеорологическими станциями, расположенными внутри радиуса наблюдений, в это время

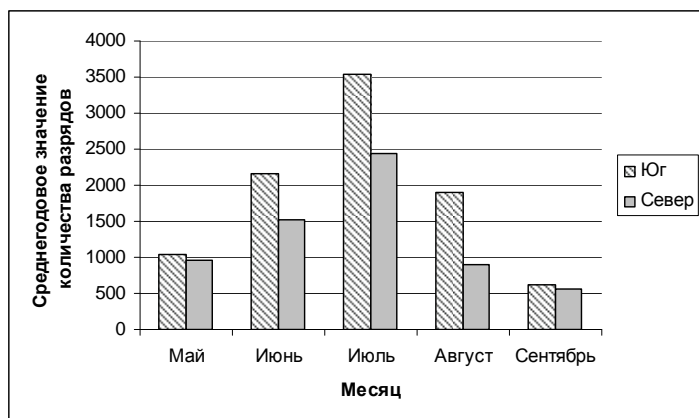


Рис. 3. Сезонный ход количества разрядов молнии.

В сезонном ходе, в соответствии с усилением конвективного потенциала атмосферы, максимальное количество атмосфериков, обусловленных разрядами молнии, отмечается в июле (рис. 3). Количество разрядов молнии для южного участка больше, чем для северного (рис. 2, 3), что не противоречит общей картине пространственного распределения разрядов молнии. Пространственное распределение средних значений числа разрядов внутри радиуса действия грозорегистраторов неравномерно и изменяется от 0,1 до 40 разрядов на квадратный километр за год, т.е. за грозовой сезон (май-сентябрь). Отчетливо выделяются два очага повышенной плотности разрядов молний.

Первый очаг располагается восточнее г. Томск в направлении на север Кемеровской области с максимальными значениями количества разрядов около 20 разр./км² в год. Второй очаг высоких значений плотности разрядов молнии в землю находится западнее г. Томск (Бакcharский район) и занимает большую площадь по сравнению с первым очагом, но имеет меньшие значения плотности разрядов молний (около 15-20 разр./км² в год).

Сравнивая информацию о молниях над Западной Сибирью, полученную от других источников, мы смогли убедиться в существовании мезомасштабной неоднородности любой из характеристик грозовой активности: среднего числа дней с грозой, средней продолжительности гроз [1, 2] плотности разрядов молнии. На территории Томской области и в ее окрестностях, есть районы, где плотность разрядов молнии может превышать ее средние значения в 3-5 раз. Использование таких карт при проектировании молниезащитных мероприятий позволяет уменьшить аварийность линий электропередачи, систем связи, и других хозяйственных объектов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (грант 11-05-98009-р_сибирь_a).

Литература

1. Горбатенко В.П., Дульзон А.А., Результаты исследования грозовой активности над территорией Томской области // Известия ТПУ. 2006. №2. С. 94-98.
2. Горбатенко В.П., Дульзон А.А., Решетько М.В. Пространственные и временные вариации грозовой активности над Томской областью // Метеорология и гидрология. 1999. № 12. С. 21-28., 1991, с. 35-39.
3. Муллаяров В.А., Торопов А.А., Козлов В.И., Каримов Р.Р. Особенности пространственного распределения положительных грозовых разрядов на востоке Сибири // Метеорология и гидрология. 2009. № 6. С. 47-55.

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОНВЕКЦИИ НАД РАВНИНОЙ И ГОРАМИ В ДНИ С ГРОЗОЙ

Д.А. Константинова¹, В.П. Горбатенко², Т.В. Ершова³

1 - Томский политехнический университет, г.Томск, Россия

2 - Томский государственный университет, г.Томск, Россия

3 - Томский государственный педагогический университет, г.Томск, Россия
da_konstantinova@mail.ru

Даже небольшие возвышения подстилающей поверхности приводят к усилению конвекции за счёт вынужденного подъема. Горы создают особенно сложные условия для развития конвекции и почти всегда увеличивают ее повторяемость и интенсивность, а значит и число опасных конвективных явлений над горами значительно больше.

Цель данной работы – сравнить характеристики атмосферы перспективные для использования в альтернативных прогнозах грозы над равнинной и горной территориями. В качестве равнинной территории рассматривалась юго-восточная часть Западной Сибири, а в качестве горной территории – Алтай.

Анализируются индексы, рассчитываемые по данным аэрологического зондирования станций Новосибирск и Altay (станция расположена на территории КНР вблизи границы с Республикой Алтай) в сроки 00 и 12 часов всемирного скоординированного времени (BCV). Состояние атмосферы анализировалось за три летних месяца в период 1996-2005 гг.

Индексы LI, SI, K и TOTL широко используются в альтернативных прогнозах гроз в современных прогностических моделях WRF, MM5 и др. [2, 3, 4]. Значения индексов характеризуют стратификацию температуры и влажности воздуха в слое до 5,5 км. В первую очередь это индексы, характеризующие устойчивость атмосферы как Showalter index (SI), Lifted index (LI). Вторую группу индексов представляют индексы, в которых кроме стратификации температуры, присутствуют характеристики влажности: K индекс и TOTL индекс. Предварительно рассчитываются пороговые значения индексов, характеризующие атмосферу по степени развития конвекции, и, следовательно, вероятности образования того или иного конвективного явления.

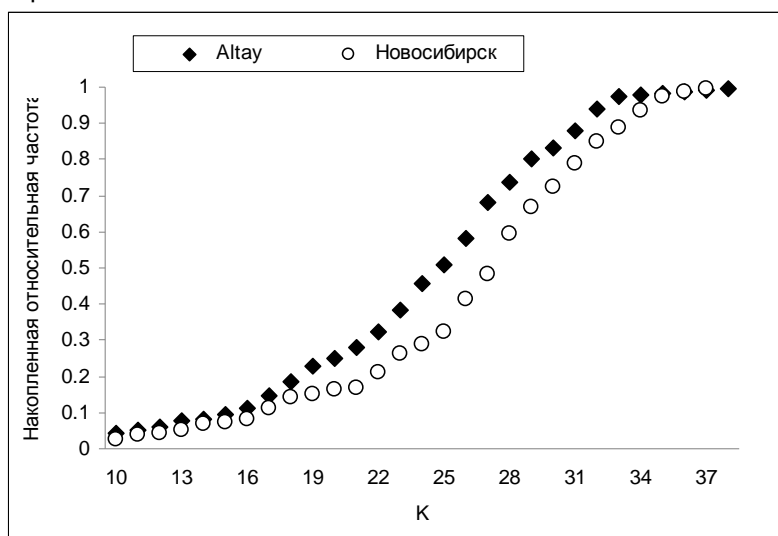


Рис. 1. Кумулятивные кривые значений индекса K в дни с грозой для двух станций.

Для ряда равнинных территорий юго-востока Западной Сибири пределы изменчивости индексов, характеризующие конвективный потенциал атмосферы определены [1], поэтому особый интерес представляют аналогичные исследования для горной территории. На рисунке 1 представлены интегральные функции распределения индекса K при грозах, зарегистрированных над равнинной территорией юго-восточной части Западной Сибири и над горной территорией Алтая. Значения индексов неустойчивости атмосферы в первом случае рассчитаны по данным аэрологической станции Новосибирск, во втором по данным станции Altay. Разница по абсолютной высоте между

рассматриваемыми станциями составляет около 600 метров.

В результате обработки данных были сделаны следующие выводы. Во-первых, роль орографии (вынужденного подъема воздуха) отчетливо проявляется при сравнении значений индексов LI. Разница в температуре окружающей среды и поднимающейся частицы (в слое от 0,5 до 5,5 км) над Алтаем может быть на 1-2° меньше, чем над Западной Сибирью, при одних и тех же значениях интегральной вероятности события (рис. 2), что не противоречит картине пространственного распределения гроз, поскольку меньшие значения индекса LI соответствуют большей неустойчивости атмосферы.

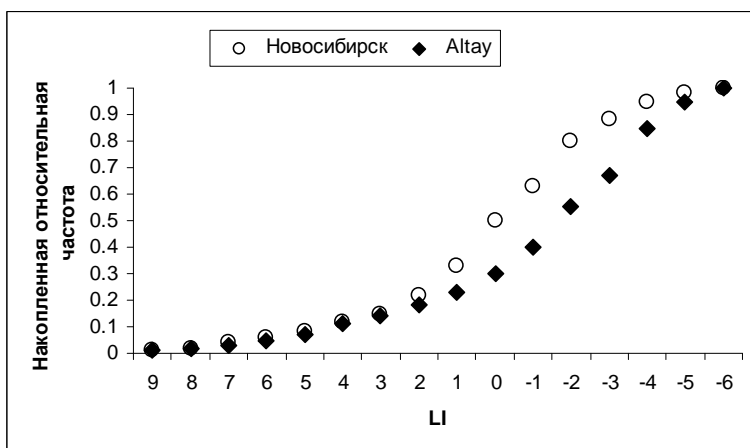


Рис. 2. Кумулятивные кривые значений индекса LI в дни с грозой для двух станций.

Во-вторых, для индекса SI, описывающего разницу температур поднимающейся частицы и окружающей среды в слое от 1,5 до 5,5 км, пороговые значения величин над горной и равнинной территориями практически не отличаются. Следовательно, и вероятность грозы над этими территориями с помощью индекса SI определяется с меньшей точностью. Кроме того, можно сделать вывод, что орография Алтая усиливает конвекцию только до высоты границы приземного слоя, выше это влияние практически не заметно. В-третьих, по сравнению с равнинной частью над горным Алтаем грозы образуются при меньших значениях индекса K,

характеризующего не только температуру слоя атмосферы от 1,5 до 5,5 км, но и влажностные характеристики слоя от 1,5 до 3 км. Чем больше дефицит точки росы в этом слое, тем больше значение индекса К, возможно, влияние влажности компенсируется вынужденным подъемом. Также стоит учитывать различие по широте между станциями, которое составляет около 780 км.

В-четвертых, значения индексов TOTL различаются не столь значительно, есть разница только в области высоких значений. Тем не менее, над горами грозы развиваются при меньших значениях индекса TOTL, характеризующего температуру и влажность слоя атмосферы от 1,5 до 5,5 км.

В целом замечено, что наиболее существенные различия в состоянии атмосферы наблюдаются в слое от поверхности земли до 3 км. Этот слой характеризуют индексы LI и К.

Представленные результаты работы могут быть использованы в альтернативных прогнозах грозы над исследуемыми территориями, в том числе при анализе результатов зондирования атмосферы получаемых с помощью спектрорадиометра MODIS, установленного на космических платформах EOS AM-1 (Terra) и EOS PM-1 (Aqua) [5].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (грант 11-05-98009-р_сибирь_а).

Литература

1. Горбатенко В.П., Константинова Д.А., Золотухина О.И., Тунаев Е.Л. Термодинамические условия формирования мезомасштабной конвекции в атмосфере западной Сибири// Известия ВУЗов. Физика, т.-54.№ 11/3, с.148-155.
2. Andersson T., Andersson M., Jacobsson C., Nilsson S., Thermodynamic indices for forecasting thunderstorms in southern Sweden, Meteorol. Mag., 116, P. 141-146, 1989.
3. Kunz M. The skill of convective parameters and indices to predict isolated and severe thunderstorms // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 7, 327-342.
4. Schulz P. Relationships of several stability indices to convective weather events in northeast Colorado, Wea. Forecasting, 4, P. 73-80, 1989.
5. http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/MOD07_L2/index.html

ХАРАКТЕРИСТИКА КОНВЕКТИВНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ДНИ С ГРОЗОЙ

Д.А. Константинова¹, В.П. Горбатенко², Т.В. Ершова³

1 - Томский политехнический университет, Томск, Россия

2 - Томский государственный университет, Томск, Россия

3 - Томский государственный педагогический университет, Томск, Россия
da_konstantinova@mail.ru

Аэрологическое зондирование позволяет исследовать конвективный слой в атмосфере по ряду признаков: по стратификации температуры, по влагосодержанию слоев атмосферы, по ее энергетическому потенциалу и по резким изменениям характеристик ветра с высотой. Кроме того, разработаны комплексные характеристики, описывающие несколько параметров в разных слоях атмосферы или на разных уровнях. Для разных регионов перспективными для описания неустойчивого слоя атмосферы и оценки развития опасных конвективных явлений могут быть разные характеристики.

Цель данной работы – сравнение характеристик конвективного слоя атмосферы Западной Сибири в дни с зарегистрированной грозой. Определение временных (в отдельные месяцы грозового сезона) и пространственных различий ряда характеристик конвективного слоя атмосферы при грозах. Такие исследования актуальны для развития спутниковых наблюдений за состоянием атмосферы и для параметризации конвекции в мезомасштабных моделях, позволяющих прогнозировать ее динамику [5]. Такие исследования актуальны для использования спутниковых данных, с целью уточнения положения грозовых очагов, и для параметризации конвекции в мезомасштабных моделях, позволяющих прогнозировать ее динамику.

Использованы данные аэрологического зондирования атмосферы станций Новосибирск, Барнаул и Колпашево в период 2006-2010 гг. Поскольку термодинамические характеристики атмосферы региона в разные месяцы различаются существенно [1], ее состояние в дни с грозами для каждого месяца изучалось отдельно. Для каждого дня проанализированы значения следующих характеристик состояния атмосферы: индексы К, TOTL, SWEAT, CINS, CAPE, LCLP, LCLT [3, 4, 6].

Индекс К описывает температурно-влажностное состояние атмосферы в слое 850-700 гПа, °С. К оценивает возможность возникновения конвекции, основанную на вертикальном градиенте температуры и вертикальной протяженности слоя наибольшего влагосодержания, рассчитывается по формуле (1).

$$K=(T_{850}-T_{500})+TD_{850}-(T_{700}-TD_{700}), (1)$$

Где: T_{500} , T_{700} и T_{850} – значения температур на уровнях 500, 700 и 850 гПа, °С, TD_{700} , TD_{850} – значения температур точки росы, на уровнях 700 и 850 гПа, °С.

Индекс TOTL представляет собой комплексную характеристику статической неустойчивости и влажности на уровне 850 гПа, °С, оценивается по формуле (2).

$$TOTL=(T_{850}-T_{500})+(TD_{850}-T_{500}). (2)$$

Индекс SWEAT объединяет кинематическую и термодинамическую информацию о состоянии атмосферы и включает в себя характеристики сдвига ветра, рассчитывается по формуле (3).

$$SWEAT=12 \cdot TD_{850}+20 \cdot (TOTL-49)+2 \cdot SKT_{850} +SKT_{500}+SHEAR, (3)$$

Где: SKT_{850} и SKT_{500} – скорости ветра в узлах на уровнях 850 и 500 гПа; SHEAR – сдвиг ветра между уровнями 500 и 850 гПа.

Индекс CINS – энергия задерживающего слоя, Дж/кг, оценивается по формуле (4).

$$CINS = g \cdot \int_{ML}^{LFCT} \frac{T_p - T_e}{T_e} \cdot dz, (4)$$

Где: T_p – температура частицы, поднимающейся с уровня 500 метров над земной поверхностью до уровня конденсации сухоадиабатически, выше уровня конденсации влажноадиабатически, °С; T_e – температура окружающей среды, °С; LFCT – уровень свободной конвекции, гПа; ML – высота слоя перемешивания, гПа; g – ускорение свободного падения, m/c^2 ; dz – толщина слоя между уровнями LFCT и ML, гПа.

Индекс LFCT – высота нижней границы конвективного слоя, гПа. Индекс EQLV – высота выравнивания температур, гПа, т.е. высота верхней границы, до которой развивается конвекция, когда над исследуемой территорией было зарегистрировано наличие грозы. Индекс LCLP – давление на уровне конденсации, гПа. Индекс LCLT – температура на уровне конденсации, °К.

Проведен статистический анализ значений характеристик неустойчивости атмосферы и оценка возможности их использования для составления альтернативных прогнозов развития гроз над юго-восточной территорией Западной Сибири. Были сделаны следующие выводы:

- Индексу CINS в диапазоне $-50 \div 0$ Дж/кг соответствует слабая устойчивость атмосферы [1], однако наличие задерживающего слоя в дни с грозой наблюдается в два раза чаще, чем его отсутствие, исключение составляет июнь месяц.
- Высота верхней границы конвекции в отдельные дни достигала высот 10-15 км, хотя средние значения высоты составляли в разные месяцы 6-8 км. Причем в районе Барнаула высота верхней границы неустойчивого слоя, несколько выше, чем в районе Новосибирска, а самая низкая, как и ожидалось, в северном районе над станцией Колпашево.
- Высота уровня конденсации намного больше зависит от географического положения станции и от месяца, в котором регистрировалась гроза. Наименьшая высота уровня конденсации в районе Колпашево (чуть более 1000 м), наибольшая – в районе Барнаула (иногда достигает высоты 1500 м).
- Значения температуры воздуха на уровне конденсации при грозах в рамках исследуемой территории практически не меняются и составляют в июне и августе около 281 °К, в июле 283-285 °К (табл. 1).
- Высота уровня конденсации при грозах на севере расположена чуть ниже 1,5 км (870 гПа), к югу поднимается чуть выше, 820-830 гПа (табл. 1).
- Определены пределы изменчивости индексов K, TOTL, SWEAT несколько различающиеся в разные месяцы грозового сезона и над разными частями исследуемой территории. В целом состояние атмосферы при наличии гроз на исследуемой территории по данным индексам оценивается как слабо неустойчивое [2]. Следует отметить, широтное распределение значений индексов, увеличение с севера на юг, что, вероятно, так же связано с увеличением высоты станций над уровнем моря (табл. 1).

Таблица 1. Средние значения индексов для трех станций в дни с грозой в срок 12 часов ВСВ

Станция	Месяц	SWEAT	CINS	TOTL	K	EQLV	LFCT	LCLT	LCLP
<u>Колпашево</u> h=75 м φ=58,31° λ=82,95°	июнь	131	-50	47	24	507	786	281	867
	июль	141	-32	46	26	390	812	285	867
	август	118	-16	46	25	491	849	282	875
<u>Новосибирск</u> h=143 м φ=54,96° λ=82,95°	июнь	145	-25	48	25	483	773	281	822
	июль	157	-46	54	28	371	771	284	829
	август	136	-31	47	26	446	786	281	844
<u>Барнаул</u> h=159 м φ=53,35 λ=83,81	июнь	166	-53	48	27	430	762	281	833
	июль	142	-61	47	27	341	743	283	819
	август	149	-39	47	26	425	758	281	823

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (грант 11-05-98009-р_сибирь_а).

Литература

1. Горбатенко В.П., Константинова Д.А. Конвекция в атмосфере над юго-востоком Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана, 2009. – №1, т. 22, С. 17-21.
2. Горбатенко В.П., Константинова Д.А., Золотухина О.И., Тунаев Е.Л. Термодинамические условия формирования мезомасштабной конвекции в атмосфере западной Сибири// Известия ВУЗов. Физика, т.-54.№ 11/3, с.148-155.
3. Andersson, T. A. M. J. C. N. S.: Thermodynamic indices for forecasting thunderstorms in southern Sweden, Meteorol. Mag., 116, P. 141-146, 1989.
4. Johns R.H., Doswell C.A.: Severe local storms forecasting. Wea. Forecasting, 11 – 1992. – P. 558-612.
5. Kunz M. The skill of convective parameters and indices to predict isolated and severe thunderstorms // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 7, 2007, 327-342.
6. Schulz, P.: Relationships of several stability indices to convective weather events in northeast Colorado, Wea. Forecasting, 4, P. 73-80, 1989.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ САЛЬТАЦИИ

В.М. Копейкин, Г.И. Горчаков, А.В. Карпов, А.Б. Колесникова
 Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва
 kopeikin@ifaran.ru

В августе 2005 г. на песчаной опустыненной территории в Калмыкии вблизи пос. Комсомольский впервые были выполнены измерения электрических токов сальтации [1]. В последующие годы измерения токов сальтации проводились в Астраханской области вблизи с. Хошеутово (2006 г.), на территории заказника «Пески Берли» (2007 – 2009 гг.) и вблизи р. Волги (2010 – 2011 гг.). Были выявлены различные режимы флуктуаций электрических токов сальтации. Пример результатов измерений флуктуаций электрических токов сальтации на четырех уровнях в приповерхностном слое атмосферы представлен на рис. 1. Как правило, наблюдаются всплесковые режимы флуктуаций токов сальтации. Проанализированы статистические связи флуктуаций электрических токов с флуктуациями суммарной концентрации сальтирующих песчинок и с турбулентными пульсациями скорости ветра в приземном слое атмосферы [2, 3]. Получены оценки пороговой скорости ветра для генерации электрических токов сальтации.

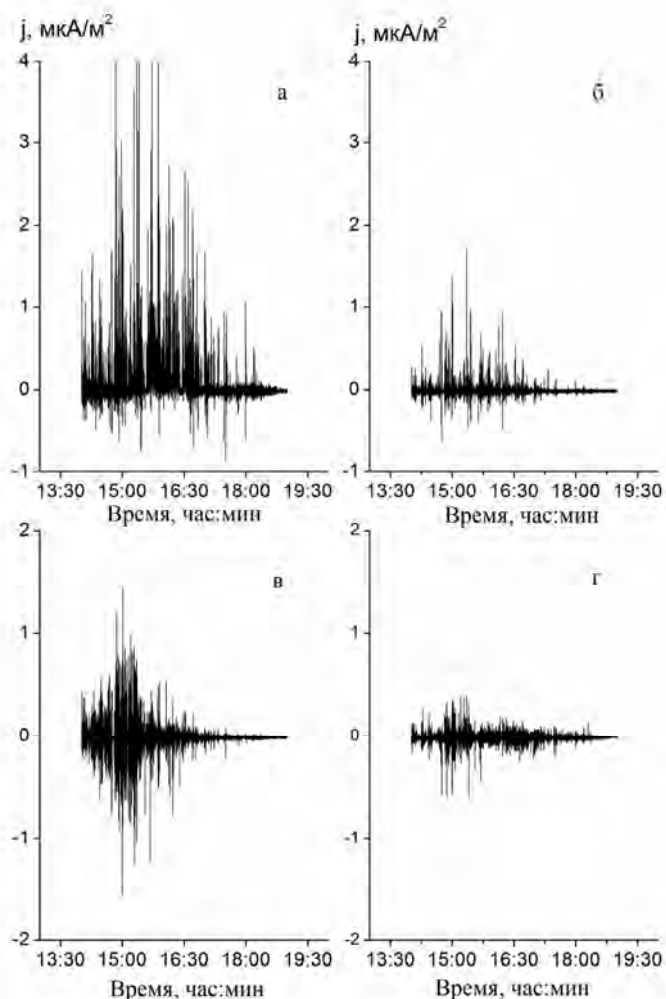


Рис. 1. Флуктуации плотности электрического тока сальтации на высотах 3 см (а), 5 см (б), 22 см (в) и 33 см (г), поданным измерений 28.08.2008 на территории заказника «Пески Берли» (Харабалинский район Астраханской области).

Были рассчитаны статистические характеристики вариаций электрических токов сальтации, включая средние значения, стандартные отклонения, параметры асимметрии и эксцесса [4]. В табл. 1 приведены примеры результатов измерений средних значений плотности электрического тока сальтации, а также максимальных и минимальных значений указанной плотности. При средних значениях тока менее 1 мкА/м² наблюдаются как положительные, так и отрицательные всплески тока примерно до 8 – 10 мкА/м². В этих условиях возникают серьезные трудности при оценке удельного заряда сальтирующих песчинок [5]. Об относительном вкладе положительных и отрицательных электрических токов в суммарный заряд собираемых в ловушку Фарадея сальтирующих песчинок [5] можно судить по эмпирическим функциям распределения плотности электрического тока сальтации, представленным на рис. 2. Нетрудно видеть, что на высоте 3 см (рис. 2а) вклад положительных и отрицательных токов сопоставим, а на высоте 5 см преобладает положительный ток сальтации.

Детальные исследования электрических токов сальтации позволят уточнить существующие представления об электрических процессах в ветропесчаном потоке на опустыненных территориях.

Табл. 1. Параметры токов сальтации по данным измерений на песчаной территории вблизи р. Волги в 2011 г.

Дата	Время	h, см	<j>	j _{max}	j _{min}
			мкА/м ²		
22.08.11	13.17 – 20.44	5	0.007	1.22	-1.83
23.08.11	9.38 – 13.27	5	0.153	6.65	-2.71
23.08.11	14.06 – 16.00	3	0.072	6.95	-4.89
		5	0.385	6.88	-3.34

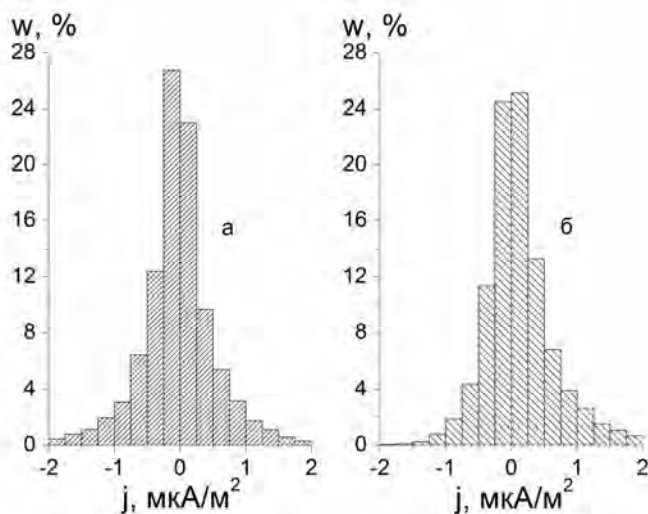


Рис. 2. Эмпирические функции распределения плотности электрического тока сальтации на высотах 3 см (а) и 5 см (б) по данным измерений 23.08.2011 на песчаной территории вблизи р. Волги (Астраханская область).

Работа частично поддержана РФФИ (проект № 10-05-00280).

Литература

1. Горчаков Г.И., Ермаков В.И., Копейкин В.М., Исаков А.А., Карпов А.В., Ульяненко А.В. Электрические токи сальтации в ветропесчаном потоке // Доклады АН. 2006. Т. 410. № 2. С. 259 – 262.
2. Горчаков Г.И., Титов А.А., Бунтов Д.В. Параметры нижнего слоя сальтации на опустыненной территории // Доклады АН. 2009. Т. 424. № 1. С. 102 – 106.
3. Горчаков Г.И., Бунтов Д.В. Флуктуации концентраций сальтирующих песчинок на опустыненных территориях // Естественные и антропогенные аэрозоли. VII. Санкт – Петербург: СПбГУ, С. 38 – 43.
4. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. Санкт – Петербург: РГМУ, 2008. 408 с.
5. Schmidt D.S., Schmidt R.A., Dent Y.D. Electrostatic force on saltating sand // J. Geophys. Res. 1998. V. 103, No D8. P. 8997 -9007.

МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРООБМЕНА НАГРЕТОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЫ В АТМОСФЕРЕ

Н.Х. Копыт, К.И. Семенов
 ОНУ им. И.И. Мечникова, Одесса, Украина
 nik5165@rambler.ru

Падение метеоритов (железных, железо-каменных и др.) в атмосфере Земли, сопровождается их диспергированием. Существуют методы защиты от радиолокационного обнаружения летательных аппаратов военного назначения, когда вблизи них искусственно образуют облако эмитирующих электроны металлических частиц. Использование металлизированных топлив приводит к появлению недогоревших нагретых частиц металлов (НЧ). Сварочные процессы также приводят к образованию таких частиц. Познание и совершенствование этих, и других аналогичных процессов, приводящих к образованию дисперсной нагретой фракции металла, требует решения ряда научных задач, одна из которых, интенсивно изучаемая в последнее время, связана с электрообменом.

Электрический заряд НЧ, образуется, в частности, как в результате термоэмиссии с самой частицы, так и термоэмиссии с окружающей её конденсированной дисперсной фазы (к-фазы), возникающей вследствие испарения и конденсации вещества частицы. Как показывают экспериментальные исследования [1, 2], к-фаза образуется вблизи нагретых частиц металлов, и состоит из мелкодисперсных частиц оксидов этих металлов размером 10-1000 Å. Исследование таких систем ведется интенсивно, тем не менее, достаточно полного представления об электрофизических процессах, протекающих в них нет.

Процесс термоэмиссионной зарядки сферической металлической частицы идет при высокой температуре НЧ T_1 . На некотором расстоянии от поверхности НЧ возникает к-фаза. При испарении металла НЧ, к-фаза может образовываться на молекулах окиси (закиси) металла. Максимальную температуру устойчивого состояния металлов обозначим как T_2 . Оксид соответствующего металла существует при температуре $T_2 \geq T$. При температуре $T > T_2$ оксид распадается. Если температура испаряющейся частицы $T_1 > T_2$, то к-фаза образуется на некотором расстоянии от её поверхности. Для нахождения этого расстояния использовалась модель точечного источника с заданной мощностью тепловыделения, движущегося с постоянной скоростью v .

В работах [1, 2] рассмотрен процесс термоионизации частиц, когда $kT_1 \gg e\phi$, где ϕ – потенциал частицы. Экспериментальные данные термоэмиссионной зарядки сравнительно крупных НЧ меди $r = 117$ мкм, тантала $r = 185$ мкм, представленные в работах [3, 4], свидетельствуют что при температуре НЧ порядка 10^3 К их заряд составляет $Q \sim 10^{-13}$ Кл. При таких условиях выполняется соотношение $e\phi > kT_1$, где $\phi = Q/4\pi\epsilon_0 r$. Это позволяет считать электростатическое поле НЧ в процессе ее термоэмиссионной зарядки доминирующим.

Уравнение термоэмиссионной зарядки сферической НЧ радиусом r , окруженной нанодисперсной к-фазой в области ее отрицательного заряда имеет вид

$$\frac{dQ}{dt} = \pi r^2 n_e \bar{v}_e \left[1 - \frac{e l_1}{4\pi k T_2 \epsilon_0 r^2} \left(Q^{1/2} - \frac{r e^{1/2}}{2 l_1} \right)^2 \right] - 4\pi r^2 A T_1^2 \exp\left(\frac{\Delta A_1 - A_1}{k T_1}\right) \quad (1)$$

Где: e – заряд электрона; k – постоянная Больцмана; ϵ_0 – электрическая постоянная; Q – заряд НЧ; A – постоянная Ричардсона Дешмана, $\bar{v}_e = (8kT_2 / \pi m_e)^{1/2}$ – средняя скорость теплового движения электронов, $l_1 = (l_0 / T_0) T_1$ – ширина кинетической зоны НЧ, l_0 – ширина кинетической зоны при $T_0 = 300$ К, n_e – концентрация электронов на границе образования к-фазы, A_1 – работа выхода электрона с поверхности НЧ. Первый член в правой части (1) представляет собой поток заряда электронов из к-фазы на поверхность НЧ. Выражение в квадратных скобках определяет торможение потока электронов из к-фазы к поверхности НЧ внутри кинетической зоны НЧ. Торможение электронов обусловлено наличием потенциального барьера внутри кинетической зоны НЧ, несущей отрицательный заряд. Второй член соответственно поток электронов с поверхности НЧ. Здесь Уменьшение работы выхода электрона ΔA_1 с поверхности металлической частицы, несущей отрицательный заряд, обусловлена эффектом Шоттки [3]. Уравнение зарядового равновесия НЧ с окружающей её нанодисперсной к-фазой можно получить из (1), полагая $dQ/dt = 0$.

Для отрицательного заряда НЧ, величина которого удовлетворяет неравенству $0 \leq Q \leq e r^2 / 4 l_1^2$ потенциальный барьер внутри кинетической зоны отсутствует [4] и

$$Q = \left[\frac{4\pi \epsilon_0 r k T_1}{e^{3/2}} \ln \frac{n_e \bar{v}_e \exp(A_1 / k T_1)}{4 A T_1} \right]^2$$

После того, как температура НЧ T_1 опустится до значения T_2 , к-фаза образуется непосредственно у поверхности НЧ и вместо T_2 будет фигурировать T_1 .

Если работа выхода электрона с поверхности НЧ A_1 меньше работы выхода электрона с окружающей ее к-фазы A_2 , НЧ будет заряжаться положительно, при этом

$$Q = \frac{4\pi \epsilon_0 r k T_1}{e} \ln \frac{4 A T_1^2}{n_e e v_e} - \frac{4\pi \epsilon_0 r A_1}{e}$$

Зависимость концентрации частиц к-фазы N_k у поверхности НЧ от ее температуры T_1 в интервале $T_{кип} \geq T_1 \geq T_p$ найдено с использованием уравнения Клапейрона-Клаузиуса

$$N_k = (P_a / k Z N T_1) \exp\{(L/R)(1/T_k - 1/T_1)\}$$

При температуре частицы $T_1 < T_p$ аналогичная зависимость имеет вид

$$N_k = (P_p / k Z N T_1) \exp\{[(L + \Delta L)/R](1/T_p - 1/T_1)\}$$

Здесь T_p и T_k – соответственно температура плавления и кипения металла, P_a и P_p – соответственно нормальное атмосферное давление и давление насыщенных паров металла при температуре плавления, L и ΔL – соответственно молярная теплота парообразования при температуре кипения и молярная теплота плавления металла, R – универсальная газовая постоянная, Z – количество атомов металла в одной молекуле оксида металла. Соотношение между концентрациями заряженных и нейтральных частиц в к-фазе определяется уравнением Саха.

Время достижения положительного заряда Q НЧ определяется выражением

$$t = \frac{4kT_1 \varepsilon_0}{re^2 n_e v_e} \ln \frac{4AT_1^2 \exp\left(-\frac{A_1}{kT_1}\right) - en_e v_e}{4AT_1^2 \exp\left(-\frac{A_1}{kT_1}\right) - en_e v_e \exp\left(\frac{Qe}{4\pi kT_1 \varepsilon_0 r}\right)}$$

Зависимость концентрации электронов в к-фазе от температуры определяется выражением [4]

$$n_e = -[f(T)/2] + [f(T)^2/4 + f(T)n_k]^{1/2}.$$

$$\text{Здесь } f(T) = 2(2\pi m_e kT/h^2)^{3/2} \exp(-A_2/kT).$$

К причинам, обуславливающим неточность расчетов, необходимо отнести следующее: условный выбор среднего размера кластеров, составляющих к-фазу [5, 6], а также ширины кинетической зоны НЧ и сложный состав к-фазы.

Проведенные оценки показывают, что за время релаксации заряда для НЧ меди при $T_1 > 1400$ К и тантала при $T_1 > 2000$ К их температура практически не меняется. Это позволяет считать процесс термоэмиссионной зарядки НЧ в данных условиях [7] квазистационарным.

Литература

1. Lyalin L.A., Semenov K.I., Kalinchak V.V., Koput N.Kh. Thermoemission charging of metal particles surrounded with condensed disperse phase// Ukrainian journal of physics, 2005. V50.- P.157-161.
2. Semenov K.I., Lyalin L.A., Kalinchak V.V., Koput N.Kh. , Chernenko A.S. Experimental research of thermoemission charging of metal particles// Ukrainian journal of physics. 2008. №11. с. 1073 - 1079.
3. Шимони К. Физическая электроника. Пер. с нем.- М. Энергия. 1977.- 607 с.
4. Lyalin L.A., Semenov K.I., Kopyt N.KH. The electromass-exchange of the central warmed nucleus with a nanodisperse phase surrounding it. Dusty plasmas and applications. 3rd International Conference on the Physics of Dusty plasmas and applications. Proceedings. Odessa. Ukraine. 2010. P. 84-87.
5. Олейников М.А., Манкелевич Ю.А., Рахимова Т.В. Скорость коагуляции пылевых частиц в низкотемпературной плазме// Журнал технической физики. 2003 -№73, вып. 10 С. 51-60.
6. Смирнов Б.М. Кластерная плазма// УФН. 2000. Т. 170. №5. С. 495-534.
7. L.A. Lyalin, K.I. Semenov, A.K. Semenov, V.V. Kalinchak and N.KH. Kopyt The Temperature dependence of an equilibrium thermoemitting charge of a metallic particle surrounded with a nanodisperse condensed phase// Ukrainian journal of physics. 2011. №11. P.1295-1299.

РАЗРЯДЫ В СРЕДНЕЙ И ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЕ: ПОСЛЕДНИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И БУДУЩЕЕ ОПТИЧЕСКИХ И СПЕКТРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ НАБЛЮДЕНИЯ

А.Ю. Костинский

ОАО «Российская венчурная компания», Москва
kostinsky@gmail.com

Со времени детального обзора данной области на прошлой конференции в Нижнем Новгороде [1] прошло 5 лет. За это время важные результаты были получены с помощью основной методики измерений, связанной с высокоскоростными высокочувствительными камерами видимого диапазона, а также благодаря спектроскопии — наиболее быстро развивающейся области. Обе методики используются на наземных, баллонных и спутниковых системах базирования. Этим методикам наблюдения и их развитию посвящен данный обзор.

Наблюдения с помощью высокоскоростных камер высокого разрешения. Объемные разряды в средней и верхней атмосфере, достигающие в размерах десятков километров были впервые экспериментально зафиксированы в 1989 году Дж.Р. Винклером (J.R.Winckler) с помощью высокочувствительных скоростных монохромных видеокамер, с телескопическими объективами. В первые восемь лет изучение продолжалось данным методом с использованием всё более усовершенствованных монохромных, а позднее цветных видеокамер с более мощными объективами и более чувствительными и скоростными ПЗС-матрицами. И до сих пор наибольшее число физических параметров высотных разрядов получено с помощью видеокамер. По результатам данных наблюдений были выделено множество типов атмосферных разрядов, образовавших целый «зоопарк»: красные спрайты, джеты, гигантские джеты, эльфы, гало, феи, гномы, тролли. Они получили общее название – TLE (Transient luminous events). Сейчас терминология установилась и различными явлениями считаются: эльфы, спрайты, джеты, гигантские джеты и голубые стартеры. Специализированные объективы и наблюдения с борта самолётов позволили разрешить сложную внутреннюю структуру некоторых TLE, например, спрайтов. Оказалось, что в нижней мезосфере

свечение спрайтов неоднородно и распадается на каналы, похожие на лабораторные стримеры, получаемые при высоком напряжении на электродах. Также сложную структуру имеют и джеты. Эти измерения породили множество работ, которые переносили полученные в лабораториях методики и вычислительные методы на изучение TLE. Визуальными наземными методами были определены важные физические характеристики TLE: внешний вид, геометрические размеры, скорость изменений областей свечения в видимой области в вертикальном и горизонтальном направлении (вертикальное сечение), характерные времена появления TLE после разрядов молнии (совместно с данными систем грозопеленгации). С помощью космических систем при наблюдении в надир была определена динамика в горизонтальном направлении (горизонтальное сечение). Также космические методы позволили установить частоту появления различных TLE. Подавляющее число зафиксированных TLE [2] приходится на эльфы ~ 96%, спрайты и гало приблизительно по 3%, джеты же являются редкими событиями, тем более их сложно фиксировать данной методикой с приемлемой для статистики частотой из-за значительного расстояния, с которого ведутся эксперименты.

И теми и другими методами (при калибровке видеокамер), а также с помощью калиброванных фотометров и ФЭУ были оценены абсолютные значения излучения TLE в некоторых спектральных диапазонах.

Важные физические наблюдения над объектами, напоминающими лабораторные стримеры (структурные элементы спрайтов) были сделаны с помощью скоростных видеокамер. Удалось зафиксировать динамику свечения и оценить поток излучения в видимом диапазоне и скорость головки подобного «стримера» ($\sim 10^7$ м/с) диаметром в пределах 10-100 м [3]. Эти результаты имеют серьезное значение для физики газового разряда в целом. Здесь хотелось бы отметить большую роль в становлении экспериментальной науки о TLE недавно ушедшего от нас Д.Д. Сентмана (D. D. Sentman).

Использование приемных ПЗС-матриц высокоскоростных видеокамер с цветовым разрешением позволило получить первые представления о возможных спектрах излучения разрядов. В частности, спрайты получили название — «красные спрайты», джеты — «голубые джеты». Эти измерения активизировали интерес к подробному кинетическому анализу процессов в плазме TLE (с решением уравнения Больцмана) для расчёта интенсивностей и временных характеристик излучения молекул и молекулярных ионов азота, возбуждённых электронами, ускоренными в электрическом поле, возникающем после резкой нейтрализации заряда при ударе молнии. Из лабораторных экспериментов известно, что основной вклад в излучение при давлениях выше 1 Тора вносит вторая положительная система азота (2^+N_2), превышая на порядок или два излучение первой положительной системы (1^+N_2), которая начинает вносить серьезный вклад в излучении TLE при давлениях 0,1-0,01 Тора, характерных для верхней мезосферы. Это происходит, когда с высотой серьезно снижается тушение верхнего уровня V^3P_g электронной полосы (1^+N_2) Голубой цвет джетов, стартующих с верхней кромки грозового облака (относительно высокие давления) и красный цвет спрайтов (низкие давления), вполне вписывался в эту качественную картину. Однако, дальнейшее улучшение понимания физических процессов в TLE требовало перехода к экспериментам с помощью приборов высокого спектрального разрешения для наблюдения с поверхности земли, а также к использованию фотоэлектрических умножителей (ФЭУ) при наблюдении со спутников.

Основные спектры и полосы излучения TLE. Основной излучающей молекулой при процессах, происходящих в TLE является N_2 . Считается, что для анализа высотных TLE основная полоса излучения — первая положительная система азота: 1^+N_2 (другое обозначение — $N_2(1PG)$). Она заметно излучает в широком красном (560-620 нм, 640-700 нм), и ближнем ИК-диапазоне (700-800 нм, 830-910 нм). Характерное время излучения — 5-6 мкс, что позволяет ей проявляться только при низких давлениях верхней мезосферы (из-за быстрого тушения). Вторая положительная система азота 2^+N_2 ($2PG N_2$) излучает в УФ-диапазоне (300-400 нм). Малое характерное время излучения — 50 нс делает вторую положительную систему важным игроком на всех высотах (ключевым в тропосфере и стратосфере). Кроме того, основную роль для оценки физических параметров плазмы разрядов играет первая отрицательная система молекулярного иона азота $1^-N_2(1NG N_2)$, она излучает в фиолетовом диапазоне (391,4 нм, 427,8 нм), но из-за высокой энергии возбуждения излучательного уровня и наложения при невысоком разрешении на полосу 2^+N_2 её обычно довольно сложно зафиксировать в TLE. Кроме этих полос учитывается [2, 5] ещё запрещённая полоса Лаймана-Бёрджа-Хопфилда ($LBH N_2$), излучающая в дальнем УФ (180-225 нм) с большим характерным временем излучения ~ 150 мкс, что делает её обнаружение проблематичным. На наш взгляд, при корректном спектральном анализе необходимо обязательно учитывать γ -полосы NO (230-270 нм), чье время излучения составляет 200 нс, а также сильные линии атомов и ионов азота и кислорода, которые фиксируются при разряде молнии.

Спектральные наземные измерения без временного разрешения. Первые спектры спрайтов были сняты с наземных наблюдательных пунктов и самолётов без временного разрешения (в режиме накопления), но со значительным спектральным разрешением (для таких экспериментов) щелевых спектрографов (~ 1-3 нм), которое позволяет адекватно анализировать и идентифицировать принадлежность спектров к определённым излучательным переходам молекул и атомов. На рис.1

приведены характерные спектры с основными полосами $2^+N_2(N_22PG)$, $1^+N_2(N_21PG)$ и $1^-N_2(1NG N_2)$. Подобные наземные измерения с относительно небольших расстояний крайне важны для получения общей картины, но не позволяют значительно продвинуться в область понимания характера физических процессов, протекающих в разряде.

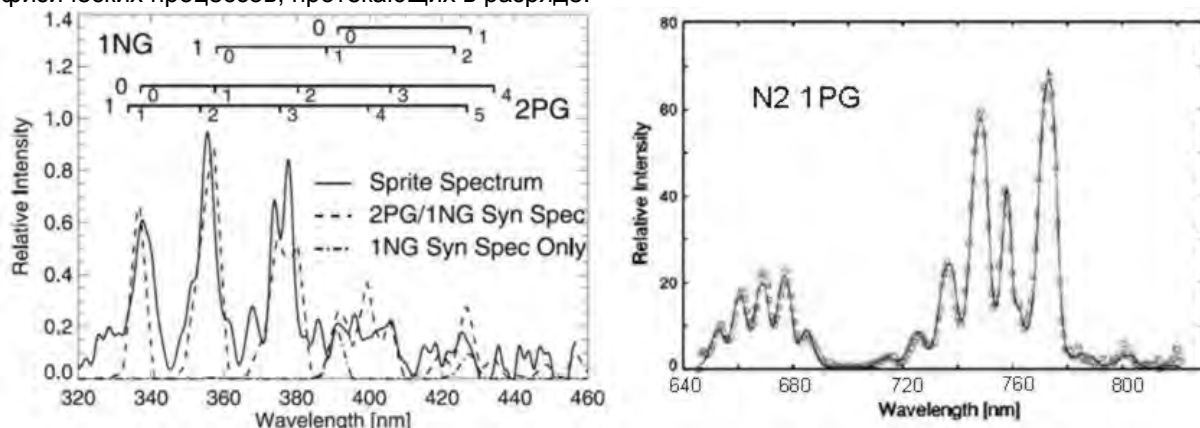


Рис.1 Полосы излучения азота. Слева: вторая положительная азота $N_2(2PG)$ и первая отрицательная молекулярного иона $N_2^+(1NG)$, справа: первая положительная азота $N_2(2PG)$

Первым недостатком наземных измерений является то, что трудно сравнивать относительные интенсивности излучений в различных диапазонах, т.к. УФ-излучение (300-400 нм) на один-два порядка сильнее поглощается в атмосфере при прохождении от TLE к прибору, чем в красном и ближнем ИК (650-1000 нм) [3], а крайне важный диапазон (200-300 нм) полностью поглощается озоновым слоем. При этом существует сильная зависимость от угла наблюдения даже на одной длине волны [3]. Такие спектральные измерения не в меньшей степени характеризуют трассу прохождения излучения и угол измерения, чем собственно излучаемые спектры. Вторым недостатком подобных измерений является отсутствие временного разрешения, что не позволяет использовать опыт лабораторных экспериментов и кинетического моделирования для извлечения параметров плазмы из спектров, например, из сравнения относительных интенсивностей спектральных полос или колебательных переходов внутри электронной полосы.

Спектральные измерения с временным разрешением с использованием космических аппаратов (КА).

Важным в спектральных исследованиях TLE был переход к изучению с помощью КА. Это наиболее продвинувшийся в исследовании TLE тайваньский прибор ISUAL, расположенный на спутнике FORMOSAT-2 и приборы «Татьяна» и «Татьяна 2», созданные в НИИЯФ МГУ. Характерная динамика свечения в шести спектральных каналах ISUAL приведена на рис.2. Спектральные диапазоны выделялись с помощью интерференционных фильтров в соответствии с представлениями авторов о том какие излучательные переходы молекул и атомов важны. Из-за слабости излучения, доходящего до орбиты КА, невозможно получить спектры одновременно с приемлемым спектральным и временным разрешением (даже с помощью ФЭУ). При наблюдении с КА приоритет отдается временному разрешению. Спектральные наблюдения с КА усложняются тем, что в объектив

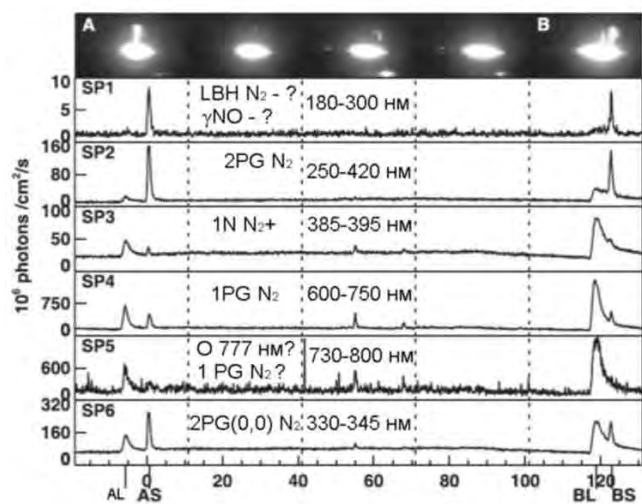


Рис.2 Динамика спектров в шести каналах ISUAL FORMOSAT 2. События AL, BL – молнии, AS, BS – спрайты

одновременно попадают, как свечения связанные с материнскими грозowymi разрядами, так и свечения TLE. Во многих случаях, но не всегда, их удается отделить один от другого, благодаря сдвигу во времени: TLE появляются позже. С помощью таких измерений была, по аналогии с лабораторными экспериментами, сделана попытка оценить приведённое электрическое поле в разряде - E/N , где E – напряженность электрического поля, N – концентрация нейтральных молекул [5]. Данная важная попытка определения физических параметров показывает, что даже шесть достаточно широких спектральных каналов с временным разрешением, позволяют сделать шаг вперед по сравнению с интегральными спектрами хорошего спектрального разрешения, но без временного.

С помощью исследовательской аппаратуры, размещенной на спутнике FORMOSAT2 были проведены спектральные измерения, имеющие в данный момент наибольшее значение для понимания физических процессов в TLE, но при планировании миссии не были, на наш взгляд, учтены электронные полосы излучения крайне важной для верхней атмосферы молекулы NO, а также излучение атомов и ионов азота и кислорода, которые могут быть наиболее интенсивными во время излучения джетов и гигантских джетов в нижней стратосфере, если в них серьезную роль играют лидеры молний стартующие с верхней кромки облаков. Это несколько снижает ценность полученных FORMOSAT2 данных из-за наложения возможных неучтенных излучательных переходов на те, что учитываются в модели при обработке эксперимента.

Перспективные космические проекты. В настоящее время готовятся несколько космических проектов, где будет уделено значительное внимание дальнейшему изучению с борта МКС, динамики развития TLE и их спектров с помощью большого числа многоанодных ФЭУ (несколько тысяч). Это российский проект по изучению Космических лучей предельно высоких энергий (КЛПВЭ, головная организация — НИИЯФ МГУ) и международный — JemEUSO (при участии НИИЯФ МГУ) [4]. Набор ФЭУ будет образовывать приемное устройство с матрицей (120-200 тыс. элементов), сравнимой по числу пикселей с быстрыми ПЗС-матрицами. Но матрица из элементов ФЭУ позволяет продвинуться на несколько порядков, как в область временного разрешения (1мкс-1 нс), так и чувствительности (3-5 фотонов).

В проекте КЛПВЭ кроме динамических характеристик TLE, будут измеряться и спектральные. Для этой цели предусмотрены 21 многоканальный (24 канала) спектральный прибор, расположенный в плоскости основного детектора. Спектры будут выделяться с помощью интерференционных фильтров, приемное устройство также использует многоанодные ФЭУ. Такое количество спектральных каналов позволяет, как надёжно отделить излучение TLE от излучения самого разряда молнии (лидер, обратный удар), так и получить возможность исследовать многие важнейшие особенности излучения TLE. Это позволит глубже понять физику разрядов и более обосновано классифицировать их, т.к. существует высокая вероятность, что, например, джеты также связаны с лидерами молнии. Важная роль более подробной спектральной информации также в том, что существует вероятность получить данные в пользу одного из предполагаемых механизмов пробоя и поддержания разряда: пробой электрическим полем или пробой на убегающих электронах, поддерживаемых электрическим полем.

Влияние M-компонента на динамику спрайтов. Важным результатом последних лет является установление связи между M-компонентами разряда молнии и физикой спрайтов и гало [6]. Удалось теоретически объяснить, почему спрайты появляются не прямо над грозовыми разрядами, а также показать, что M-компонента может стать причиной возникновения спрайтов и гало. Новые подходы к одновременному спектральному анализу многоканальными спектрометрами разрядов молнии и TLE могут развить это направление, т.к. позволяют надеяться на разделение свечения M-компоненты и TLE при наблюдении в надир с КА.

Спектральные измерения и конкуренция теоретических моделей пробоя и поддержания TLE.

Спектральные измерения с высоким временным разрешением и чувствительностью (благодаря датчикам на многоанодных ФЭУ) могут пролить свет на основные физические механизмы, ответственные за появление и поддержание TLE. При этом два развиваемых сейчас подхода (пробой и поддержание разряда электрическим полем или пробой на убегающих электронах, поддерживаемых электрическим полем) приводят к различным функциям распределения электронов по энергиям, что должно значительно сказаться на некоторых излучательных переходах молекул и атомов. При классическом электрическом пробое электроны «поднимаются вверх» по энергетической лестнице, теряя энергию на гораздо более низких колебательных и электронных уровнях по сравнению с пробоем на убегающих электронах, где энергичные электроны «сыплются сверху», имея возможность возбудить высокие уровни молекул, атомов и ионов. Чувствительные приборы с высоким временным разрешением могут позволить сделать вывод в пользу одной или другой теории. Не исключен и синтез двух подходов, где на разных стадиях, играют роль разные механизмы. Например, может реализовываться ситуация, когда при пробое играет существенную роль пробой на убегающих электронах, а поддержание разряда осуществляет электрическое поле с функцией распределения электронов по энергиям «забывшей» о начальной стадии пробоя.

Выводы:

- Для дальнейших спектральных измерений будет возрастать роль стратосферных баллонных и космических наблюдений, которые позволяют сократить сильное влияние поглощения в атмосфере на наиболее информативный УФ-диапазон
- Важен учёт при спектральных измерениях электронных полос NO.
- Необходимо также учитывать сильные спектральные линии атомов и ионов азота и кислорода для идентификации разрядных процессов в джетах и стартерах (где могут иметь место лидерные процессы).

- В ближайшее время для улучшения измерений различных спектральных полос будет происходить переход от ПЗС-матриц к спектрометрам, использующим мультианодные ФЭУ, что приведёт к значительному увеличению чувствительности и временного разрешения.
- Возрастает необходимость в более тщательном спектроскопическом лабораторном моделировании TLE, как в условиях сверхпробойного электрического поля, так и на убегающих электронах.
- При увеличении чувствительности ИК-матриц и уменьшении расстояния до TLE с помощью баллонных измерений, станут возможными ИК-измерения в диапазоне 1,5-5 мкм, как с помощью сверхчувствительных ИК-фото и видеокамер, так и ИК-спектроскопии, скорее всего, основанной на излучении NO, т.к. переходы основного колебательного состояния N_2 и O_2 – запрещены.

Работа подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках госконтрактов по мероприятию 5.2/1.8 и мероприятию 1.9 ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2007-2013 годы».

Литература

1. Мареев Е.А. Разряды в средней атмосфере. Труды VI Российской конференции по атмосферному электричеству. 2007, Нижний Новгород, С.22-25.
2. Chen, A.B., et al. (2008), Global distributions and occurrence rates of TLE \ J. Geophys. Res., 113.
3. Stenbaek-Nielsen, H. C., M. G. McHarg, T. Kanmae, and D. D. Sentman (2007), Observed emission rates in sprite streamer heads \ Geophys. Res. Lett., 34.
4. Труды конференции Thunderstorms and Elementary Particle Acceleration (TEPA 2012), Moscow, MSU, 2012.
5. Pasko, V. P. (2010), Recent advances in theory of transient luminous events \ J. Geophys. Res., 115
6. Yashunin, S. A., E. A. Mareev, and V. A. Rakov (2007), Are lightning M components capable of initiating sprites and sprite and halos \, J. Geophys. Res., 112

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГРОЗ В СУТКАХ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

Н.А. Кочеева, С.Ю. Кречетова
 ГАГУ
 nina_kocheewa@mail.ru

Цель работы состояла в установлении характера внутрисуточного распределения гроз на территории исследования.

В работе использовались данные 14 станций. Время начала гроз было приведено к местному времени. В качестве статистического критерия оценки использовался критерий Манна-Уитни. Для выявления характера распределения гроз в течение суток, они были разбиты на интервалы продолжительностью в 3 часа.

В ходе исследования были выявлены общие закономерности и особенности, характерные для каждой станции.

Наименьшее число гроз регистрируется в интервале от 0 до 9 часов. Это характерно для всей территории. После 9 часов начинается рост их числа. В разных районах различна длительность периода роста числа гроз. Установлено, что:

на всех станциях различия в количестве гроз в двух интервалах – 9-12 и 12-15 часов статистически незначимо;

в интервале 12-18 часов количество гроз максимально (однако оно существенно различается в разных районах республики).

Предыдущими исследованиями были установлены грозовые очаги территории исследования. В эту группу включены три гидрометеорологические станции (ГМС): Шебалино, Турочак и Онгудай. Внутри этой группы выделяется ГМС Шебалино. Здесь больше, чем в других территориях формируется утренних гроз – 8 гроз в интервале 9-12 ч. Это число соизмеримо с дневными максимумами (12-18 ч) на других станциях. Однако абсолютный максимум числа гроз на ГМС Шебалино приходится на интервал 12-15 часов. Таким образом, можно говорить о наиболее продолжительном максимуме грозовой активности, который имеет сложную траекторию временного хода в виде синусоиды.

На станции Турочак максимум грозовой активности также растянут во времени и включает два интервала - 15-18 и 18-21 час. Отличие от ГМС Шебалино состоит в большей временной плотности гроз в течение суток. Важная особенность проявляется в том, что вечерние (18-21 ч) грозы статистически значимо преобладают над утренними (9-12 ч) грозами, которые в свою очередь статистически не отличаются от ночных (21-24 ч).

Станция Онгудай характеризуется более четким выделением дневных гроз (12-15 ч.) и резким снижением их числа в другие интервалы суток.

Грозовые очаги отличаются в целом по характеру суточного хода гроз от остальных территорий.

На территории, которая была отнесена к категории средней грозовой активности, в суточном ее ходе выделяется интервал 15-18 часов максимальным числом гроз. На станции Чемал статистически значимый максимум приходится на интервал 15-18 часов. Остальные интервалы характеризуются ровным распределением гроз, различия, в числе которых статистически незначимы.

ГМС Усть-Улаган в суточном ходе отличается от других территорий этой категории большой продолжительностью грозового максимума 12-18 часов. На ГМС Турочак зафиксирована аналогичная ситуация. На этих станциях продолжительность каждой грозы в отдельные годы (с некоторой периодичностью) имеет временной ход аналогичный количественной характеристике.

На территории со средней грозовой активностью характер суточного хода проявления гроз в широтном направлении не меняется. В меридиональном направлении намечается тенденция снижения числа гроз в направлении с северо-запада на юго-восток. Это обуславливает увеличение продолжительности интервала с минимальным числом гроз.

Таким образом, статистически незначимые отличия в каждом трехчасовом интервале времени - 21-24, 0-3, 3-6, 6-9 позволяют сделать вывод о минимальной грозовой активности в ночное время (21-9 часов).

Представляет интерес Юго-Восточный Алтай – территория низкой грозовой активности. Малое число гроз не позволяет достоверно выявить различия в течение суток. Максимум приходится на 9-18 часов - Уландрык, 9-21 час – Бертек. Остальные станции фиксируют явный максимум в интервале 12-15 часов. На этой территории установлен наибольший разброс в суточном ходе проявления гроз.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РЕАЛИЗАЦИИ ИНДУКЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ

А.В. Кочин

*Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета, Долгопрудный
amarl@mail.ru*

Генерация электрических зарядов в электрически активных облаках происходит за счет реализации большого количества разнообразных механизмов электризации [1]. Вклад того или иного механизма зависит от микрофизических и динамических характеристик конкретной облачной системы. В работе рассматриваются особенности реализации индукционных механизмов электризации, у которых величина образующегося заряда зависит от напряженности внешнего электрического поля в момент образования заряженных гидрометеоров. Известно и исследовано значительное количество подобных механизмов. Это столкновение капель разных размеров, столкновение тающих градин с каплями, разрушение крупных капель и значительный ряд других процессов. Для большинства подобных механизмов характерным является образование зарядов противоположных знаков на гидрометеорах (капли, кристаллы льда, частицы града) разных размеров, что приводит к различной скорости гравитационного оседания зарядов противоположного знака. Образовавшиеся заряды, вследствие различной скорости гравитационного оседания носителей зарядов разных знаков, группируются в разнесенных в пространстве областях. Этот процесс приводит к макроразделению зарядов и, как следствие, к изменению напряженности электрического поля в той области, где осуществляется процесс разделения зарядов. При определенных условиях появляется возможность реализации положительной обратной, когда макроразделение зарядов увеличивают поле и повышают скорость генерации зарядов. Для реализации положительной обратной связи требуется наличие механизма макроразделения зарядов, который локализует в пространстве заряды разных знаков совершенно определенным образом.

Одной из возможных реализаций индукционного механизма с положительной обратной связью является область таяния гидрометеоров в дождевых облаках различных типов. Радиолокационные исследования позволили обнаружить в нижней части полосы таяния слой, где происходит интенсивный распад крупных капель [2]. Этот слой имеет вертикальные размеры порядка 50 – 100 м и расположен в области положительных температур 2 - 3°C. Распадающиеся в нем крупные капли во внешнем электрическом поле образуют электрически заряженные фрагменты, причем мелкие фрагменты приобретают заряд, знак которого совпадает со знаком вертикальной компоненты электрического поля, крупные - противоположный. Иначе говоря, при распаде в поле отрицательно заряженной Земли мелкие фрагменты будут заряжены отрицательно, крупные - положительно. Величина зарядов пропорциональна напряженности электрического поля. Скорость падения мелких фрагментов меньше скорости падения крупных, поэтому происходит пространственное разделение зарядов. Мелкие отрицательно заряженные фрагменты оказываются ближе к слою с распадающимися каплями, чем крупные. Поле мелких фрагментов в слое с распадающимися

каплями будет больше, чем поле крупных фрагментов. Соответственно поле, в котором происходит распад следующей порции капель, увеличивается, и возрастают заряды на фрагментах распадающихся капель. Возникает положительная обратная связь, которая приводит к экспоненциальному росту электрического поля.

Численное моделирование вышеописанного процесса выполнено для слоисто-дождевого облака ввиду простоты структуры воздушных потоков в нем и относительно однородной и хорошо изученной микроструктуры. Результаты расчетов с учетом спектра размеров гидрометеоров, скорости воздушных потоков в слое таяния и размеров областей с распадающимися каплями показало, что при интенсивности осадков более 10 мм/ч и нисходящих вертикальных потоках воздуха 0,5 - 1 м/с электрическое поле возрастает до величины 10^5 - 10^6 В/м через 10 - 15 мин после начала выпадения осадков, причем это время уменьшается с увеличением интенсивности осадков. Временной ход максимальной напряженности электрического поля E_{max} хорошо аппроксимируется выражением (1) ($I > 5$ мм / ч, $t > 60$ сек)

$$E_{max} = 250 \exp \left[0.01 \frac{I^2 - 20}{I^2} t \right] \quad (1)$$

где E_{max} выражено в В/м, I , интенсивность осадков, - в мм / ч, t , время, - в сек.

При восходящих потоках воздуха напряженность электрического поля будет иметь знакопеременный характер с амплитудой менее +3000 - -3000 В/м вне зависимости от знака начального поля и интенсивности осадков.

Особенностью данного механизма является то обстоятельство, что при изменении вертикальной скорости воздуха может происходить смена полярности возникающих зарядов, т. е. мелкие фрагменты могут изменить свой знак с отрицательного на положительный. Соответственно, и все облако может иметь как отрицательный, так и положительный заряд, хотя наиболее вероятным является преобладание отрицательного заряда в слое таяния.

Вышеописанный механизм может реализовываться как в слоисто-дождевых, так и в кучево-дождевых облаках. Для кучево-дождевых облаков условия для интенсивной генерации заряда будут оптимальными как на периферии облака, где отмечаются нисходящие воздушные потоки небольшой интенсивности, аналогично слоисто-дождевым облакам, так и в области восходящих потоков, где скорость восходящего потока превышает 5 - 7 м/с. Если генерация зарядов в кучево-дождевом облаке будет происходить как на периферии так и по центру облака в области восходящих потоков, то эти области будут иметь заряды разных знаков, что приведет к возникновению разрядов внутри облака.

Результаты моделирования совпадают с экспериментальными данными. Так обычно в слоисто-дождевых облаках наблюдается напряженность поля, соответствующая модельным результатам, а максимум повторяемости поражений самолетов молниями приходится на высоту с температурой +1⁰ С [3].

Результаты моделирования подтверждаются экспериментом Воннегута [1], Над поверхностью Земли была натянута проволока длиной 16 км, на которую подавалось высокое напряжения, при этом знак напряженности поля в атмосфере в окрестности проволоки менялся на обратный. Было замечено, что при включении напряжения в момент прохождения облака над проволокой знак заряда выпадающих осадков менялся на обратный. Этот факт объясняется предложенной моделью.

Дальнейшим развитием модели является исследование учет при численном моделировании большего количества как индукционных, так и не индукционных [4] механизмов генерации зарядов.

Литература

1. Мучник В.М., Физика грозы. – Ленинград, Гидрометеиздат, 1974, - 352 с.
2. Кочин А.В. Радиолокационные исследования микрофизических процессов в полосе таяния // Метеорология и гидрология, 1994, №10. С.34-40
3. Брылев Г.Б., Гашина С.Б., Евтеев Б.Ф., Камалдина И.И. Характеристики электрически активных зон в слоистообразных облаках. – Ленинград, Гидрометеиздат, 1989, - 160 с.
4. Евтушенко А.А., Мареев Е.А. О генерации слоев электрического заряда в мезомасштабных конвективных системах // Физика атмосферы и океана, 2009, том 45, № 2. С.255-265

АНАЛИЗ ДАННЫХ ПАССИВНЫХ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ЦЕЛЯХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОТ МОЛНИЕВЫХ РАЗРЯДОВ

Д.М. Крутой, И.И. Кононов, И.Е. Юсупов

СПбГУ
kdm2k@mail.ru

Проанализированы данные двух различных систем пассивной регистрации молниевых вспышек (МВ). Первая система – многопунктовая интерферометрическая УКВ система пассивной радиопеленгации SAFIR (Франция) – далее Система 1 [1]. Данная система регистрирует координаты и время

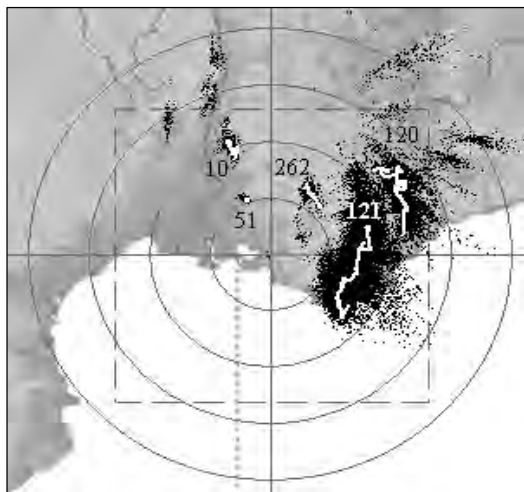


Рис.1. Грозовая активность 28.06.2001.

происхождения МВ, определяет их длительность, протяженность, мультиплисити (количество сильноточных компонент) и ряд других параметров. Другая система – пассивная однопунктовая пеленгационная СДВ система, позволяющая регистрировать сильноточные компоненты МВ – обратные удары (далее – Система 2) [2]. Так, например, на рис. 1 приведен пример регистрации МВ Системой 1 (показаны черными точками) в юго-восточном регионе Франции 28 июня 2001 года. Авторами настоящего сообщения был разработан специальный алгоритм кластеризации (группировки), благодаря которому стало возможным представлять регистрируемые Системой 1 данные в виде треков центров кластеров (объектов, полученных в результате кластеризации). Отдельным преимуществом полученного кластерного представления грозовой активности (ГА) является то, что кластеры сопоставимы с различными грозовыми образованиями - отдельными конвективными ячейкам, грозовыми очагами и

целыми грозовыми комплексами. Как следствие, кластеризация позволяет анализировать изменение всего спектра вышеперечисленных регистрируемых Системой 1 параметров в процессе «жизни» грозы в микро- и макро- синоптическом масштабах, в том числе, в режиме реального времени.

В качестве примера, на рис. 2-3 приведены некоторые параметры ГА по данным регистрации Системы 1 относящиеся к выделенному кластеру 121 (рис. 1), а именно интенсивность внутриоблачных разрядов (ВО) и разрядов типа облако-земля (ОЗ) (рис.2) и длительность МВ (рис.3).

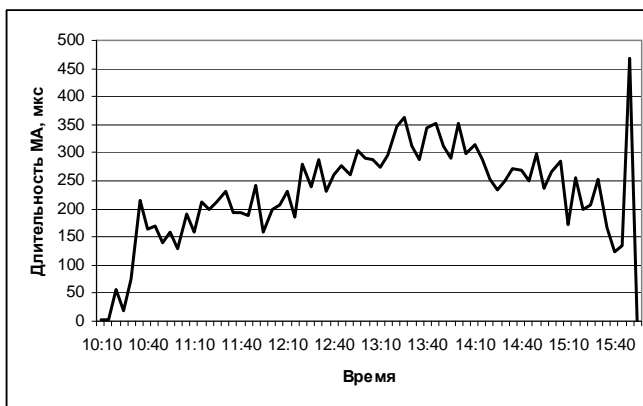
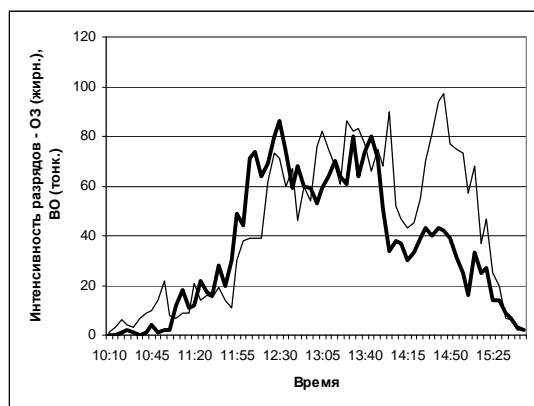


Рис. 2,3. Параметры МВ кластера 121 по данным регистрации Системы 1, 28.06.2001.

Также на уровне отдельных кластеров была проанализирована корреляция между интенсивностью излучения молниевых вспышек (как ВО, так и ОЗ) и интенсивностью осадков, оцениваемой по данным регистрации метеолокатора (локационной отражаемости), взятых за тот же период. Результаты анализа этих и других параметров приведены ниже при сравнении с данными, полученными Системой 2.

Система 2 представляет собой модифицированный (с пониженным порогом срабатывания) рамочный широкополосный импульсный СДВ пеленгатор, оснащенный Е-Н дальномером. Формы регистрируются в ОНЧ диапазоне. Примеры регистрации Системой 2 форм электромагнитного излучения (ЭМИ) обратных ударов приведены на рис. 4.

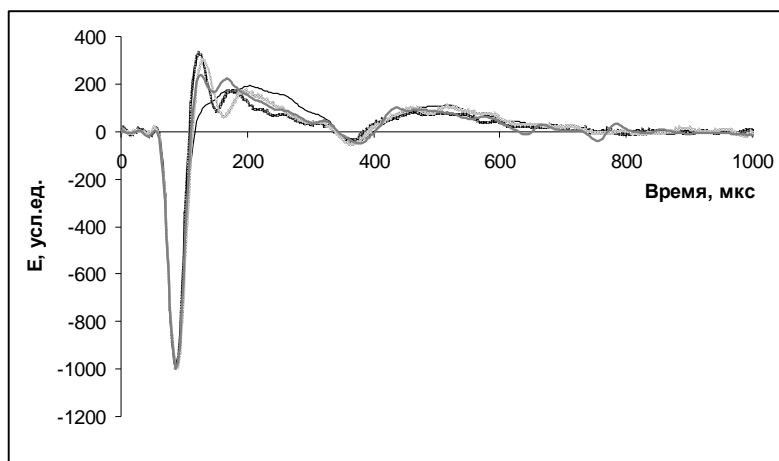


Рис. 4. Примеры регистрации форм ЭМИ обратных ударов, регистрируемых Системой 2, 28.06.2012 (формы нормированы по первой полуволне).

В результате анализа данных, полученных от систем были сделаны следующие выводы:

1. Количество регистрируемых Системой 1 МВ (эффективность обнаружения) в некоторых случаях на порядок превышает соответствующий показатель Системы 2. Данных Системы 1 достаточно для проведения статистически значимых оценок даже за довольно короткие промежутки времени – до 5 минут. Основной недостаток Системы 1 – малый радиус действия – зависит от количества пунктов регистрации и ограничен видимой областью, в связи с особенностями распространения УКВ сигнала. Вместе с тем, в

некоторых случаях, число синхронных (зарегистрированных обеими системами) МВ достигало 70%. Анализ синхронных данных позволил оценить величину поляризационных ошибок (ПО) пеленгования Системы 2. Величина ПО сильно зависит от расстояния до источника (МВ). Так, на расстоянии до 20 км величина ПО не превышает 10-15°, что в пересчете к пространственным координатам составляет единицы км; на расстояниях свыше 50 км величина ПО составляет 1-2° и при достаточно высоком пороге срабатывания (более 0,5 В/м) сохраняется на этом уровне при нахождении от источника до 1000-1500 км, что свидетельствует о возможности работы Системы 2 вплоть до этих расстояний с приемлемой для большинства случаев практического применения точностью.

2. Благодаря конструктивным особенностям и рабочему диапазону регистрации (УКВ) Система 1 обладает более высокими показателями точности местоопределения, а также определения иных вышеперечисленных параметров МВ. В работе сделаны выводы о закономерностях пространственно-временной изменчивости регистрируемых Системой 1 параметров как для разного типа гроз (благодаря проведенной кластеризации), так и для отдельных стадий развития грозы. Выполненная селекция форм (Система 2), соответствующих отдельным кластерам, позволила создать основу для перспективного рассмотрения особенностей их трансформации в процессе пространственно-временного развития гроз разного типа.

3. В укрупненном синоптическом масштабе при использовании общедоступных синоптических карт (www.metoffice.com) обнаружено, что большая часть относительно длительных и протяженных гроз возникали в областях низкого давления «в присутствии» холодных атмосферных фронтов. При этом линии движения кластеров находились под некоторым углом к линиям атмосферных фронтов.

4. Наличие локационных данных за аналогичный период позволило произвести сопоставление данных об интенсивности МВ (по данным системы 1) и интенсивности осадков. Полученные значения коэффициентов корреляции, находящиеся в пределах 0,7-0,9, подтверждают общеизвестный факт о возможности оценки интенсивности осадков по данным об интенсивности ГА и наоборот. Следует отметить, что в 30% случаев обработанных данных максимальный коэффициент корреляции достигался путем сдвига (по сути - запаздывания по времени) графика интенсивности осадков относительно графика интенсивности МВ в интервале от 5 до 10 минут.

Результаты работы могут быть использованы при построении как глобальных систем мониторинга ГА, так и для локальных оперативных и научно-исследовательских систем обнаружения, требующих оценки состояния ГА в микро-синоптическом масштабе. Также возможно краткосрочное прогнозирование опасных быстроразвивающихся гроз, и, как следствие, сопутствующих им разрушительных явлений (сильный ветер, интенсивные осадки, град и т. д.). Построение систем с использованием результатов данной работы рассматривается как уместное дополнение к распространенным в настоящее время активным системам мониторинга в целях их совершенствования и повышения безопасности.

Литература

1. Кононов И.И., Юсупов И.Е. Кластеризация грозových очагов. «Радиотехника и электроника», 2004, т.43, №3, с.283-291.
2. Кононов И.И., Петренко И.А., Снегуров В.С. Радиотехнические методы местоопределения грозových очагов, 1986, Л., Гидрометеиздат, 220с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА В ОБЛАКАХ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Д.Д. Кулиев, А.В. Шаповалов
 Высокогорный геофизический институт Росгидромета
 atajuk@mail.ru

Экспериментальные исследования электричества грозовых облаков затруднительны по ряду причин. В решении вопросов формирования облачных зарядов и поля все большую роль играет численное моделирование, которое является важной составной частью исследований, а иногда и единственно доступным источником научной информации о процессах, происходящих в облаках. Данная работа посвящена исследованию образования электрического заряда и электрического поля в кучево-дождевых облаках на основе математического моделирования.

В моделях [1,2] с детальной микрофизикой учитывался физический процесс разделения зарядов на стадии формирования осадков – это зарядение переохлажденных капель при их замерзании (знак заряда «минус») с образованием осколков замерзания (микровыбросов), заряженных положительно. Вместе с тем, механизм передачи заряда при столкновениях частиц облачного льда (кристаллов) с крупными ледяными частицами (крупка, град) также считается одним из основных. Столкновительный механизм электризации начинает играть важную роль, когда облачные частицы в процессе эволюции облака достигнут размеров, при которых становятся возможными процессы коагуляции.

Лабораторные исследования электризации ледяных частиц и натурные исследования грозовых облаков показали, что столкновения ледяных кристаллов с крупными ледяными частицами (крупка, град) дают большой заряд, передаваемый при единичном взаимодействии, который равен $10^{-15} - 10^{-13}$ Кл, а при множественных столкновениях заряд крупной ледяной частицы может достигать $10^{-13} - 10^{-12}$ Кл.

В данной работе исследования выполнялись на основе двумерной модели конвективного облака с детальным описанием термодинамических, микрофизических и электрических процессов. Модель позволяет рассчитывать плотности объемных зарядов в облаке, потенциал и напряженность электрического поля, создаваемого этими зарядами, учитывается влияние электрического поля облака на микрофизические процессы взаимодействия облачных частиц (электрическая коагуляция). Микрофизический блок описывает процессы нуклеации, конденсации, коагуляции капель с каплями, сублимации, аккреции, замерзания капель, осаднения облачных частиц в поле силы тяжести, их перенос воздушными потоками, а также взаимодействие облачных частиц под влиянием электрического поля облака. Система уравнений для функций распределения по массам капель $f_1(\vec{r}, m, t)$, ледяных частиц $f_2(\vec{r}, m, t)$ и положительно заряженных ледяных частиц $f_3(\vec{r}, m, t)$ имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f_1}{\partial t} + u \frac{\partial f_1}{\partial x} + (w - V_1) \frac{\partial f_1}{\partial z} &= \left(\frac{\partial f_1}{\partial t} \right)_{\dot{E}\dot{A}} + \left(\frac{\partial f_1}{\partial t} \right)_{K\dot{A}} + \left(\frac{\partial f_1}{\partial t} \right)_{\dot{A}\dot{E}} + \left(\frac{\partial f_1}{\partial t} \right)_{DP} + \left(\frac{\partial f_1}{\partial t} \right)_3 + \Delta' f_1 + I_1, \\ \frac{\partial f_2}{\partial t} + u \frac{\partial f_2}{\partial x} + (w - V_2) \frac{\partial f_2}{\partial z} &= \left(\frac{\partial f_2}{\partial t} \right)_C + \left(\frac{\partial f_2}{\partial t} \right)_{A\dot{E}} + \left(\frac{\partial f_2}{\partial t} \right)_\zeta + \Delta' f_2 + I_2 + I_{\dot{A}\dot{A}}, \\ \frac{\partial f_3}{\partial t} + u \frac{\partial f_3}{\partial x} + (w - V_2) \frac{\partial f_3}{\partial z} &= \left(\frac{\partial f_3}{\partial t} \right)_3 + \left(\frac{\partial f_3}{\partial t} \right)_{AK} + \left(\frac{\partial f_3}{\partial t} \right)_{AG} + \Delta' f_3, \end{aligned} \quad (1)$$

где $V_1(m), V_2(m)$ - установившиеся скорости падения жидких и твердых частиц; $\left(\frac{\partial f_1}{\partial t} \right)_{\dot{E}\dot{A}}, \left(\frac{\partial f_1}{\partial t} \right)_{\dot{E}\dot{A}}$,

$\left(\frac{\partial f_1}{\partial t} \right)_{\dot{A}\dot{E}}, \left(\frac{\partial f_1}{\partial t} \right)_{\dot{A}\dot{D}}, \left(\frac{\partial f_1}{\partial t} \right)_\zeta$ - изменения функции распределения капель за счет микрофизических процессов конденсации, коагуляции капель, аккреции капель и кристаллов, дробления и замерзания

соответственно; $\left(\frac{\partial f_2}{\partial t} \right)_C, \left(\frac{\partial f_2}{\partial t} \right)_{\dot{A}\dot{E}}, \left(\frac{\partial f_2}{\partial t} \right)_\zeta$ - изменения функции распределения кристаллов за счет

сублимации, аккреции и замерзания капель; $\left(\frac{\partial f_3}{\partial t} \right)_\zeta$ - изменения функции распределения $f_3(\vec{r}, m, t)$ за

счет образования осколков при спонтанном замерзании облачных капель, $\left(\frac{\partial f_3}{\partial t} \right)_{\dot{A}\dot{E}}$ изменения

функции распределения $f_3(\vec{r}, m, t)$ за счет аккреции, $\left(\frac{\partial f_3}{\partial t}\right)_{AG}$ - изменение за счет столкновений

ледяных частиц.

Для системы уравнений (1) используются следующие начальные и граничные условия:

$$f_1(\vec{r}, m, 0) = f_2(\vec{r}, m, 0) = f_3(\vec{r}, m, 0) = 0, \quad (2)$$

$$f_1(\vec{r}, m, t) = f_2(\vec{r}, m, t) = f_3(\vec{r}, m, t) = 0 \text{ при } x=0, L_x,$$

$$f_1(\vec{r}, m, t) = f_2(\vec{r}, m, t) = f_3(\vec{r}, m, t) = 0 \text{ при } z=L_z, \quad (3)$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial z} = \frac{\partial f_2}{\partial z} = \frac{\partial f_3}{\partial z} = 0 \text{ при } z=0.$$

Образование осколков при замерзании капель учитывается следующим образом:

$$\left(\frac{\partial f_3}{\partial t}\right)_3 = \int_m^\infty n(m, m') R(\vec{r}, m', t) f_1(\vec{r}, m', t) dm', \quad (4)$$

где $n(m, m')$ - число ледяных осколков массы m , образующихся при замерзании капель массы m' , $R(x, z, m', t)$ - вероятность замерзания капель массой m' в единицу времени.

Образование осколков в процессе аккреции ледяных кристаллов с облачными каплями описывается формулой:

$$\left(\frac{\partial f_3}{\partial t}\right)_{AK} = \int_m^\infty n(m, m') R_2(\vec{r}, m', t) dm', \quad (5)$$

где $R_2(\vec{r}, m', t) = f_1(\vec{r}, m', t) \cdot \int_0^\infty \beta_2(m', \xi) f_2(\vec{r}, \xi, t) d\xi$ - число столкновений кристаллов массой ξ с

каплями массой m' , приводящих к замерзанию последних и образованию осколков.

Количество столкновений ледяных частиц описывается выражением:

$$\left(\frac{\partial f_2}{\partial t}\right)_{AG} = -f_2(\vec{r}, m, t) \int_0^\infty \beta_2(m, m') \cdot f_2(\vec{r}, m', t) dm' + \int_0^m \beta_2(m, m - m') f_2(\vec{r}, m - m', t) f_2(\vec{r}, m', t) dm', \quad (6)$$

где $\beta_2(m, m') = \pi(r(m) + r(m'))^2 \cdot |V_2(m) - V_2(m')| \cdot E_2(m, m')$,

$E_2(m, m')$, - коэффициент столкновений кристалл-кристалл.

Выражения для слагаемых, входящих в уравнения (1), представлены в работах [1-3].

На основе разработанной модели проведены численные эксперименты по исследованию роли отмеченных выше механизмов электризации облачных частиц в формировании электрических характеристик грозных облаков.

Литература

Ашабоков Б.А., Шаповалов А.В. Конвективные облака: численные модели и результаты моделирования в естественных условиях и при активном воздействии.- Нальчик: издательство КБНЦ РАН, 2008.-254 с.

Корчагина Е.А., Шаповалов А.В. Исследование на основе численной модели взаимодействия микрофизических и электрических процессов в конвективных облаках при их эволюции// Известия Вузов. Северо-Кавказский регион.-2004.-N 3. - С. 56-62

Корчагина Е.А., Кулиев Д.Д., Шаповалов А.В. Моделирование микроструктуры конвективного облака с учетом процесса контактной электризации облачных частиц// Известия КБНЦ РАН.-2008.-№6(26).- С.155-161.

ПРИМЕНЕНИЕ ДЛИННЫХ ИСКРОВЫХ РАЗРЯДОВ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ГРОЗОПЕЛЕНГАТОРОВ

Ф.А. Кутерин, П.А. Микрюков, Ю.В. Шлюгаев

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород; Российский новый университет, Москва
xredor@appl.sci-nnov.ru

В настоящее время все большую актуальность имеет разработка грозопеленгационных устройств. В частности, они востребованы в энергетической и природоохранной отрасли, а также связи.

Одной из задач при проектировании грозопеленгационных устройств является их калибровка. В естественных условиях она затруднена по причине случайного характера разрядов в грозовом облаке и необходимости использования независимых средств локализации грозовых разрядов. В связи с этим на полигоне ВЭИ в г. Истра с 29-го по 31 мая 2012 года проводились исследования радиоизлучения искрового разряда с помощью грозопеленгаторов ФАГ-2Н (производитель ООО «Цифровой Дракон») и Boltek StormTracker. Целью исследования было сопоставление физических процессов, происходящих в искусственном искровом разряде и разрядах в грозовом облаке, выявление сходных черт и существенных различий.

Генератор импульсного напряжения (ГИН) ВЭИ представляет собой генератор Маркса и позволяет получать разряды при напряжении до 9 МВ. В экспериментах использовалось напряжение порядка 6 МВ. Длина разрядов достигала 15м. Координаты N55°55.453' E36°49.158'. Предпринимались попытки регистрации вспышек грозоанализатором ФАГ-2Н и устройством Boltek StormTracker.

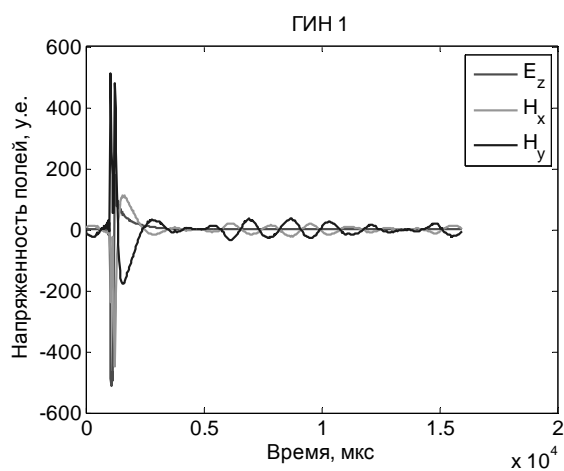


Рис. 1

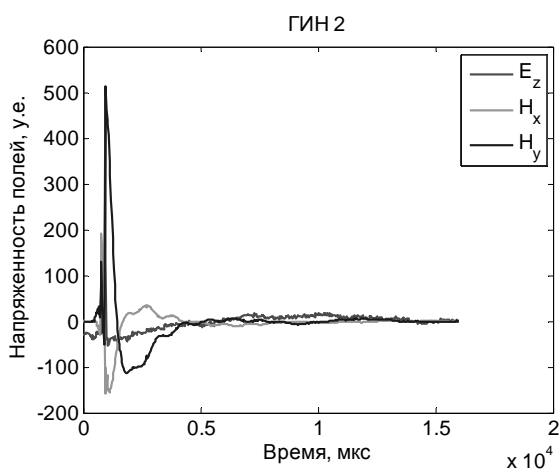


Рис. 2

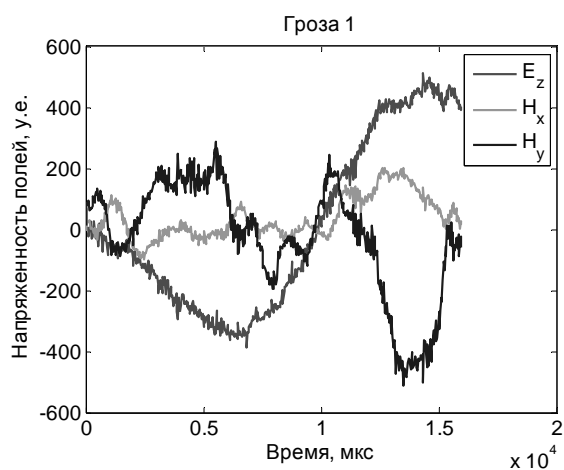


Рис. 3

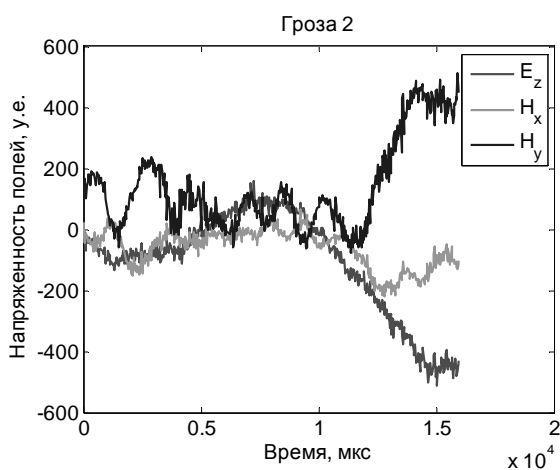


Рис. 4

Регистрация искровых разрядов производилась в пунктах с координатами N55°52.690' E36°57.960' (расстояние по прямой до стенда составило 10.5 км) и N55°55.402' E36°48.362' (700м от ГИН), а также непосредственно на полигоне ГИН. Использовалась сервисная версия программы для ФАГ-2Н, позволяющая не только рассчитывать и отображать координаты зарегистрированных вспышек, но и записывать первичные данные, используемые программой для расчетов.

Были проведены измерения электромагнитных сигналов возникающих при искусственном искровом разряде и естественных грозовых разрядах. Типичная форма сигналов от искрового разряда показана на Рис. 1 и 2. На рис. 3 и 4 показана форма сигналов от реальных молниевых разрядов. В ходе произведенных экспериментов было обнаружено, что гронопеленгаторы ФАГ-2Н и Boltek StormTracker регистрируют электромагнитные сигналы как реальных грозовых разрядов, так и искусственных искровых разрядов. Но поскольку параметры искусственного искрового разряда существенно отличаются от параметров реальных грозовых разрядов, обработка, рассчитанная на реальные сигналы, не распознает сигналы ГИН. По этой причине искусственные искровые разряды не распознаются гронопеленгаторами как настоящие разряды и принимаются за помехи.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (ГК №11.519.11.5017 и ГК №16.518.11.7006) и также грантов РФФИ №10-05-01045, №11-05-12055-офи-м-2011.

АНОМАЛЬНАЯ СУТОЧНАЯ ВОЛНА «ПОЛЯ ХОРОШЕЙ ПОГОДЫ» В ГОРНОМ УЩЕЛЬЕ

А.С. Лидванский, Н.С. Хаердинов
Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия
lidvansk@lebedev.ru

На установке «Ковёр» Баксанской Нейтринной Обсерватории регулярные измерения электростатического поля во время гроз ведутся с 2000 г. и исследовано влияние сильных электрических полей на интенсивность вторичных частиц космических лучей [1, 2]. Установка расположена на Северном Кавказе (43.3° с.ш. 42.7° в.д.) в горном ущелье на высоте 1700 м над уровнем моря. Максимальная высота соседних вершин по обе стороны ущелья около 4 км над уровнем моря (примерно 2 км над уровнем наблюдения). Ширина ущелья между этими пиками составляет около 10 км

В настоящей работе представлены экспериментальные данные по наблюдению электрического поля «хорошей погоды» в этом ущелье. Измерения проводились в начале осени 2007 г. с помощью высокоточного измерителя, расположенного на крыше экспериментального здания высотой 10 м. Здание окружено лесом с высотой деревьев такого же порядка. В 30 м. от здания протекает река.

Наблюдения с разрешением 4 В/м, проводились в течение 36 дней с 7 сентября по 12 октября. Прибор представляет собой обычный флюксметр с вращающимся электродом, но защищённый от влажности. Снятие сигнала с подвижного электрода осуществляется индукционным способом, без трения контактов. Защиту от росы обеспечивают искусственно подогреваемые изоляторы, а от дождя защиту создает специальная механическая система, жёстко скреплённая с электродом, выполняющая при вращении роль зонта.

Везде, где нет специальных указаний, далее приводится местное время, опережающее мировое на 3 часа. Такое представление более удобно для исследования вариаций локального происхождения. Если определить «плохую погоду» как наличие грозы или плотной облачности в течение часа и более, то таких суток оказалось 13 из 36. Из оставшихся 23 суток выбраны как дни с «хорошей погодой» те, в которые отсутствовала сколько-нибудь значительная облачность при абсолютном отсутствии дождя. Таких суток набралось 6. Это даты 19, 20, 21, 22, 23, 27 сентября. Для всех этих дней (и для части тех, которые не прошли критерия «хорошей погоды») полученная суточная волна

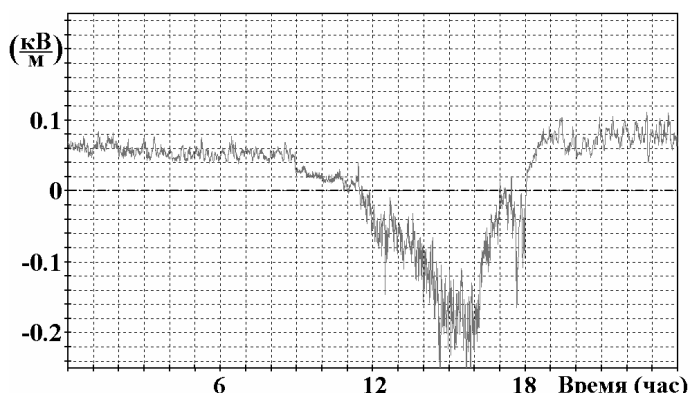


Рис 1. Приземное электростатическое поле 7 сентября 2007 г. Время местное. Усреднение 20 с.

имеет похожую форму: достаточно стабильное значение напряженности в ночное время вблизи уровня 60 В/м (положительное направление для напряженности принято сверху вниз) и сильная отрицательная вариация днём, в период с 8 до 18 часов местного времени, вплоть до изменения полярности с минимумом в районе 15 - 16 ч. Амплитуда отрицательной вариации, день ото дня, слабо меняется. Знаменательно наличие в этот период коротких положительных вариаций импульсного типа, длительностью 2 - 4 минуты, чего обычно не наблюдается ночью. Заметим, что длительность таких импульсов существенно меньше длительности гроз, которая обычно превышает 30 мин.

Кроме указанной мощной отрицательной вариации стабильно наблюдается небольшой локальный максимум напряжённости в районе 7 – 9 ч.

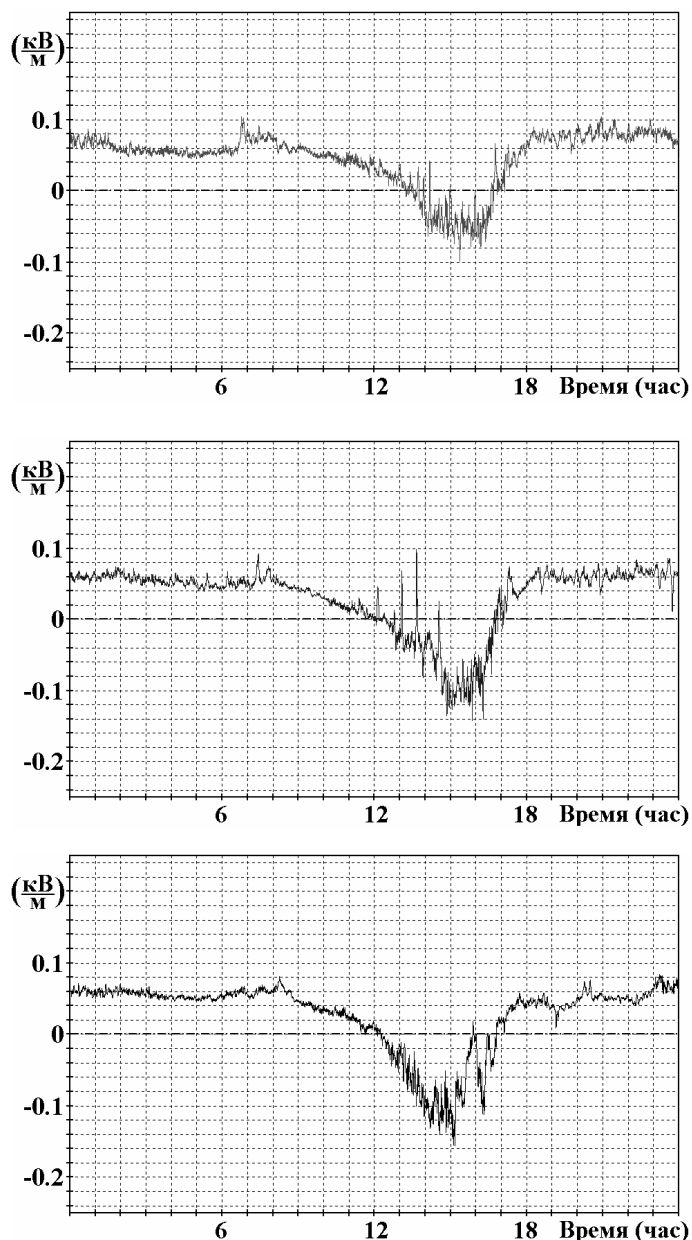


Рис 2. Приземное электростатическое поле (сверху вниз) 19, 22 и 23 сентября 2007 г. Время местное. Усреднение 20 с.

максимум прогрева почвы должен быть в районе 15 – 16 ч. местного времени. Это соответствует наблюдению максимума отрицательной вариации. Следовательно, причину её происхождения, скорее всего, следует искать в прогреве горных пород и раскрытии микротрещин, и как следствие, в повышении скорости выхода подземных газов, в том числе радона.

Распад радона и его дочерних ядер ионизует воздух. В условиях положительного фонового электрического поля на склоне ущелья, положительные ионы преимущественно разряжаются на землю, а отрицательные разносятся ветром, концентрируясь на дне ущелья, создавая там отрицательное поле. И наоборот, в случае отрицательного фонового поля, что наблюдается днём в районе установки, внизу ущелья, отрицательные ионы разряжаются на землю, а положительные поднимаются. При такой интерпретации, наблюдаемые днём положительные импульсные вариации, есть свидетельство выхода радона вблизи установки. Не исключено, что возможны и другие объяснения наблюдаемого эффекта, но сама форма суточной волны обладает очень большой устойчивостью.

Как известно, суточная волна поля «хорошей погоды» измеряемая на уровне моря имеет максимум около 19 часов мирового времени независимо от долготы места наблюдения. При этом поле всегда имеет одну и ту же полярность. В наших условиях изменение полярности - весьма долговременный и стабильный эффект (см. Рис. 1, где поле отрицательной полярности имеет наибольшую амплитуду).

Форма этой суточной волны почти идентична во все указанные выше дни «хорошей погоды» (Рис. 2).

В работе [3] приводятся усреднённые значения суточной вариации поля «хорошей погоды» для периода август – сентябрь, измеренной на горе Чегет, что находится в относительной близости от нашей установки (18 км) но, значительно выше 3040 м. над уровнем моря. В этой работе, напротив, отмечалось повышенное среднее значение поля (500 В/м) и положительная вариация с максимумом в 9 – 11 ч. местного времени. В работе [4] так же, указывается на положительную вариацию в это время, но уже для равнинной Обсерватории Борок. В этих работах авторами высказывается предположение, что указанная вариация в дневной период обусловлена действием конвективного локального генератора, связанным с прогревом воздуха солнцем. По-видимому, эта же вариация наблюдается и в нашем случае в первой половине дня. Но нужно заметить, что возле установки, по многолетним измерениям, максимум прогрева приземного воздуха приходится на 13 ч., то есть после полудня. Известно, что температура в приземном слое, тем более локальная, сильно зависит от подстилающей поверхности.

Вместе с тем, согласно общим представлениям формирования суточного хода температуры почвы на разной глубине [5, стр. 124], максимум накопленного ею тепла достигается после максимума приземной температуры спустя 1/8 суточного периода, причём эта оценка мало зависит от тепловых свойств почвы. Таким образом,

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, грант 12-02-01028-а.

Литература

1. Alexeenko V.V, Khaerdonov N.S., Lidvansky A.S., and Petkov V.B. Transient Variations of Secondary Cosmic Rays due to Atmospheric Electric Field and Evidence for Pre-Lightning Particle Acceleration, *Phys. Lett. A*, 301, 3-4, pp. 299-306, 2002.
2. Khaerdinov, N.S., Lidvansky A.S., and Petkov V.B. Electric Field of Thunderclouds and Cosmic Rays: Evidence for Acceleration of Particles (Runaway Electrons), *Atmospheric Research*, 1-4, 346-354, 2005.
3. Аджиев А.Х., Ваюшина Г.П., Куповых Г.В., Соколенко Л.Г., Шварц Я.М. Экспериментальные исследования атмосферного электричества в высокогорных условиях. // V Российская конференция по атмосферному электричеству, Владимир, 21-26 сентября 2003 г., Сборник научных трудов, т. 1, стр. 106-109.
4. Анисимов С.В. Концепция глобальной электрической цепи: состояние проблемы. // V Российская конференция по атмосферному электричеству, Владимир, 21-26 сентября 2003 г., Сборник научных трудов, т. 1, стр. 21-27.
5. Хргиан А.Х. Физика атмосферы, М: Изд. МГУ, 1986.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОЛЯ В ГРОЗОВЫХ ОБЛАКАХ

А.А. Мальцев, Ю.И. Стожков
ФИАН, Москва, Россия
stozhkov@fian.fiandns.mipt.ru

Рассчитаны электрические поля в грозовых облаках для спокойной обстановки и для момента молниевых разрядов. Поля рассчитаны для трёх фаз жизни грозового облака: фазы формирования, фазы зрелости и фазы распада.

Показано, что в фазах роста и распада грозового облака во время молниевых разрядов происходит увеличение напряженности электрического поля не менее, чем в 2 раза практически на всех высотах, вплоть до ионосферы.

В атмосфере выше 40-50 км во время грозового разряда электроны и позитроны с энергиями более 10-100 МэВ приобретают в электрическом поле грозового облака энергию, превышающую их ионизационные потери. Ускоряющиеся заряженные частицы образуют спрайты. Источником электронов и позитронов являются широкие атмосферные ливни, максимум числа частиц которых близок к вершине грозового облака.

Выдвинута гипотеза, что «эльфы» (голубое свечение конической формы) обусловлены эффектом Вавилова-Черенкова, наблюдаемым при прохождении высокоэнергичных электронов и позитронов через грозовое облако.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ ВЫСОТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ В АТМОСФЕРЕ

А.А. Мальцев¹, Ю.И. Стожков²

1 - Московский Физико-технический институт, г. Долгопрудный Московской области

2 - Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

Alex.a.maltsev@gmail.com

Исследуется процесс образования высотных электрических разрядов (красных спрайтов, голубых джетов, гномов, эльфов, или гало) в атмосфере. Решающую роль в образовании таких разрядов играют космические лучи. Высотные электрические разряды, образующиеся в атмосфере на высотах 20-100 км, представляют собой редкое и малоизученное природное явление. Экспериментально показано [4], что они образуются только во время атмосферных разрядов между поверхностью земли и облаком. Классификация высотных электрических разрядов условна; в ее основе лежит разделение по цвету, форме и высоте, на которой наблюдается разряд (см. рис.1).

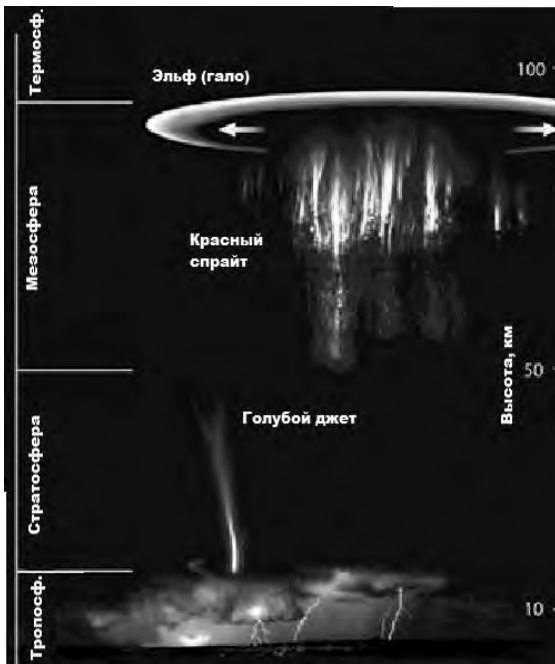


Рис. 1. Классификация высотных электрических разрядов согласно [4].

Как известно [1], грозовое облако проходит три стадии: формирования, зрелости и распада. В фазе формирования происходит разделение зарядов: отрицательно заряженные капли воды конденсируются на меньших высотах, чем положительно. В фазе зрелости грозового облака отрицательные заряды переносятся из нижнего слоя осадками и разрядами «облако-земля», после чего в облаке остается только положительно заряженный слой.

Из космоса на Землю непрерывно падает поток космических лучей — заряженных частиц [2]. Высокоэнергичные частицы (с энергиями $E \geq 10^{12}$ эВ) взаимодействуют с частицами атмосферы и образуют вторичные космические лучи-ливни частиц. Некоторые вторичные частицы достигают земной поверхности, соединяя облако с землей ионизованными каналами. По таким каналам происходят молниевые разряды [1].

Поток частиц с $E \geq 10^{12}$ эВ, падающий на границу атмосферы, равен ~ 1 частица / ($\text{м}^2 \text{ с ср}$) [2]. Частица с энергией 10^{12} эВ образует в атмосфере ливень из $\sim 10^3$ частиц с энергиями $E \geq 10$ МэВ. Высокоэнергичные частицы образуют ливни, как в стратосфере, так и в тропосфере.

В электрическом поле над крупномасштабным грозовым облаком частицы ливня будут ускоряться, размножаться, и создадут значительный поток частиц, направленный как в сторону ионосферы, так и в сторону Земли. Этот поток и образует спрайт. Поток первичных космических частиц с $E \geq 10^{12}$ эВ, бомбардирующий крупномасштабное грозовое облако диаметром 100 км, составляет $\sim 10^{10}$ частиц на облако в секунду. Поток частиц с $E \geq 10^{15}$ эВ, падающий на такое облако, равен $\sim 10^5$ частиц/сек. Если принять время существования молниевое канала равным $\sim 10^{-4}$ с, тогда за время грозового разряда на атмосферу над крупномасштабным грозовым облаком падает до $\sim 10^6$ частиц с $E \geq 10^{12}$ эВ и до ~ 10 частиц с $E \geq 10^{15}$ эВ. Этого достаточно, чтобы имели место временные совпадения электрических разрядов земля – облако и ливней, образованных в атмосфере над облаком. При благоприятных условиях эти совпадения обеспечат появление высотных разрядов – спрайтов и джетов.

Оценим значение потерь энергии высокоэнергичной частицей (с учетом рассеяния) в зависимости от высоты над поверхностью земли. При пробеге 1 г/см^2 воздуха такие частицы теряют 1.8 МэВ. Средние углы рассеяния (в радианах) для релятивистских электронов и позитронов описываются формулой: $\theta = (E/E_0)(t/t_0)^{0.5}$, где для воздуха $t_0 = 37 \text{ г/см}^2$ — радиационная единица, $E_0 = 21 \text{ МэВ}$, t — масса, пройденная данной частицей (в г/см^2), E — энергия частицы (МэВ).

Из экспериментальных данных известно, что значение электрического поля в облаке может

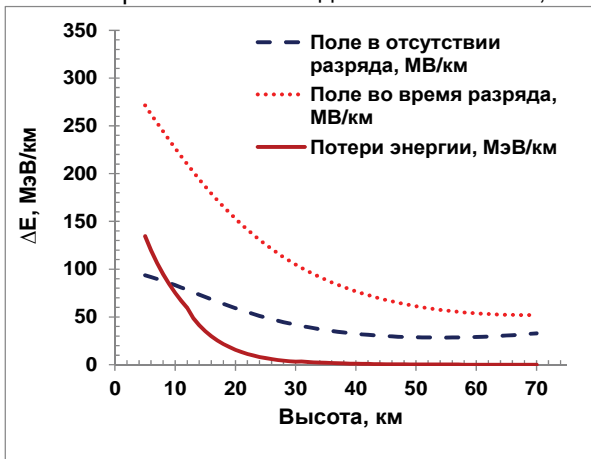


Рис. 2. Соотношение прироста и потерь энергии быстрой частицы в зависимости от высоты.

составлять ~ 100 кВ/м, а средний заряд облака диаметром несколько километров редко превышает 100 Кл. Высотные электрические разряды наблюдаются только при больших размерах грозового фронта (десятки - сотни километров). В расчетах мы использовали модель облака как равномерно заряженного диска диаметром 30 км с поверхностной плотностью заряда в 1 Кл/км^2 . Учитывался тот факт, что на проводящих поверхностях земли и ионосферы существуют индуцированные заряды (как в случае идеально проводящих поверхностей) и в расчетах применялся метод изображений. Поле считалось на оси диска.

Расчеты показывают, что электрическое поле заряженного облака во время грозового разряда между землей и облаком (положительный разряд) значительно превосходит поле в отсутствие разряда (см. рис. 2). Во время грозового разряда при достаточно больших размерах грозового

облака прирост энергии заряженной частицы в электрическом поле превосходит потери на любых рассматриваемых высотах над облаком (рис. 2).

Столкновение быстрой частицы с ядром атома воздуха дает размножение частиц и приводит, в конечном итоге, к образованию лавины частиц из электронов и позитронов, которые, в конечном счете, дают высотный электрический разряд. Источником большого количества вторичных частиц является широкий атмосферный ливень, возникший в облаке или в пространстве над облаком. Так образуются высотные атмосферные разряды — спрайты и джеты.

В отличие от спрайтов и джетов, являющихся излучением возбужденных атомов и молекул, гномы (конусообразные голубые свечения в вершинах грозовых облаков) могут иметь природу излучения Вавилова - Черенкова. В пользу этой гипотезы свидетельствует и тот факт, что гномы наблюдаются не всегда одновременно с электрическим разрядом. Количественный расчет, проведенный авторами, показывает возможную состоятельность этой гипотезы.

Заряженные частицы с энергией > 200 МэВ, проходя через сконденсировавшиеся капли воды и кристаллы льда (показатель преломления 1.33), дают излучение Вавилова-Черенкова с углом приблизительно 0.5 рад относительно оси конуса. Число фотонов N , излучаемых в интервале длин волн от λ_1 до λ_2 на пути L , определяется формулой: $N = 2\pi L(1/\lambda_2 - 1/\lambda_1)[1 - 1/(\beta^2 n^2)]$, где $\alpha = 1/137$ — постоянная тонкой структуры, β — отношение скорости частицы к скорости света. n — показатель преломления для данной излучаемой длины волны в данной среде. При прохождении высокоэнергичной частицы сквозь водную каплю диаметром 100 мкм в интервале длин волн 200-400 нм излучается 7-8 фотонов. Этот свет претерпевает рассеяние (рассеяние Ми на частицах размером более 3 нм) на микрокристаллах льда и микрокаплях воды, давая заметные на фоне ночного неба конусообразные свечения.

Работа частично поддержана РФФИ проекты 10-02-00326а, 11-02-00095а и Программой Президиума РАН «Фундаментальные свойства материи и астрофизика».

Литература

1. В. И. Ермаков, Ю. И. Стожков. Физика грозовых облаков. М., препринт ФИАН, 2004, 38 с.
2. Б. Росси. Космические лучи. Пер. с англ. Н. Г. Зелевинской и В. М. Максименко. М., Атомиздат, 1966.
3. И. Е. Тамм, И. М. Франк. Когерентное излучение быстрого электрона в среде. УФН, октябрь 1967, С. 388-393.
4. E. R. Williams. Sprites, Elves, and Glow Discharge Tubes // Physics Today, November 2001,
5. Pp.41-47.

ГЛОБАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ

Е.А. Мареев

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород
mareev@appl.sci-nnov.ru

В исследованиях атмосферного электричества концепция глобальной электрической цепи (ГЭЦ), связывающей воедино области грозы и хорошей погоды и непосредственно отражающей как состояние климатической системы Земли, так и влияние факторов космического окружения, является основополагающей. Последние экспериментальные и теоретические работы привели к более глубокому пониманию физических процессов, определяющих функционирование ГЭЦ. По мере накопления новых экспериментальных данных о грозовом электричестве и об электричестве хорошей погоды, о взаимодействии геосферных оболочек, о влиянии космических факторов (в первую очередь солнечной активности) на погоду и климат Земли важность изучения ГЭЦ становится все более очевидной. Поэтому вполне закономерно неуклонное возрастание интереса к проблемам глобальной цепи и появление ряда новых обзоров, посвященных ГЭЦ, в ведущих зарубежных и отечественных журналах [1,2,16-18, 20-22]. В настоящем кратком докладе, опирающемся на предыдущие статьи автора (в том числе и обзорные), по сути дела, изложен развернутый план обзора, призванного дать целостную физическую картину последних экспериментальных и теоретических достижений в данной области.

Глобальная электрическая цепь представляет собой распределенный токовый контур, образованный высоко-проводящими слоями верхнего слоя океана и земной коры и атмосферой, проводимость которой ничтожно мала в пограничном слое, но резко (экспоненциально) растет с высотой. Согласно концепции Вильсона, сформулированной 90 лет назад, основными источниками ЭДС, поддерживающей потенциал ионосферы, служат облака, обладающие электрической структурой (прежде всего кучево-дождевые и слоисто-дождевые), а зонами возвратных токов — области хорошей погоды (рис. 1). Как известно, фундаментальное экспериментальное подтверждение концепция Вильсона получила уже в конце 20-х гг. XX в. при сравнении суточной вариации атмосферного

электрического поля над океанами, измеренной в условиях хорошей погоды (так называемой кривой Карнеги) с суточной вариацией количества грозовых событий на земном шаре. Оказалось, что обе кривые имеют максимум около 19-20 часов UT и минимум около 4 часов UT, поэтому суточную вариацию атмосферного электрического поля и тока стали называть унитарной. Многочисленные последующие наземные измерения электрического поля и тока показали, однако, что при наблюдениях над сушей вблизи поверхности земли целый ряд факторов затрудняет выделение унитарной вариации: радиоактивность; повышенное содержание аэрозольных частиц в пограничном слое, их зарядка и перенос (что ведет к возмущениям проводимости и плотности электрического заряда); так называемый электродный эффект.

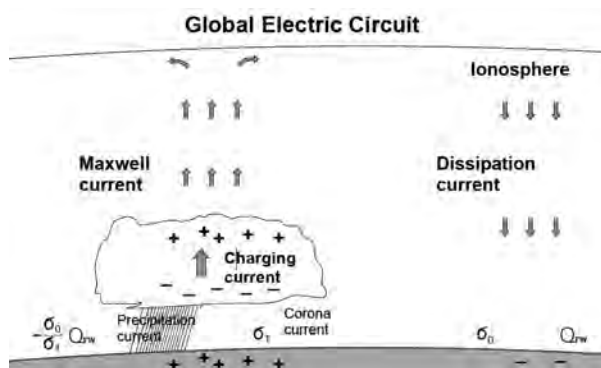


Рис. 1. Схема токов и зарядов ГЭЦ.

В настоящее время основными экспериментальными фактами, подтверждающими существование глобальной цепи, наряду с унитарной вариацией, можно считать: 1). Постоянство плотности тока с высотой вплоть до высот в несколько десятков км (см., например, [7], где приведены данные, показывающие, что до высоты 31 км значения плотностей тока положительных и отрицательных носителей j_+ и j_- остаются постоянными; в данном случае $j_+ \approx j_- \approx 2,5 \text{ pA/m}^2$). 2). Близкие значения разности потенциалов земля – ионосфера (ионосферного потенциала V_i), измеренной одновременно в глобально разнесенных точках (Darwin, Australia – 220 kV, Weston, USA – 235 kV) [16].

Фундаментальной проблемой формирования ГЭЦ является изучение основных генераторов, поддерживающих ионосферный потенциал, и их суточной и сезонной вариации. В последнее время большое внимание привлекли так называемые «electrified shower clouds» (ESC) слоисто-дождевые облака, не сопровождаемые грозой, но обладающие развитой электрической структурой [9,21,22]. Особенно часто они формируются над океаном. Как показывают самолетные и спутниковые наблюдения, учет вклада ESC в ионосферный потенциал может дать частичное объяснение тому факту, что амплитуда унитарной вариации гораздо меньше по величине, чем амплитуда суточной вариации грозовых часов и числа молниевых вспышек [8,9]. Существенный прогресс наметился также в понимании вклада в ионосферный потенциал мезомасштабных конвективных систем [6] и конвективного генератора и его суточной вариации [2].

Важнейшим экспериментальным достижением в области атмосферного электричества в последние годы можно считать непрерывные (начиная с 1995 г.) космические наблюдения молниевых вспышек с борта спутников NASA Microlab-1 (инструмент OTD, 1995-200 г.) и TRMM (инструмент LIS, запущен в 1997 г.) [5,21]. Их анализ позволил, в частности, дать количественную оценку относительного вклада в глобальную цепь различных областей максимальной грозовой активности – африканского (бассейн реки Конго), южно-американского (бассейн Амазонки) и в Юго-Восточной Азии, а также выявить интенсивные центры молниевой активности в более высоких широтах. Проведенные исследования подтвердили, что молниевая активность африканского очага превалирует, но его вклад в унитарную вариацию не является максимальным, что связано с определяющей ролью квазистационарных токов, обусловленных грозовыми облаками и ESCs. Тем не менее, фундаментальная проблема баланса токов, зарядов и энергии ГЭЦ [1,2,13] до настоящего времени в целом остается недостаточно изученной, и здесь необходимы дополнительные наземные, баллонные и самолетные и измерения.

Хорошо известно, что наряду с генераторами, находящимися в нижней части атмосферы, существенный вклад в распределение потенциала и тока ГЭЦ дают ионосферные и магнитосферные генераторы [1]. Эпизодический вклад в глобальную цепь могут давать также генераторы, обусловленные зарядкой частиц в дисперсных многофазных пылевых и аэрозольных потоках.

Следует отметить, что отмечаемые рядом авторов «вызовы концепции ГЭЦ» [4] связаны, скорее, со слишком узким пониманием классической концепции ГЭЦ, часто трактуемой как модель «шарового конденсатора». Определение ГЭЦ как распределенного токового контура и детальный учет разных генераторов (электродинамических и МГД) позволяет рассматривать концепцию ГЭЦ как сложившуюся самосогласованную теорию, хотя и нуждающуюся в дальнейшем развитии.

Теоретической основой описания ГЭЦ является рассмотрение полей и токов отдельных стационарных источников в плоской геометрии. Однако важнейшим направлением дальнейшего развития моделирования ГЭЦ является учет нестационарных процессов [15,10]. В частности, остаётся мало исследованным вопрос о вкладе в ГЭЦ молний и переходных токов, текущих после молниевых вспышек. В работе [15] была исследована динамика переходных токов. Установлено, что и вспышки облако-земля, и внутриоблачные вспышки генерируют значительные по величине

переходные токи. Вспышки облако-земля «нормальной полярности» (т.е. переносящие отрицательный заряд на землю) заряжают глобальную цепь, тогда как внутриоблачные вспышки «нормальной полярности» приводят к ее релаксации (пример вспышки «облако-земля», заряжающей цепь, приведен на рис.2-3 [...]). Эффективность вспышек типа облако-земля (т.е. соотношение суммарного заряда, перенесенного в ионосферу и на землю) существенно зависит от высоты расположения заряда в проводящей атмосфере, изменяясь в пределах от 15% до 90% в интервале высот от 1 км до 14 км над землей в модели с экспоненциальной проводимостью. Эффективность внутриоблачных вспышек в среднем значительно меньше, чем у вспышек облако-земля, однако их средний вклад в ток ГЭЦ может быть сравним, поскольку число внутриоблачных вспышек существенно превосходит число вспышек облако-земля. Выполнены оценки глобального баланса переходных токов, показывающие, что в период интенсивной молниевой активности вклад переходных токов, обусловленных молниевыми вспышками, может быть по величине порядка квазистационарного тока. В глобальном токовом балансе, однако, вклад переходных токов, скорее всего, не превышает 20%.

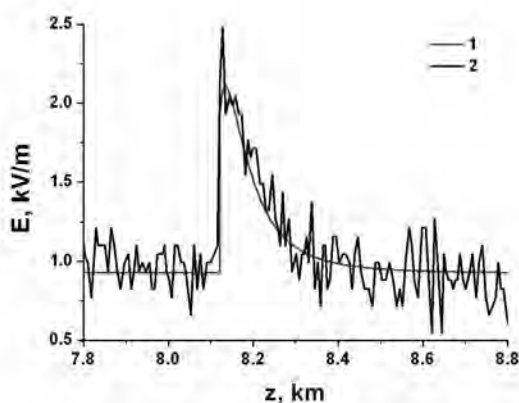


Рис. 2. Modeled (1) and observed (2) pulse of the electric field for the event of 20:26:47 UT, 7 August 1999.

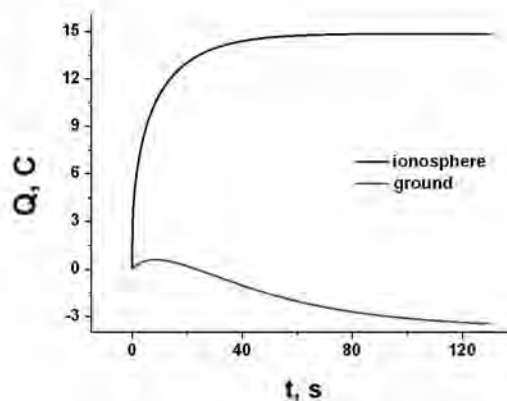


Рис. 3. Electric charge flowing to the ground and the ionosphere after the event of 20:26:47 UT, 7 August 1999.

В последние годы были предложены модели, учитывающие влияние на ГЭЦ анизотропии проводимости на больших высотах, особенности крупномасштабного распределения атмосферной проводимости [18,20]. Новый импульс развитию нестационарных моделей дало открытие и активное изучение разрядов в средней атмосфере, коррелирующих с грозовой активностью в тропосфере.

Общим направлением моделирования ГЭЦ является развитие самосогласованных моделей, способных учитывать и нестационарные эффекты, и неоднородность распределения проводимости, в том числе связанную с возмущениями потоков космических лучей, выпадениями энергичных частиц, выбросами аэрозольных частиц (например, при извержениях вулканов) и радиоактивности [19,20]. Представляется важным для теории ГЭЦ и развитие проблемы электрического динамо применительно к различным слоям атмосферы, включая среднюю атмосферу. В перспективе было бы очень важно развить комбинированные модели, учитывающие самосогласованным образом гидродинамику и электродинамику верхних слоев атмосферы с общей циркуляцией атмосферы и океана. Построение такой модели ГЭЦ еще впереди.

Изучение климатологии ГЭЦ началось после работ Вильямса, обратившего внимание на возможную зависимость молниевой активности и состояния глобальной цепи от средней температуры. Обсуждение экспериментальных результатов, связанных с эволюцией ионосферного потенциала в течение XX в., можно найти в работах [16,21]. К настоящему времени количество надежных и планомерных измерений этой величины недостаточно, чтобы можно было говорить о статистически значимых изменениях за несколько десятков лет, хотя в период с 60-го по 65-й год наблюдалось значимое увеличение ионосферного потенциала, связанное, очевидно, с испытаниями ядерного оружия в атмосфере. Недостаточным является и понимание эффектов «космической погоды».

В последнее время одним из важнейших инструментов изучения климата и его изменений стали физико-математические модели высокого разрешения. Учет атмосферных электрических явлений в климатических моделях связано, однако, с рядом проблем, важнейшей из которых является необходимость параметризации количества и интенсивности грозовых облаков и молниевых вспышек в зависимости от основных физических характеристик конвективной облачности [12]. Квазистационарные токи электрически активных облаков, как показывают расчеты и их сравнение с экспериментальными данными, являются основными генераторами ГЭЦ. Поэтому параметризации

вклада этих токов в величину V_i позволяет применить современные климатические модели высокого разрешения для исследования изменчивости глобальной цепи в условиях изменяющегося климата и дать прогноз ее поведения в будущем. Впервые в мире такие параметризации для распределенных проводников стороннего тока в сферической геометрии цепи с экспоненциально растущей проводимостью были найдены и включены в климатическую модель высокого разрешения INMCM4 в работе [14]. Были выполнены модельные расчеты ионосферного потенциала ГЭЦ в XX и XXI веке. Моделирование изменений климата в 1900-2005 г. было проведено с использованием наблюдавшихся концентраций радиационно активных газов и аэрозолей. Проведено сравнение с экспериментальными данными измерений, выполненных во второй половине XX века. Полученный в модели суточный ход, осредненный по всем дням, соответствует наблюдаемому.

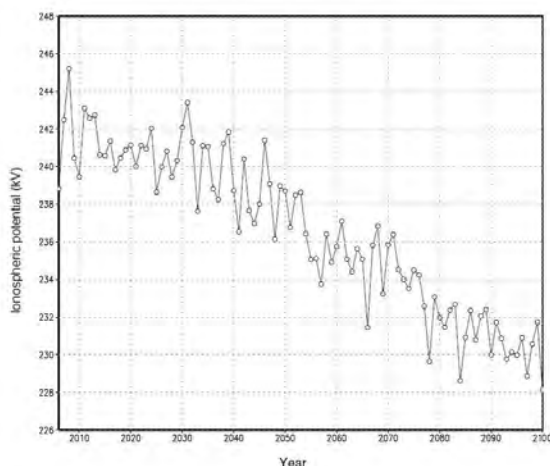


Рис. 4.

Максимум потенциала приходится на 16-20 час UST, когда конвекция в Африке и Южной Америке максимальна. Годовой ход потенциала имеет максимум летом северного полушария, когда количество случаев конвекции над континентами больше, что соответствует экспериментальным данным. Межгодовая изменчивость ионосферного потенциала в модели невелика - не более 1% от среднего значения, однако она хорошо коррелирует с температурой поверхности океана в районе Эль-Ниньо [14]. Установлено, что при развитии глобального потепления, связанного с ростом содержания парниковых газов, в модели происходит уменьшение потенциала (рис.4), что обусловлено уменьшением площади конвекции.

Особый интерес представляет изучение климатологии грозы и молнии, моделирование глобальной атмосферной электрической цепи в различных сценариях развития климата.

До сих пор не известно, существуют ли атмосферные глобальные электрические цепи в атмосферах других планет. Но вполне логичным выглядит предположение, что концепция ГЭЦ также применима и для других планет Солнечной системы. Общие критерии их существования изучались в работе [3], хотя этот анализ содержит ряд неточностей. Можно надеяться, что в ближайшее время нестационарные модели глобальной цепи будут доведены до уровня, позволяющего описывать крупномасштабные геофизические возмущения и долгосрочную эволюцию системы, продвинуться в понимании особенностей атмосферного электричества для других планет Солнечной системы.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ОФН РАН «Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследований атмосферных процессов», Программы Президиума РАН «Природная среда России», Грантов РФФИ № 10-05-01045, № 11-05-12055-офи-м-2011.

Литература

1. Анисимов С.В., Мареев Е.А. Геофизические исследования глобальной электрической цепи // Физика Земли, 2008, № 10. С. 8-18.
2. Мареев Е.А. Достижения и перспективы исследований глобальной электрической цепи // УФН, 2010, Т.180, №5. С.527-534.
3. Aplin K.L. Atmospheric electrification in the solar system // *Surv.Geophys.*, 2006, V.27. Pp. 63-108.
4. Bering E.A. III, Few A.A., Benbrook J.R., The global electric circuit // *Physics Today*. 1998. Pp.24-30.
5. Chronis T.G., Goodman, S.J., Cecil, D., Buechler, D., Robertson, F.J., Pittman, J., Blakeslee, R.J., 2008. Global lightning activity from the ENSO perspective. *Geophys. Res. Lett.* 35, L19804, doi:10.1029/2008GL034321.
6. Davydenko S.S., Marshall, T.C., Stolzenburg, M., 2011. Modeling the Electric Properties of MCS Stratiform Regions and Their Contribution to the Global Circuit, 07-12 August, 2011, Rio de Janeiro, Brazil, paper 230.
7. Gringel W, Rosen J M, Hofmann D J, in *The Earth's Electrical Environment* (Eds. E. P. Krider, R.G. Roble) (Washington: Nat. Acad. Press, 1986), p.166.
8. Liu C., Williams E.R., Zipser E.J., Burns G. Diurnal variation of global thunderstorms and electrified shower clouds and their contribution to the global electrical circuit // *J. Atmos. Sci.*, 2010, 67. Pp. 309-323.

9. Mach D.M., Blakeslee R.J., Bateman, M.G. Global electric circuit implications of combined aircraft storm electric current measurements and satellite-based diurnal lightning statistics // J.Geophys. Res., 2011, 116, doi:10.1029/2010JD014462.
10. Mallios S.A., Pasko V.P. Charge transfer to the ionosphere and to the ground during thunderstorms // J. Geophys. Res., 2012, V.117, A08303. Doi:10.1029/2011JA017061.
11. Mareev E.A. Formation of Charge Layers in the Planetary Atmospheres // Space Science Reviews, 2008, Vol. 137, N 1-4. Doi: 10.1007/s11214-008-9306-2.
12. Mareev E.A., 2011. Effects of atmospheric electricity in climate models. In.: Nonlinear waves. Nizhny Novgorod.
13. Mareev E.A., Anisimov, S.V. Lifetime of the thunderstorm electric energy in the global atmospheric circuit and thunderstorm energy characteristics // Atmos. Res., 2009, 91, N1-4. Pp.161-164.
14. Mareev, E.A., Volodin, E.M., 2011. Simulation of Lightning Activity and Global Electric Circuit Evolution Using a GCM Model. In: Proc. XIV Int. Conf. on Atmos. Electr. ICAE2011, Rio de Janeiro, Brazil, Aug 2011.
15. Mareev E.A., Yashunin S.A., Davydenko S.S., Marshall T.C., Stolzenburg M., Maggio C.R. On the role of transient currents in the global electric circuit // Geophys. Res. Lett., 2008, 35. Doi:10.1029/2008GL034554.
16. Markson R. The global circuit intensity: Its measurement and variation over the last 50 years // Bull. Am. Met. Soc., 2007. Pp. 223-241. Doi:10.1175/BAMS-88-2-223.
17. Rycroft M.J., Harrison R.G., Nicoll K.A., Mareev E.A. An overview of Earth's global electric circuit and atmospheric conductivity // Space Sci. Rev., 2008, 137, N 1-4. Doi: 10.1007/s11214-008-9368-6.
18. Rycroft M.J., Harrison R.G. Electromagnetic atmospheric-plasma coupling: The global atmospheric electric circuit, Space Sci. Rev., 2011, 137, N 1-4. Doi: 10.1007/s11214-011-9830-8.
19. Takeda M., Yamauchi M., Makino M., Owada T. Initial effect of the Fukushima accident on atmospheric electricity // Geophys. Res. Lett., 2011, 38, L15811. Doi:10.1029/2011GL048511.
20. Tinsley B.A. The global atmospheric electrical circuit and its effects on cloud microphysics // Rep.Progr.Phys., 2008, 71. Doi:10.1088/0034-4885/71/6/066801.
21. Williams, E.R., 2009. The global electrical circuit: A Review. Atmos. Res. 91, 140-152.
22. Williams, E.R., Mareev E.A. Recent Progress on the Global Electrical Circuit // Atmos. Res., 2012. V. 94 (in press).

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО ТОКА И ЕГО СУТОЧНОЙ ВАРИАЦИИ В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

О.В. Мареева, Е.А. Мареев, А.В. Калинин, А.А. Жидков
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород; ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород
mareeva@appl.sci-nnov.ru

Хорошо известно, что турбулентная конвекция способствует интенсивному перемешиванию заряженных частиц в неоднородном пограничном слое, и, как следствие, генерации вертикального электрического тока [1-7]. Как правило, этот ток направлен вверх, если вблизи поверхности Земли формируется положительный объемный заряд, в частности, благодаря электродному эффекту. До сих пор существует неопределенность в оценке вклада конвективного генератора в глобальную электрическую цепь (ГЭЦ). Это связано не только с недостатком данных, но также со сложностью теории. Дело в том, что интенсивность конвективного генератора зависит от ионосферного потенциала (ИП), который сам зависит от работы генератора. Строго говоря, исследование вклада конвективного генератора в ГЭЦ требует решения самосогласованной задачи. В работе [9] Виллет исследовал поведение турбулентного конвективного тока в неустойчивом пограничном слое и нашел, что конвективные токи действуют как локальный генератор, способный понижать суммарную плотность направленного к земле тока на фоне заданного ионосферного потенциала. Следующим шагом должно быть изучение глобальной роли конвективного тока. Этот вопрос рассматривался Морозовым в работе [8], где предложена параметризация генераторов в ГЭЦ и представлены оценки для ИП. В настоящей работе мы предлагаем простой аналитический подход для расчета ИП, индуцированного внешними электрическими токами в атмосфере. Этот подход позволил определить потенциал, индуцированный конвективным током, и исследовать его зависимость от геометрических параметров, интенсивности турбулентного движения в областях хорошей погоды и интенсивности других глобально-распределенных источников ГЭЦ.

Аналитическое выражение для вклада локализованных токов в ионосферный потенциал позволило сделать корректную оценку вклада глобально распределенного конвективного генератора в ГЭЦ. В предположении экспоненциального роста проводимости с высотой получено выражение для ионосферного потенциала в виде:

$$\varphi_i = \sum_i L_i^{cloud} \left(1 - \frac{S_c}{S_E} \frac{H}{R_\infty \sigma_0} F \right)^{-1}, \quad (1)$$

где L_i^{cloud} - суммарный вклад в ионосферный потенциал генераторов, связанных с грозowymi и слоисто-дождевыми облаками, σ_0 - проводимость атмосферы на нижней границе области, занятой сторонними токами, S_c - площадь этой области, S_E - площадь поверхности Земли, R_∞ - сопротивление столба атмосферы с единичной площадью, H - высота пограничного слоя, F - безразмерный коэффициент, возникающий в теории турбулентности погранслоя, меняющийся от 1 до 1,5. Полученные формулы справедливы для произвольных соотношений между линейными размерами заряженной области облака и высотой h и могут быть использованы, в частности, для численных расчетов ионосферного потенциала в климатических моделях. Для оценок использованы значения: $R_\infty = 2 \times 10^{17}$ Ом·м²; $\sigma_0 = 2 \times 10^{-14}$ Ом⁻¹·м⁻¹; $H = 1$ км, $F=1$ и $S_c / S_E \approx 0,4$. В этом случае $\varphi_i \cong 1,1 \sum_i L_i^{cloud}$, то есть конвективный генератор увеличивает ионосферный потенциал на 11%. При

более благоприятных значениях проводимости, толщины пограничного слоя и параметра F ионосферный потенциал может увеличиться за счет конвекции до 25 %.

Виллет [9] представил свои оценки влияния конвективного генератора в терминах уменьшения полной плотности направленного к земле тока: $J/J_p = R_\infty / (R_\infty + FR_L)$. В приведенном им примере в 15 часов дня $J/J_p = 0,6$; $F=1$, следовательно, J уменьшается на 40%. Наш анализ показал, что данный локальный эффект понижения общего тока усиливает глобальный эффект повышения потенциала ГЭЦ благодаря конвекции. Это особенно важно, чтобы подчеркнуть, что суточное перемещение области конвекции по поверхности Земли может быть причиной регулярных вариаций в суточной вариации ионосферного потенциала, усиливающих вклад грозowych генераторов.

Расчеты показывают, что конвекция усиливает вклад таких источников как грозowych/ливневые облака, тогда как величина этого усиления варьирует от 10 до 20% в зависимости от площади, охваченной интенсивной конвекцией, средней толщины пограничного слоя и электрического сопротивления атмосферы. Для иллюстрации приведем численные расчеты, выполненные в сферической модели с использованием метода Бубнова-Галеркина. Считалось, что ИП в отсутствие конвективного генератора формируется благодаря току облаков средней плотности $J^{ext} = 4 \times 10^{-6}$ CGS, который распределен по всей области $(r, \theta) \in [r_-, r_+] \times [-\pi/9, \pi/9]$. Конвективный ток со средней плотностью $J^{ext} = 1,5 \times 10^{-6}$ CGS распределен в области $(r, \theta) \in [r_E, \bar{r}] \times [-2\pi/9, \pi/9]$ в слое толщиной $r = 1$ км; $r_- = r_E + 5$ км, $r_+ = r_E + 10$ км, $r_E = 6370$ км. Для проводимости была взята простейшая экспоненциальная зависимость. Результаты численных расчетов представлены на Рис.1,2. Видно, что для принятых значений плотности тока возрастание ИП составляет 15-20%.

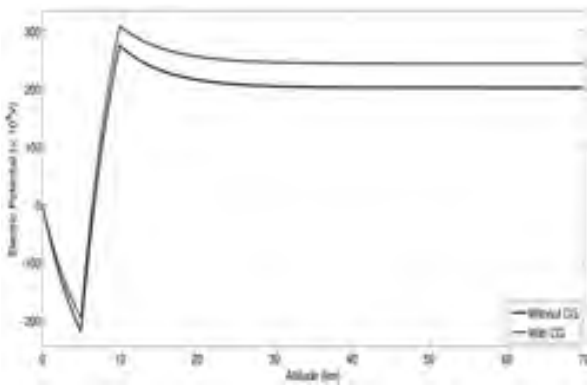


Рис.1. Высотный профиль потенциала над экватором без учета и с учетом конвективного генератора

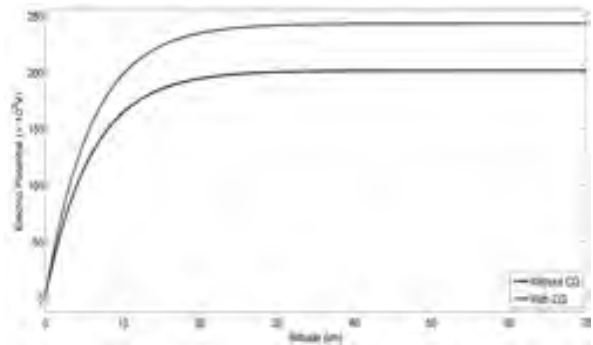


Рис.2. Высотный профиль потенциала над полюсом без учета и с учетом конвективного генератора

Выдвинута гипотеза о том, что суточные изменения площади конвекции на земной поверхности могут быть причиной регулярных изменений в суточной вариации ионосферного потенциала, усиливающих вклад генераторов, связанных с грозовой/ливневой облачностью. Данная гипотеза может объяснить особенности унитарной вариации атмосферного электрического поля. С использованием

сферической модели ГЭЦ проведены численные расчеты, иллюстрирующие роль конвективного генератора в поддержании ионосферного потенциала и особенности его суточной вариации. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства Российской Федерации (договор № 11.G34.31.0048) и Программы Президиума РАН №4.

Литература

1. Мареев Е.А. Исследования глобальной электрической цепи: достижения и проблемы// УФН, 180, N5, 527-534, 2010.
2. Anisimov S.V., E.A. Mareev, N.M. Shikhova, and Dmitriev E.M. Universal spectra of electric field pulsations in the atmosphere // Geophys. Res. Lett., 29, N24, 70-1-70-4, 2002.
3. Hoppel W.A., R.V. Anderson, and Willett J.C. Atmospheric electricity in the planetary boundary layer, in The Earth's Electrical Environment, edited by E.P.Krider and R.G.Roble, pp.149-165, National Academy Press, Washington, D.C., 1986.
4. Israelsson S., E. Knudsen, and Anisimov S.V. Vertical profiles of electrical conductivity in the lowermost part of the turbulent boundary layer over flat ground // J.Atm.Terr.Phys., 56, 1545-1550, 1994.
5. Kulkarni M.N., A new empirical relation to estimate atmospheric electrical columnar resistance, effect of changing aerosol concentration and cosmic ray ionization on it: a quantitative study //J.Geophys.Res., 114, D016107, 2009.
6. Mareeva O.V., E.A. Mareev, S.V.Anisimov, and Israelsson S. Synergetic models of space charge structures in the atmosphere, Proc. 11th Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Huntsville, USA, June 1999, p. 614-617.
7. Markson R. The global circuit intensity: its measurement and variation over the last 50 years // Bul. Am. Meteorol. Soc., doi:10.1175/BAMS-88-2-223,223-241, 2007.
8. Morozov V.N. The influence of convective current generator on the global current // Nonlin. Proc. Geophys., 13, 243-246, 2006.
9. Willett J.C. Fair-weather electric charge transfer by convection in an unstable planetary boundary layer // J.Geophys.Res., 84(C2), 703-718, 1979.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ВАРИАЦИЯМИ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ У ЗЕМЛИ И МЕТЕОТРОПНЫМИ РЕАКЦИЯМИ У КАРДИОЛОГИЧЕСКИХ И ГИПЕРТОНИЧЕСКИХ БОЛЬНЫХ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

И.Х. Машуков¹, С.Л. Бжекшиев², А.А. Ташилова¹, Г.Г. Щукин³
1 - ФГБУ "Высокогорный геофизический институт"

2 - Базовый республиканский детский реабилитационный центр «Радуга», г. Нальчик

3 - Военно – космическая академия имени А.Ф. Можайского
hazret53@rambler.ru

Вопрос о влиянии метеопараметров на состояние человека остается открытым, поскольку главную трудность в ее решении составляет необходимость объединения усилий различных специалистов - метеорологов и геофизиков, медиков и биологов, физиков и химиков. Состояние атмосферы характеризуется в основном температурой и влажностью воздуха, атмосферным давлением, ветром, облачностью, атмосферными осадками - это параметры, которые приводятся во всех системах метеопрогноза. Однако, помимо основных факторов, рассмотренных выше, на живые организмы, в том числе и на человека, воздействуют и другие факторы, которые влияют на биологические процессы. Это различные электрические и электромагнитные явления, которые получили обобщенное название атмосферного электричества [1].

В данной работе приведены результаты исследований, которые в хаотическом и непрогнозируемом воздействии напряженности электрического поля атмосферы на людей с сердечно-сосудистыми заболеваниями помогут обнаружить некоторые общие закономерности и уловить определенные погодные паттерны, важные с медико-физической точки зрения.

В предыдущих работах [2,3] были начаты исследования по выявлению скрытых закономерностей влияния изменения напряженности электрического поля атмосферы на обострение гипертонической и сердечно-сосудистой болезней за период 2005-2006 гг.. В данной статье используются данные 2007 года, первого полугодия (январь-июнь). Методом факторного анализа проведен анализ зависимости обострения некоторых заболеваний от вариаций напряженности электрического поля у земли [4]. Установлено, что корреляционные связи между исследуемыми параметрами незначительны, хотя в некоторые периоды достигают значений $r = -0,59$ при допустимой ошибке $p < 0,01$, а в дни с определенным ходом напряженности имеется обратная высокая зависимость количества вызовов по следующим болезням: гипертонический криз, сосудистые заболевания, стенокардия.

Литература

1. Биометеорология человека. Тезисы Международного Конгресса 18-22 сентября 2000г., Санкт-Петербург.- СПб, Гидрометеиздат, 2000, 187 с.
2. О.А. Аджиева, С.Л. Бжекшиев, И.Х. Машуков, Х.Х. Машуков. Исследование связи между изменениями градиента потенциала электрического поля атмосферы у земли и метеотропными реакциями у кардиологических и гипертонических больных. Сб. трудов VI Российской конференции по атмосферному электричеству. Нижний Новгород, 2007, с. 263 – 264.
3. Аджиева О.А, Бжекшиев С.Л, Машуков И.Х., Гуков Р.А. Исследование зависимости метеотропных реакций у кардиологических и гипертонических больных от вариаций градиента потенциала электромагнитного поля атмосферы у земли. Материалы IX конференции молодых ученых. К-Б НЦ РАН, г. Нальчик, 2008.
4. А. Бююль, П. Цефель. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей. 2002.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ НА СОДЕРЖАНИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ

Х.Х. Машуков, Л.З. Жинжакова, Д.Д. Кулиев, Т.В. Реутова
ФГБУ "Высокогорный геофизический институт"
hazret53@rambler.ru

Молниевые разряды способны переводить атмосферный азот в химически связанное состояние, однако неизвестно, насколько протекающие в облаках и околооблачном пространстве электрохимические процессы могут повлиять на загрязнение атмосферных осадков производными азота, прежде всего нитрит-ионами, являющимися первичными продуктами растворения оксида азота. В течение 3-х теплых периодов (апрель-сентябрь) 2009-2011 г.г. в 2-х пунктах предгорно-низкогорной зоны Центрального Кавказа проводились наблюдения за содержанием в атмосферных осадках неорганических соединений азота (нитритов, нитратов и ионов аммония). Пункты Нальчик и Кашхатау располагались в 25 км друг от друга по линии север-юг. Измеренные концентрации сопоставили с данными по грозовой активности в районе, полученными системой грозорегистрации LS8000, установленной на Северном Кавказе в 2008 году. Система грозорегистрации молниевых разрядов позволяет регистрировать молниевые разряды, происходящие над всей территорией ЮФО и СКФО. Эта система позволяет получать информацию о месте (с точностью до 0,0001 градуса по долготе и широте) и времени (с точностью до 100 наносекунд) о каждом молниевом разряде. Для молниевых разрядов Облако-Земля определяются также величины тока в канале молнии, полярность разряда, время нарастания и спада тока в канале молниевое разряда. Для данной работы были выделены молниевые разряды, произошедшие над территорией, охватывающей г. Нальчик и п. Кашхатау, и ограниченной следующими координатами: 43,24° <Широта> 43,56°, 43,25° <Долгота> 43,71°, что соответствует площади 36×36 кв.км. Эта площадка показана на рис. 1. Северная часть находится в предгорной зоне, южная достигает подножия Скалистого хребта, являющегося естественным орографическим барьером.

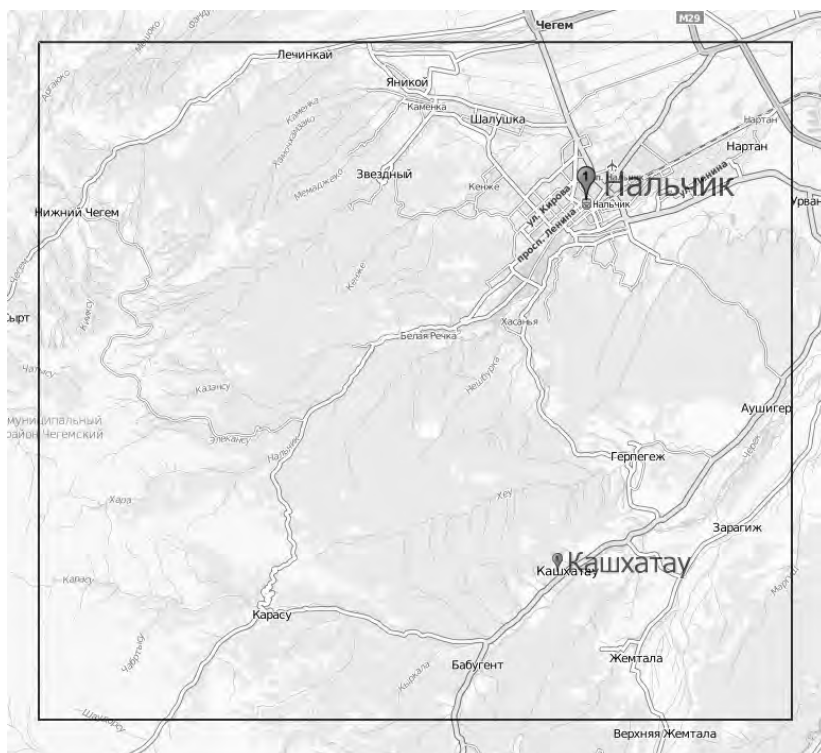


Рис.1. Контрольная территория

За время наблюдений было проанализировано около 150 случаев выпадения осадков в Нальчике и 120 случаев в Кашхатау. Полученные данные представлены в сводной таблице 1. Случаи выпадения дождей относили к грозовым при регистрации более 100 разрядов. Сравнение 2 рядов наблюдений с грозами и без них по таким показателям, как средняя концентрация, медиана, центральный диапазон концентраций (диапазон между 1-ым и 3-им квартилем), минимальная и максимальная концентрация, не выявило существенных различий между содержаниями неорганических соединений азота в осадках из грозовых и не грозовых облаков. Только минимальные концентрации NO_3^- и NH_4^+ в дни с грозами были заметно выше, чем их минимальные значения в дни без гроз. Так концентрация NO_3^- не опускалась ниже 0,5

мг/л, а NH_4^+ - не ниже 0,11-0,14 мг/л. В то же время минимумы в рядах наблюдений без гроз могли быть ниже предела определения, составляющего 0,1 мг/л для нитрат-ионов и 0,01 мг/л для ионов аммония.

При интенсивных грозах (более 3000 разрядов за один процесс на контролируемой территории) также не проявлялось тенденции к повышению уровня загрязнения атмосферных осадков соединениями азота. Центральные диапазоны для NO_3^- ионов составили 2,69÷4,03 мг/л в пункте Нальчик и 1,91÷3,20 мг/л в Кашхатау, что находится в пределах центрального диапазона общей выборки. Что же касается токсичных нитрит-ионов, то величина их концентраций в большинстве случаев при грозах различной интенсивности находилась в типичном для региона диапазоне 0,04-0,05 мг/л [1] и падала до 0,01-0,02 мг/л, если увеличивалось количество осадков. В атмосферных осадках зимнего периода, выпадающих на территории г. Нальчик, концентрации NO_2^- в центральном диапазоне составили 0,20 ÷ 0,04 мг/л, а медиана равнялась 0,09-0,1 мг/л, в п. Кашхатау в этот же период концентрации сохранялись на уровне 0,06-0,04 мг/л [2]. Таким образом, вклад гроз в загрязнение осадков нитритами не велик по сравнению с антропогенными источниками.

Таблица 1. Содержание неорганических соединений азота в атмосферных осадках в теплые периоды (май-сентябрь)

Значение	Концентрация, мг/л					
	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+
	В атмосферных осадках при грозах			В атмосферных осадках без гроз		
Пункт Нальчик						
Среднее	0,1350	4,31	1,43	0,182	4,59	1,68
Медиана	0,042	2,79	1,68	0,045	3,12	1,32
Минимальное	0,005	0,49	0,14	0,005	0	0,015
Максимальное	4,823	7,12	11,55	2,940	7,58	9,45
Центр.диапазон	0,020÷0,046	1,71÷4,15	0,68÷1,56	0,031÷0,071	1,98÷5,10	0,72÷1,76
Пункт Кашхатау						
Среднее	0,036	2,98	0,87	0,030	3,54	1,10
Медиана	0,036	2,66	0,84	0,026	2,60	0,81
Минимальное	0,001	0,54	0,11	0,004	0	0
Максимальное	0,130	9,32	1,82	0,092	6,38	4,50
Центр.диапазон	0,016÷0,044	1,62÷3,93	0,57÷1,15	0,015÷0,043	1,00÷4,15	0,36÷1,50

Сопоставительный анализ данных системы грозопеленгации и содержания соединений азота в атмосферных осадках показал, что в настоящее время в условиях северного макросклона Центрального Кавказа антропогенные источники загрязнения преобладают над природными, связанными с грозовой активностью.

Литература

1. Реутова Т.В., Жинжакова Л.З., Машуков Х.Х. Исследование содержания неорганических соединений азота в атмосферных осадках предгорно-низкогорной зоны Центрального Кавказа// Известия ВУЗов Северо-Кавказский регион. Физика атмосферы. 2010. Спецвыпуск. С. 85-87.
2. Реутова Т.В., Гущина Л.П., Жинжакова Л.З., Машуков Х.Х. Поступление поллютантов с атмосферными осадками в условиях предгорно-низкогорной зоны Центрального Кавказа на урбанизированную (г. Нальчик) и фоновую территорию./ Материалы VI международной научной конференции. «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон» 2-4 июля 2012. Санкт-Петербург, С. 203-204

ПРОЕКТ АЭРОСТАТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АТМОСФЕРЫ НА ВЫСОТАХ ДО 300М

П.А. Микрюков¹, Ю.В. Шлюгаев²

1 - ИПФ РАН, Нижний Новгород, Россия

2 - ИПФ РАН, Нижний Новгород, Россия; Российский новый университет, Москва, Россия
peterm@appl.sci-nnov.ru

Аэростатная система создается для исследования приземного слоя атмосферы от поверхности Земли до высот в несколько сотен метров. Такие системы используются для изучения пограничного слоя атмосферы и, в частности, для калибровки наземных датчиков для дистанционного определения параметров приземного аэрозоля [1]. Исследования предполагают измерения электрических полей, аэрозольного и ионного состава, пульсаций скорости ветра и других величин в зависимости от наполнения приборного комплекса. В этот комплекс на первом этапе вошли: видеорегистратор, магнитный и электрический датчики. Общий вес с системой регистрации данных составил около 10кг. Для поднятия такого груза на заданную высоту, было предложено использовать гелиевый аэростат в форме дирижабля, поскольку такая форма обеспечивает наиболее высокую устойчивость к ветровым нагрузкам. Дирижабль объемом 18 куб. м (для его наполнения достаточно 4-х 40-литровых баллонов сжатого гелия) имеет размеры: диаметр оболочки – 2,2 м; длина оболочки – 7,0 м [2]. Оболочка изготавливается из ткани корейского производства PolyTaffeta 190 T PU 2000 с полиуретановым покрытием. Наружный слой ткани – серебристого цвета, внутренний – чёрного, для защиты латексного вкладыша внутри оболочки от света и ультрафиолетового излучения. В тканевое хвостовое оперение вставляются пластиковые трубки ф12-14 мм для придания плоскостям оперения заданной формы. Внутри тканевой оболочки вставляются латексные вкладыши (или латексные оболочки) типа "600" для наполнения гелием в количестве 2-х штук.

Для поднятия на такую высоту не маловажным фактором является выбор привязного шнура, он должен быть легким и прочным. Обычный полиамидный (капроновый) 16-прядный шнур конечно же не подходит, так как 1 погонный метр шнура диаметром 3 мм вес составит 6 грамм на метр и разрывной нагрузкой 280 кгс. При выборе шнура с большей разрывной нагрузкой 700 кгс диаметр шнура составит 8 мм и весом в 33 грамм на метр, что в пересчете на всю длину шнура составит 9,9 кг. Таким образом, встал вопрос, а какой же шнур нужно использовать? Рассмотрев возможные варианты, мы остановились на шнуре кевларовом высокопрочном. Шнур кевларовый – кевларовый фал, совмещающий в себе максимальные разрывные нагрузки, практически нулевое удлинение под нагрузкой и минимальный диаметр и вес. Несущий кевларовый сердечник защищен от разрушительного действия ультрафиолета оплеткой из высокопрочного полиэфира. При диаметре троса в 3 мм его разрывная нагрузка составляет 580 кгс и вес на 1 погонный метр всего лишь 2 гр, что при пересчете на всю длину шнура составляет 600 гр.



Рис. 1 Общий вид прицепа с установленными на нем гелиевыми баллонами, лебедкой, ящиком для оборудования и материалов.

Для сматывания и разматывания шнура было предложено использовать аэростатную лебедку с канатоукладчиком. Ведь при такой длине шнура одной из задач является не только удержание аэростата на одном месте, но и как не запутать его при такой длине в 300м.

Аэростатная лебедка была сделана на заказ в одной из конструкторских бюро [3]. Для конструкторов было предложено техническое задание, в которое входило: тяговое усилие, не менее: 0,3 тонны; скорость навивки каната, не менее: 0,33 м/с; канатоемкость, не менее 350 м (диаметр каната 3мм); двигатель мощностью, не менее: 1,1 кВт, 220В, со встроенным тормозом; канатоукладчик к лебедке; размеры лебедки, не более: длина – 600мм, ширина – 450мм, высота – 570 мм; масса лебедки, не более: 50 кг. Поэтому использование такой лебедки не только упрощает развертывание аэростатной системы, но и делает её более безопасной.

И для описанной выше системы встал вопрос, каким образом осуществить доставку на место развертывания? Пусковой площадкой аэростата служит 4-х метровый двухосный бортовой прицеп [4], доработанный специалистами ИПФ РАН. Прицеп является базовым элементом всей системы, определяющим её технические характеристики: – количество баллонов, определяющих максимальный объем используемого аэростата; – производительность оборудования для накачивания и сдувания оболочки; – параметры лебедки (скорость намотки и смотки, тяговое усилие). Кроме того масса прицепа с оборудованием, должна обеспечивать надежное удержание применяемого аэростата при максимальной скорости ветра. На большой платформе (4000мм*2100мм) компактно расположились: 10 баллонов с гелием закрепленных на деревянном каркасе; магистральная труба (рампа) и редуктор для понижения давления; аэростатная лебедка с канатоукладчиком на барабан, которой намотан высокопрочный кевларовый шнур; ящики для перевозки сложенной оболочки аэростата и генератора 220В.

На рисунке приведен общий вид прицепа с установленными на нем гелиевыми баллонами, лебедкой, ящиком для оборудования и материалов. В данном случае размеры аэростата соответствуют модели АСГ-18. При необходимости может использоваться аэростат большего объема.

Таким образом, проведена разработка и начато изготовление универсальной аэростатной системы для измерений широким кругом приборов в интервале высот 0-300м, сочетающая удобство развертывания и эксплуатации с высокой мобильностью.

Работа подготовлена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований ОФН РАН «Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследований атмосферных процессов», Программы Президиума РАН «Природная среда России», Грант РФФИ N 10-05-01045-«Особенности электрической структуры и динамики грозовых облаков», Грант РФФИ N 11-05-12055-офи-м-2011 «Региональные последствия изменений климата, обусловленных изменчивостью содержания метана в атмосфере, и развитие систем их мониторинга», Грант РФФИ, N 11-05-97051-р_поволжье_a «Исследование региональной грозовой активности и разработка инструментальных методов ее оценки».

Литература

1. E. O'Connor, A. J. Illingworth et al. BALLOON VALIDATION OF REMOTELY SENSED AEROSOL PROPERTIES AND TUBULENCE I N THE BOUNDARY LAYER. Proceedings of the 8th International Symposium on Tropospheric Profiling 19–23 October, 2009. Delft, The Netherlands.
2. Интернет сайт <http://www.aviatron.ru/helium-balloons>.
3. Интернет сайт <http://www.tali.ru/about.html>.
4. Интернет сайт <http://furgon.ruprom.net/p2514512-pritsep-tandem-bort.html>.

АНАЛИЗ ПЕРИОДОВ АНОМАЛЬНЫХ УСИЛЕНИЙ ВАРИАЦИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ 8 – 35ГЦ

С.И. Молодых, Р.А. Рахматулин, Ю.В. Липко, А.Ю. Пашинин
ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия
sim@iszf.irk.ru

В атмосфере Земли существует несколько резонаторов для электромагнитных волн различных типов. Одним из таких резонаторов является Шумановский резонатор - сферическая полость между Землей и ионосферой. Резонансы в Шумановском резонаторе возникают на основной моде волны E-типа, имеющей радиальную составляющую электрического поля и горизонтальную - магнитного. Собственные частоты этого резонатора без учёта потерь $f_n \approx (c/2\pi a)(n(n+1))^{1/2}$ где $a = 6370$ км - радиус Земли, c - скорость света, $n = 1, 2, \dots$ - целое число ($f_n \text{ max} \approx 8, 14, 20, 26, 32, \dots$ Гц.) [1]. Согласно современным представлениям основными источниками возбуждения Шумановского резонатора являются вертикальные молниевые разряды. Кроме того, определенный вклад могут вносить и электромагнитные колебания, генерируемые в магнитосфере [1]. Характеристики резонансных колебаний существенно зависят от времени суток и сезона. Кроме этих квазипериодических вариаций наблюдаются значительные (более чем на порядок) возрастания амплитуды колебаний. В данной работе на основе данных о вариациях горизонтальных компонент магнитного поля в диапазонах частот Шумановского резонанса, полученных на нескольких станциях, проведен анализ периодов значительных увеличений амплитуды этих колебаний, и представлены полученные результаты.

Для анализа нами были использованы данные измерений СНЧ вариаций горизонтальных компонент магнитного поля на обсерваториях: РИ НАН (49.9N, 36.9E), Томского государственного университета (56.5N, 85.0E), Норильской обсерватории ИСЗФ СО РАН (61.2N, 88.0E), Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН (51.6N, 100.9E), а также данные о грозовой активности и метеоданные за первую половину 2012г. В результате проведенного анализа было выявлено, что лишь малая часть наблюдавшихся значительных возрастаний амплитуды вариаций на резонансных частотах связана с грозовой активностью. В то же время все наблюдавшиеся возрастания происходили в периоды прохождения атмосферных фронтов в данном регионе.

На рис. 1 представлена характерная запись возрастания амплитуды вариаций, которая наблюдалась в Томске 11.04.2012. В это время не происходило ни существенного повышения глобальной грозовой активности, ни локальных гроз в данном регионе. Роста геомагнитной активности также не происходило. Можно отметить только небольшое возрастание уровня высокочастотного электромагнитного шума в диапазоне 2-4МГц. По метеоданным в это время в районе Томска находился атмосферный фронт.

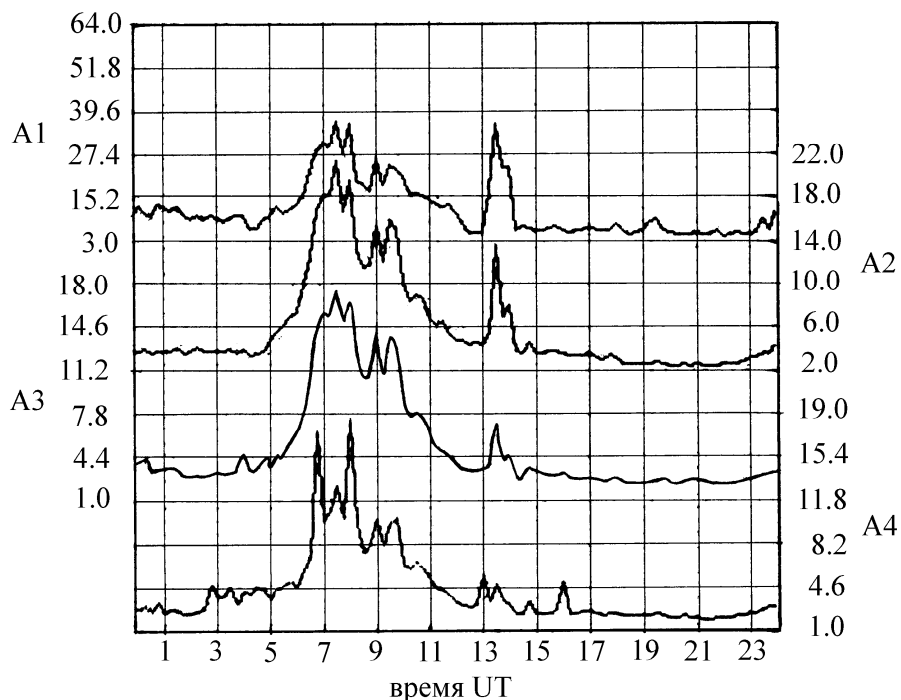


Рис.1. Амплитуды первых 4-х гармоник (A1, A2, A3, A4), измеренные в Томске 11 апреля 2012г.

На рис.2 приведены спектрограммы вариаций магнитного поля за 11.04.2012г. – на верхней панели для горизонтальной компоненты в Томске, а на нижней для E-W компоненты в Норильске. Сопоставляя данные спектрограммы можно видеть, что в период с 6UT до 10UT на обеих обсерваториях наблюдалось значительное усиление низкочастотных вариаций, отметим, что в это время на обсерваториях РИ НАН и Саянской, которые значительно удалены от Томска по долготе, существенного усиления низкочастотных вариаций не наблюдалось. Также отметим, что в Томске, где находился атмосферный фронт, наблюдалось усиление вариаций во всей низкочастотной части спектра, в то время как в Норильске только на основной резонансной частоте.

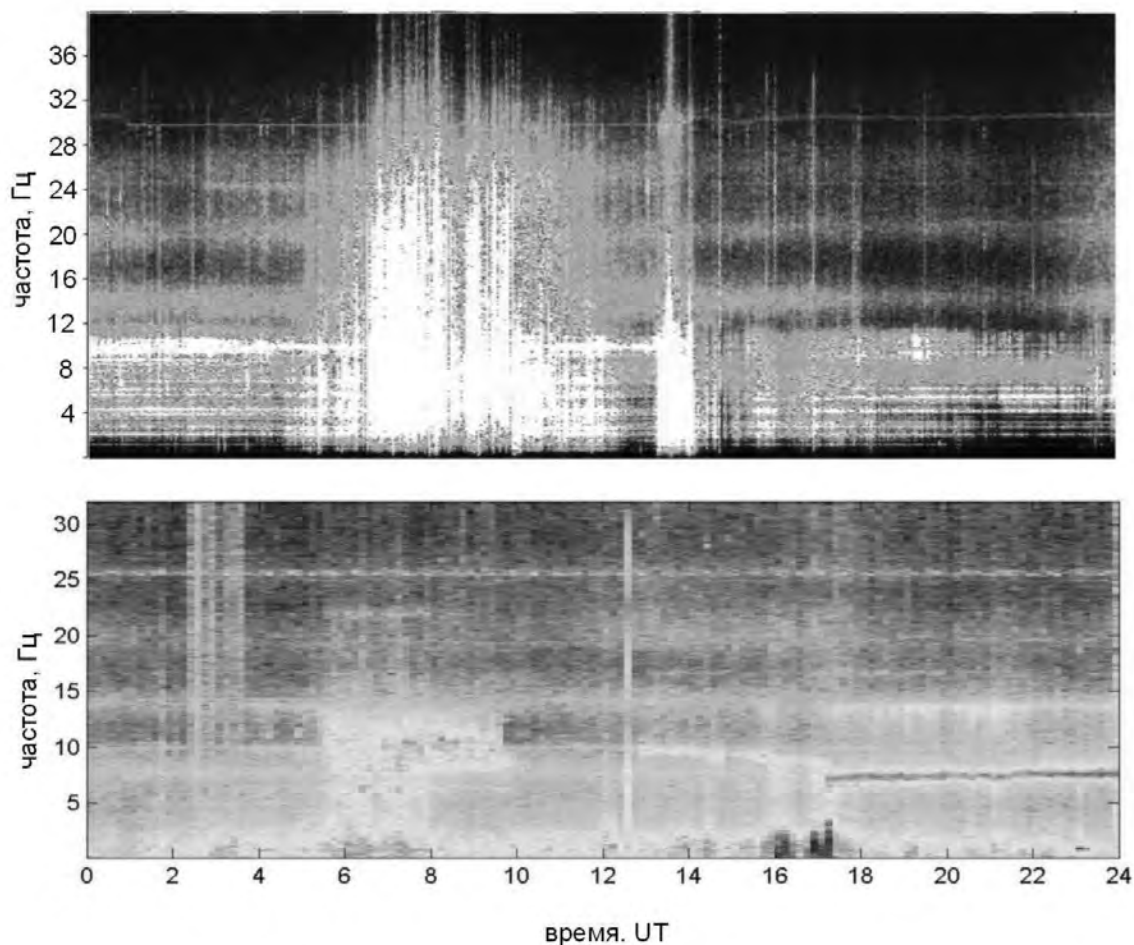


Рис.2. Спектрограммы низкочастотных вариаций горизонтальной компоненты магнитного поля на обсерваториях Томска и Норильска.

Проведенный нами анализ комплекса данных в периоды значительных возрастаний низкочастотных электромагнитных вариаций на частотах Шумановского резонанса позволяет сделать вывод о том, что источником, возбуждающим колебания в Шумановском резонаторе является не только грозная активность, но и другие метеорологические процессы. Одним из таких процессов является, по нашему мнению, электромагнитное излучение, происходящее при электризации ледяных кристаллов, во время мощных турбулентных движений в облаках внутри атмосферного фронта.

Получено, что в периоды усиления вариаций на частотах Шумановского резонанса, также значительно возрастает амплитуда шумовой компоненты со спектром, понижающимся в сторону высоких частот. Показано, что кроме грозной активности, наблюдающейся в низкоширотных областях, определенный вклад в возбуждение Шумановского резонатора дают метеорологические явления на средних и высоких широтах.

Литература

Блиох П.В., Николаенко А.П., Филиппов Ю.Ф. Глобальные электромагнитные резонансы в полости Земля-ионосфера. - Киев: Наукова думка, 1977

О ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ АТМОСФЕРЫ

В.Н. Морозов

Главная геофизическая обсерватория им.А.И.Воейкова Росгидромета, Санкт-Петербург, Россия
vn.morozov@inbox.ru

1. Введение.

Электрическое поле атмосферы зависит от многих физических процессов, происходящих в земной атмосфере. К ним относятся грозовая активность по всему земному шару, которая имеет временной характер, зависят от времени генераторы электрического поля, действующие в верхних слоях атмосферы. Одной из важных величин, определяющих электрическое поле атмосферы, является потенциал ионосферы, который определяется всеми тремя видами генераторов. В настоящем докладе на основе одномерного нестационарного уравнения для потенциала электрического поля рассчитываются временные изменения напряженности электрического поля и плотность электрического тока в нижней атмосфере, создаваемые временными вариациями потенциала ионосферы.

2. Постановка задачи.

Основное уравнение используемое для теоретического исследования временных вариаций электрического поля атмосферы имеет следующий вид[1]:

$$\frac{1}{4\pi} \frac{\partial^3 \varphi}{\partial t \partial z^2} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \lambda(z) \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right\} = 0, \quad E_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z} \quad (1)$$

где: φ - электрический потенциал, E_z - напряженность электрического поля, $\lambda(z)$ - электрическая проводимость атмосферы, t - время, z - вертикальная координата, направленная вверх перпендикулярно земной поверхности.

Электрическая проводимость представляется выражением:

$$\lambda(z) = \lambda_0 e^{\alpha z}, \quad \alpha = (0.2 - 0.3) \text{ км}^{-1} \quad (2)$$

где: λ_0 - электрическая проводимость атмосферы вблизи земной поверхности.

Краевые условия для решения уравнения (1) имеют следующее представление:

$$\varphi(z=0, t) = 0, \quad \varphi(z \rightarrow \infty, t) = \varphi_\infty(t), \quad E_z(z, t=0) = -\frac{\partial \varphi}{\partial z}(z, t=0) \quad (3)$$

Решение уравнения (1) при краевых условиях (3) проводилось с помощью преобразования Лапласа. Были получены следующие выражения для образов преобразования Лапласа плотности атмосферного электрического тока $\hat{j}_0(p)$ и напряженности электрического поля $\hat{E}_z(z, p)$, связанные с образом потенциала ионосферы $\hat{\varphi}_\infty(p)$:

$$\hat{j}_0(p) = -\frac{\alpha p}{4\pi \ln(1 + p\tau_0)} \left[\hat{\varphi}_\infty(p) + \int_0^\infty \frac{E_z(z, 0)}{p + 4\pi\lambda_0 e^{\alpha z}} dz \right] \quad (4)$$

$$\hat{E}_z(z, p) = \frac{E_z(z, 0)}{p + 4\pi\lambda_0 e^{\alpha z}} - \frac{\alpha p}{(p + 4\pi\lambda_0 e^{\alpha z}) \ln(1 + p\tau_0)} \left[\hat{\varphi}_\infty(p) + \int_0^\infty \frac{E_z(z, 0)}{p + 4\pi\lambda_0 e^{\alpha z}} dz \right] \quad (5)$$

где: $\tau_0 = (4\pi\lambda_0)^{-1}$

3. Обсуждение результатов

Используя выражения (4) и (5) можно перейти к оригиналам преобразования Лапласа [2] и основные выражения для этих величин приведены в [1]. На основе полученных выражений были проведены численные расчеты $E_z(0, t)$ для случая когда $\varphi_\infty(t) = \varphi_\infty^0(1 - e^{-t/\tau})$, $E_z(z, 0) = 0$. Результаты этих расчетов представлены в таблицах 1 и 2. В таблице 3 представлены результаты расчетов для случая, когда $\varphi_\infty(t) = 0$. Отметим, что плотность электрического тока $j_0(t)$ определяется выражением:

$$j_0(t) = \lambda_0 E_z(0, t) + \frac{1}{4\pi} \frac{\partial E_z(0, t)}{\partial t} \quad (6)$$

Т.е. плотность электрического тока в атмосфере является суммой плотности тока проводимости и плотности тока смещения.

Таблица 1. Релаксация электрического для $\varphi_{\infty}(t) = \varphi_{\infty}^0(1 - e^{-t/\tau})$, $\tau = 100с.$, $\tau_0 = 600с$

t/τ	$-E_z(0,t)/\alpha\varphi_{\infty}^0$
0.1	0.026
1.0	0.281
6.0	0.791
10	0.910

Таблица 2 . Релаксация электрического для $\varphi_{\infty}(t) = \varphi_{\infty}^0(1 - e^{-t/\tau})$, $\tau \ll \tau_0.$, $\tau_0 = 600с$

t/τ_0	$-E_z(0,t)/\alpha\varphi_{\infty}^0$
0.1	0.459
1.0	0.852
10	1.000

Таблица 3. Диссипация электрического поля и плотности тока

t/τ_0	e^{t/τ_0}	$E_z(0,t)/E_z(0,0)$	$j_0(t)/\lambda_0 E_z(0,0)$
0.1	0.905	0.541	0.663
1.0	0.368	0.148	0.033
10	4.54×10^{-5}	1.03×10^{-5}	0.00.....

Мы получили также выражение для плотности максвелловского тока, предполагая гармонические вариации потенциала ионосферы : $\varphi_{\infty}(t) = \varphi_{\infty}^0 \sin \omega t$,где ω -угловая частота:

$$j_0(t) = \sqrt{A^2 + B^2} \sin(\omega t + \chi) , A = -\alpha\lambda_0\varphi_{\infty}^0\omega\tau_0 \frac{\pi/2 - \arctg(\omega\tau)}{1/4 \ln^2(1 + \omega^2\tau_0^2) + [\pi/2 - \arctg(\omega\tau_0)]^{-1}}$$

$$B = -(\alpha\lambda_0\varphi_{\infty}^0/2)\omega\tau_0 \frac{\ln(1 + \omega^2\tau_0^2)}{1/4 \ln(1 + \omega^2\tau_0^2) + [\pi/2 - \arctg(\omega\tau_0)]^{-1}} , \operatorname{tg}\chi = \frac{B}{A} , \sin \chi = \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2}} \quad (7)$$

Плотность тока равна $j_0(t) \approx -\alpha\varphi_{\infty}^0\lambda_0 \sin \omega t$ и $B \approx 0$ для $\omega \ll 4\pi\lambda_0$. В общем случае имеет место сдвиг фаз между колебаниями потенциала ионосферы и плотностью максвелловского тока, определяемый проводимостью атмосферы в месте измерения этого тока. И если плотность тока измеряется в различных областях земного шара, то будет также возникать разность фаз благодаря различию проводимости в этих областях. Примером такого глобального эксперимента является эксперимент Рунке- Таммета- Арольда [4], в котором разность фаз составляла 40 сек. Аналогичные выводы были сделаны в работе [3].

Литература

- 1 Морозов В.Н. Математическое моделирование атмосферно-электрических процессов с учетом влияния аэрозольных частиц и радиоактивных веществ. - СПб: РГГМУ, 2011, 253с.
2. Диткин В. А., Прудников А.П. Интегральные преобразования и операционное исчисление -.М. : Наука, 1974, 542 с.
3. Таммет Х.Ф. Отклик наземной антенны на вариации потенциала ионосферы// Магнитосферные исследования, 1990, №15, с.5-9.
4. Runke L.H., Tammet X.F., Arold M. Atmospheric electric currents at widely spaced stations// Proceeding in atmospheric electricity. Hampton: A. Deepak Publ., 1983. P.76-78

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ , СОЗДАВАЕМОГО ИОНОСФЕРНЫМ ГЕНЕРАТОРОМ В НИЖНИХ СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ

В.Н. Морозов

Главная геофизическая обсерватория им.А.И.Воейкова Росгидромета, Санкт-Петербург, Россия
vn.morozov@inbox.ru

1. Введение

Решается задача о распределении в нижних слоях атмосферы электрического поля, создаваемого ионосферным генератором, который действует в верхних слоях атмосферы, для атмосферы с электрической проводимостью в виде трех экспонент [3]. Полученные результаты сравниваются с результатами расчетов по модели с электрической проводимостью в виде одной экспоненты [2], что

имеет важное значение для интерпретации экспериментальных данных по измерению напряженности электрического поля, полученных как при наземных, так и при высотных измерениях.

2. Постановка задачи

Основное уравнение для решения данной задачи имеет следующий вид [2]:

$$\operatorname{div}(\lambda \vec{E}) = 0 \quad \vec{E} = -\operatorname{grad} \varphi \quad (1)$$

где: \vec{E} - напряженность электрического поля, φ - потенциал электрического поля

В сферической системе координат с началом в центре Земли, предполагая, что электрическая проводимость λ не зависит от углов в сферической системе координат, получим следующее уравнение, описывающее распределение потенциала электрического поля в нижних слоях атмосферы:

$$\lambda(r) \left[\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r} + \Delta_{\theta, \phi} \varphi \right] + \frac{d\lambda}{dr} \frac{\partial \varphi}{\partial r} = 0$$

$$\Delta_{\theta, \phi} \varphi = \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \phi^2} \quad (2)$$

Для решения задачи электрическая проводимость задается в виде совокупности трех экспонент [3]:

$$\lambda(r) = \lambda_0 e^{\alpha_1(r-R_0)}, r - R_0 \in [0, 3.6 \text{ км}], \alpha_1 = \frac{1}{0.82} \text{ км}^{-1},$$

$$\lambda(r) = \lambda_1 e^{\alpha_2(r-R_0-3.6)}, r - R_0 \in [3.6, 17.7 \text{ км}], \alpha_2 = \frac{1}{4.1} \text{ км}^{-1}$$

$$\lambda(r) = \lambda_2 e^{\alpha_3(r-R_0-17.7)}, r - R_0 \in [17.7, 70 \text{ км}], \alpha_3 = \frac{1}{7.0} \text{ км}^{-1} \quad (3)$$

где: $\lambda_1 = \lambda(3.6 \text{ км}), \lambda_2 = \lambda(17.7 \text{ км})$

Граничные условия для решения уравнения (2) записываются в следующем виде:

$$\varphi(r = R_0) = 0, \varphi(r = r_3) = \varphi(r_3, \theta, \phi) \quad (4)$$

где: r_3 - верхняя граница сферического конденсатора, находящаяся в ионосфере.

На границе слоев задаются условия непрерывности потенциала электрического поля и плотности электрического тока.

В граничных условиях на верхней границе сферического конденсатора задается распределение потенциала электрического поля, обусловленное действием генераторов в верхних слоях атмосферы.

3. Обсуждение результатов

Используя разложение по сферическим гармоникам [1]:

$$\varphi(r, \theta, \phi) = \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=-i}^i \varphi_{ij}(r) Y_{ij}(\theta, \phi) \quad \varphi_{ij}(r) = \iint_{\Omega} d\Omega Y_{ij}^*(\theta, \phi) \varphi(r, \theta, \phi), d\Omega = \sin \theta d\theta d\phi \quad (5)$$

Получим следующее решение задачи:

$$\varphi_1(r, \theta, \phi) = \frac{\varphi(r_3, \theta, \phi)}{\Sigma} (1 - e^{-\alpha_1(r-R_0)}) \frac{\alpha_2}{\alpha_1}$$

$$\varphi_2(r, \theta, \phi) = \frac{\varphi(r_3, \theta, \phi)}{\Sigma} \left[\frac{\alpha_2}{\alpha_1} (1 - e^{-\alpha_1(r-R_0)}) + e^{-\alpha_1(r_1-R_0)} - e^{-\alpha_1(r_1-R_0)} \times e^{-\alpha_2(r-r_1)} \right]$$

$$\varphi_3(r, \theta, \phi) = \frac{\varphi(r_3, \theta, \phi)}{\Sigma} \left[\frac{\alpha_2}{\alpha_1} (1 - e^{-\alpha_1(r-R_0)}) + e^{-\alpha_1(r_1-R_0)} - e^{-\alpha_1(r_1-R_0)} e^{-\alpha_2(r-r_1)} + \frac{\alpha_2}{\alpha_3} e^{-\alpha_1(r_1-R_0)} e^{-\alpha_2(r_2-r_1)} (1 - e^{-\alpha_3(r-r_2)}) \right]$$

$$\Sigma = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} (1 - e^{-\alpha_1(r_1-R_0)}) + e^{-\alpha_1(r_1-R_0)} - e^{-\alpha_1(r_1-R_0)} e^{-\alpha_2(r-r_1)} + \frac{\alpha_2}{\alpha_3} e^{-\alpha_1(r_1-R_0)} e^{-\alpha_2(r_2-r_1)} (1 - e^{-\alpha_3(r_3-r_2)}) \quad (6)$$

При $\alpha = \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3$ все выражения (6) сводятся к одному [2]:

$$\varphi(r, \theta, \phi) = \varphi(r_3, \theta, \phi) \frac{1 - e^{-\alpha(r-R_0)}}{1 - e^{-\alpha(r_3-R_0)}} \quad (7)$$

Подсчитаем напряженность электрического в первом слое вблизи земной поверхности. Из первого выражения (6), описывающего распределение электрического потенциала в слое вблизи земной поверхности получим:

$$E_{r1} = -\frac{\partial \varphi_1(r, \theta, \phi)}{\partial r} = -\frac{\alpha_2}{\Sigma} \varphi(r_3, \theta, \phi) e^{-\alpha_1(r-R_0)} \quad (8)$$

Вычисления Σ дают величину $\Sigma \approx 0.216$ и для напряженности электрического поля вблизи земной поверхности имеем:

$$E_{r1} = -\frac{\partial \varphi_1(r, \theta, \phi)}{\partial r} = -1.129 \varphi(r_3, \theta, \phi) e^{-\alpha_1(r-R_0)} \quad (9)$$

В тоже время при $\alpha = \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0.2 \text{ км}^{-1}$ получим:

$$E_{r1} = -\frac{\partial \varphi_1(r, \theta, \phi)}{\partial r} = -0.2 \varphi(r_3, \theta, \phi) e^{-\alpha_1(r-R_0)} \quad (10)$$

Сравнение выражений (9) и (10) показывает, что в случае трехслойного распределения электрической проводимости напряженность электрического поля возрастает почти в пять раз при заданном распределении электрического потенциала в ионосфере. Проведенные модельные расчеты должны дополняться экспериментальными работами по определению вертикального профиля электрической проводимости в атмосфере с помощью аэростатов и самолетов – лабораторий.

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.2.1 Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (государственный контракт № П781 от 24 мая 2010 г.) по направлению «Физика атмосферы».

Литература

1. Джексон Дж. Классическая электродинамика - М.: Мир, -702с.
2. Морозов В.Н. Математическое моделирование атмосферно—электрических процессов с учетом влияния аэрозольных частиц и радиоактивных веществ.- СПб:РГГМУ, 2011- 252с.
3. Cole R.K., Pierce E.T. Electrification in the Earths atmosphere// J. Geophys. Res., 1965. Vol.70. No.12. P.2735-2749

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАЦИЙ КОМПОНЕНТ РАДИАЦИОННОГО ФОНА И АТМОСФЕРНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В СЕЙСМИЧЕСКИ СПОКОЙНОМ И АКТИВНОМ РЕГИОНАХ

П.М. Нагорский¹, А.В. Вуколов², И.И. Ипполитов¹, М.В. Кабанов¹, Е.М. Макаров³, С.В. Смирнов¹,
П.П. Фирстов³, В.С. Яковлева²

1 - Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск

2 - Национальный исследовательский Томский политехнический университет

3 - Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский

npm_sta@mail.ru

Введение. Интерес к вариациям уровня естественного радиационного фона вызван необходимостью оценки роли ионизирующей радиации в исследовании атмосферно-электрических величин, физике приземного слоя атмосферы, сейсмологии, радиоэкологии. В сейсмически опасных районах на вариации потока ионизирующих излучений накладываются «фоновые» вариации, обусловленные метеорологическими и иными причинами, не связанными с процессами подготовки землетрясений. С точки зрения поиска предвестников землетрясений эти «фоновые» вариации представляют собой помехи, спектр которых и факторы, управляющие ими, – слабо изучены.

Цель работы – сравнительная оценка спектрально-временных параметров вариаций ионизирующей радиации и выявления их взаимных связей с метеорологическими и атмосферно-электрическими величинами приземного слоя. Для этого проведены совместные исследования полей ионизирующих излучений, метеорологических и атмосферно-электрических величин. Пункты мониторинга расположены в г. Томске и на Камчатском геодинамическом полигоне. Методика проведения мониторинга и используемая аппаратура подробно представлены в [1].

1. В сейсмически спокойном регионе вариации β - фона оказываются сравнительно слабо связанными с вариациями давления синоптического масштаба и тесно связанными с суточными вариациями

температуры и влажности. Годовой ход β -фона изменяется от года к году, в отличие от γ -фона, для которого максимум наблюдается в ноябре, а минимум в феврале–марте, синхронность в динамике β - и γ -полей зарегистрирована в летне-осеннее время.

В почве длительность фазы нарастания уровня компонент радиационного фона составляет от 6 до 12 часов, фазы восстановления – единицы суток. Вариации α -, β - и γ -излучений в воздухе и почве с периодом, равным суткам, оказались в противофазе. Связь вариаций атмосферных метеовеличин и компонент подповерхностного радиационного фона в зимних и летних условиях имеет принципиально различный характер – зимой повышение давления и уменьшение проводимости атмосферы сопровождается увеличением компонент подповерхностного радиационного фона, летом такой зависимости не наблюдается. Типичный пример динамики атмосферных (высота) и подповерхностных (глубина) составляющих β -фона в начале зимы иллюстрируется рис. 1.

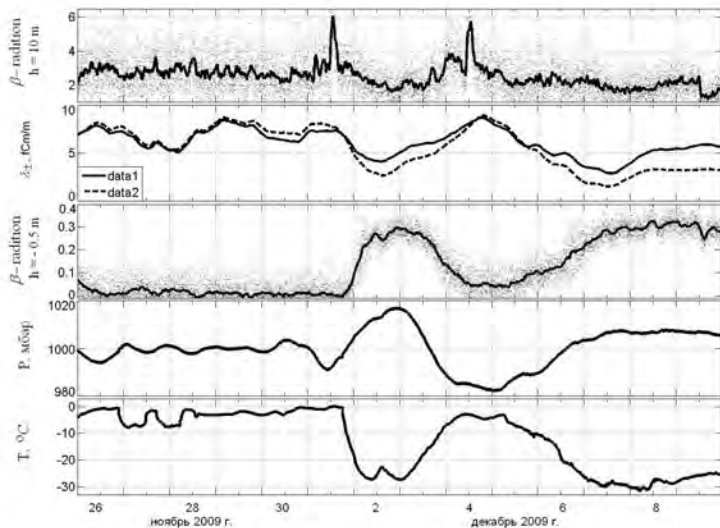


Рис. 1. – Согласованные вариации составляющих β -фона и метеовеличин в зимних условиях.

Здесь представлены вариации: уровней β -фона на высоте $h = 10$ м и глубине $h = -0.5$ м; положительной и отрицательной электропроводностей λ_{\pm} (data1 – λ_{-} ; data2 – λ_{+}), давления P и температуры T . Этот рис. наглядно иллюстрирует взаимные связи между радиационным фоном и атмосферно-электрическими величинами. Если для λ_{\pm} корреляция с вариациями давления – отрицательна, то для β -фона в почве она положительна. Для вариаций температуры – ситуация обратная: корреляция между указанными параметрами и температурой меняет знак по сравнению с давлением. Вариации β -фона в воздухе при изменении давления (температуры) начинаются с выбросов с амплитудой в до сотен процентов и длительностью от нескольких часов до полусуток.

Временные масштабы вариаций β -фона в почве составляют уже не единицы часов, а единицы суток.

2. Проведение мониторинга позволило выявить характерные вариации составляющих фона ионизирующей радиации на серии высот и глубин во время такого опасного природного явления как интенсивные осадки.

3. В сейсмически спокойном регионе уровень γ -излучения оказался тесно связанным с атмосферным давлением обратной зависимостью в масштабах от синоптического до годового. С целью выявления скрытых периодичностей: с масштабом 2 суток и менее; длительностью от 2 до 7-10 суток, относящихся к синоптическому масштабу метеорологических явлений; а также более длительных вариаций, временные ряды фильтровались. Использовались следующие фильтры: фильтры низких частот (ФНЧ) с верхними частотами среза, $f_{CB1} = 0,1 \text{ сут}^{-1}$, $f_{CB2} = 0,5 \text{ сут}^{-1}$, $f_{CB3} = 0,33 \text{ час}^{-1}$, а также полосовой фильтр (ПФ) с граничными частотами: $0,5 \text{ час}^{-1} - 0,5 \text{ сут}^{-1}$.

В летних условиях вариации γ -фона с суточным периодом выражены слабо по сравнению с аналогичными вариациями β -фона, однако существуют интервалы, когда они проявляются достаточно ярко. Не менее сложной оказывается временная динамика вариаций β -компоненты. Вариации β -фона оказываются сравнительно слабо связанными с вариациями атмосферного давления синоптического масштаба и тесно связанными с суточными вариациями полярных электропроводностей атмосферы, её температуры, плотности и давления водяного пара. Короткопериодные вариации γ - и β -излучений слабо связаны между собой, однако на отдельных периодах связь между вариациями γ - и β -излучений может быть весьма высокой.

На масштабах от синоптического до годового вариации γ -фона тесно связаны с изменениями атмосферного давления. В результате, циклоническая активность приводит к согласованным колебаниям уровня γ -фона земного происхождения, а перестройка атмосферной циркуляции на обширных территориях, связанная с глобальными изменениями климата, ведет к согласованным изменениям уровней и вариаций γ -фона естественного происхождения.

4. Данные радиационного мониторинга на годовом временном масштабе, полученные в сейсмически активном регионе (пос. Паратунка, Камчатка), представлены на рис. 2в,г (показаны кривые значений β - и γ -излучений на высоте 5 м). В сейсмически активном регионе на годовом интервале, вариации γ -излучений находятся на постоянном уровне до перехода температуры атмосферы к отрицательным значениям. После этого начинается падение уровня γ -фона (промерзание почвы и блокирование выхода радона). Явной связи γ -фона с сезонными изменениями атмосферного давления выявлено

не было. В целом, годовой ход γ -фона в сейсмоопасном районе близок к аналогичному в Томске (рис. 2а,б).

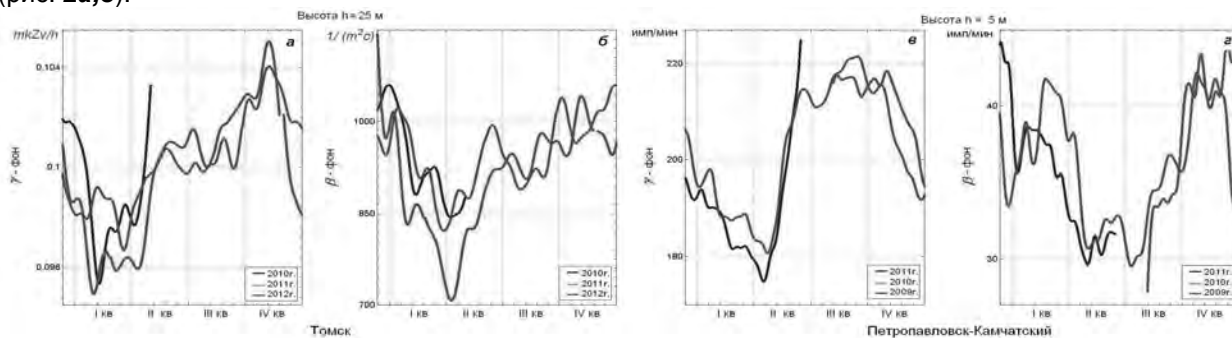


Рис. 2. Вариации компонент радиационного фона (γ и β – излучения) на годовом интервале в г. Томске на высоте 25 м (а, б) и в Паратунке (Камчатка) на высоте 5 м (в, з). Для удаления вариаций синоптического, суточного и внутрисуточного масштабов исходные ряды компонент радиационного фона предварительно отфильтрованы ФНЧ с $f_{св} = 0.1$ сут⁻¹.

5. Особенности временной динамики β -фона в сейсмически активном регионе (максимум зимой, минимум летом) резко контрастируют как с поведением γ -фона в том же регионе, так и с поведением β - и γ -излучений в сейсмически спокойном регионе с резко континентальным типом климата. Физические причины такого различия в поведении β -фона пока непонятны и являются предметом дальнейших исследований. Выявленные принципиальные отличия в вариациях β - и γ -излучений позволили сформулировать новую проблему – физические причины несогласованности вариаций различных видов естественного ионизирующего излучения и влияние этого явления на окружающую среду.

Литература

1. Яковлева В.С., Ипполитов И.И., Кабанов М.В. и др. Скоординированный многофакторный эксперимент по анализу процессов поступления почвенного радона в приземный слой атмосферы // АНРИ. 2009. № 4. С. 55-60.

ЭЛЕКТРОДНЫЙ СЛОЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ МОЩНОЙ КОНВЕКТИВНОЙ ОБЛАЧНОСТИ

П.М. Нагорский¹, В.Н. Морозов², С.В. Смирнов¹, А.В. Афонюшкин¹, К.Н. Пустовалов¹

1 - Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск

2 - Главная геофизическая обсерватория им. Воейкова Росгидромета, Санкт-Петербург

npm_sta@mail.ru

Введение. Проблема электродного эффекта формулируется как задача о нахождении распределения концентрации положительных и отрицательных аэроионов (лёгких ионов) и напряженности электрического поля в приземном слое. В теории электродного эффекта рассматриваются два крайних случая: классический (нетурбулентный) и турбулентный электродный эффект. Фактически отсутствуют экспериментальные и теоретические исследования динамики электродного слоя в случае резкого изменения метеорологических условий в приземном слое атмосферы, включая грозы.

1. При анализе экспериментальных данных мониторинга, проведенного в ИМКЭС СО РАН (2006-2012 гг., [1]), установлено, что во время гроз наблюдаются согласованные изменения полярных проводимостей и напряженности электрического поля. В процессе обработки было выделено четыре основных этапа вариаций (рис. 1) полярных электропроводностей в электрическом поле грозовой атмосферы: а) невозмущенная концентрация аэроионов; б) этап полного удаления под действием мощного электрического поля из электродного слоя аэроионов соответствующей полярности и падение величины данной полярной электропроводности до нуля; в) этап отсутствия легких аэроионов определенной полярности; г) этап восстановления концентрации легких аэроионов соответствующей полярности.

2. Перенос аэроионов в атмосфере осуществляется, наряду с турбулентными потоками воздуха, электрическими силами. В предположении, что электрическое поле $E(t) = E_0 + E_V(t)$ является внешней вынуждающей силой, система уравнений нестационарного электродного эффекта, согласно [2], имеет следующий вид:

$$\frac{\partial n_{1,2}}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial z} \left((D_T(z) + D_{mol}) \frac{\partial n_{1,2}}{\partial z} \right) \pm b_{1,2} \frac{\partial}{\partial z} (E \cdot n_{1,2}) = q(z) - \alpha \cdot n_1 \cdot n_2,$$

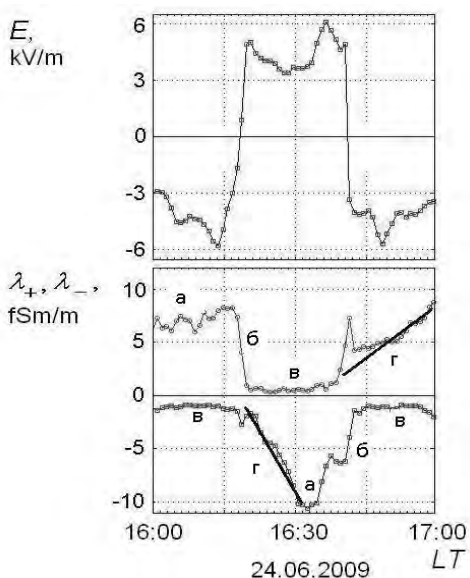


Рис. 1. Вариации напряженности электрического поля (вверху) и полярных электропроводностей (внизу) во время грозы.

где $n_{1,2}$ и $b_{1,2}$ концентрации отрицательных и положительных легких ионов и их подвижности, $q(z)$ – интенсивность ионообразования, $\alpha(z)$ – коэффициент рекомбинации, D_T , D_{mol} – коэффициенты турбулентной и молекулярной диффузии. Начальные условия для $n_{1,2}(z, t = 0)$ определялись из решения задачи в стационарной постановке. На нижней границе ($z = 0$) полагалось $n_1 = n_2 = 0$, на верхней границе $n_1 = n_2 = \sqrt{q_0/\alpha}$.

3. Анализ данных моделирования нестационарного электродного эффекта позволил установить, что в грозовой атмосфере перенос аэроионов осуществляется, наряду с турбулентностью, электрическими силами, причем последние играют основную роль.

Увеличение напряженности поля до единиц кВ/м ведет к увеличению толщины электродного слоя до сотен метров. Для слабой турбулентности изменение полярности объемного заряда происходит «скачком», а в случае сильной турбулентности – плотность объемного заряда изменяется плавно, её максимальные значения меньше, чем в предыдущем случае.

В итоге, воздействие переменного электрического поля приводит к появлению облаков объемного заряда на высотах десятки – сотни метров, оторванных от приземного слоя.

Знак объемного заряда облаков противоположен знаку заряда в электродном слое в непосредственной близости от земли, а после окончания воздействия импульсной составляющей электрического поля плотность заряда в облаке может быть больше, чем у земной поверхности. Нормированные на невозмущенное значение разрезы концентраций легких ионов обеих полярностей представлены на рис. 2. Временной ход электрического поля приведен на верхней панели, ниже, для высот 25 и 200 метров представлен ход концентраций легких ионов. Характерной чертой вариаций концентрации является уменьшение размаха вариаций с высотой и временная задержка, возрастающая с высотой. Увеличение интенсивности ионообразования приводит к более интенсивной нейтрализации объемного заряда.

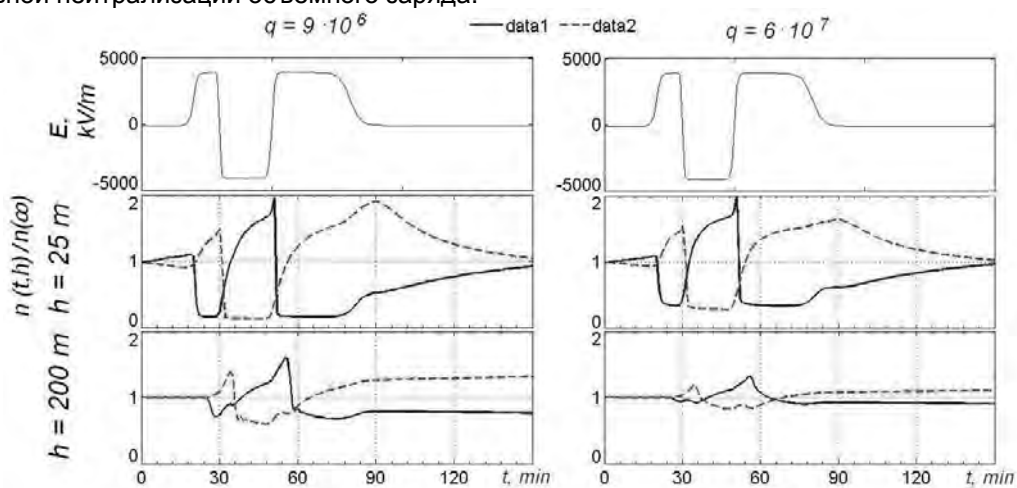


Рис. 2. Временные вариации нормированной плотности положительных (data1) и отрицательных (data2) ионов для двух значений интенсивности ионообразования.

4. Для оценок вариаций характеристик нестационарного электродного слоя и напряженности электрического поля во время грозовых явлений из массива данных мониторинга было выделено 290 случаев прохождения мощной конвективной облачности (2006-2010 гг.). Обработка этих данных позволила определить основные статистические характеристики вариаций напряженности, включая общую длительность грозы (T_{gp}); – длительности положительных и отрицательных (T_+ , T_-) вариаций поля (E_+ , E_-) и др. Результаты исследований представлены в таблице. В этой табл.: τ – длительность перехода (ширина фронта) от E_+ к E_- и в обратном направлении; число появления положительных

N_{E_+} и отрицательных N_{E_-} вариаций поля E_+ и E_- , а также числа переходов от E_+ к E_- и в обратном направлении N_T .

Таблица. Статистические характеристики исследуемых параметров

Параметры распределения	среднее	медиана	СКО	размах	асимметрия	эксцесс
T_{2p} , мин	81	62	64	336	1,4	0,14
N_{E_-}	3,0	2,0	2,3	15	2,1	0,14
N_{E_+}	2,7	2,0	2,2	14	2,4	0,15
N_T	4,0	3,0	3,7	27	2,6	0,15
T_- , мин	13	9,1	13	94	2,4	0,08
T_+ , мин	10	7,1	10,1	77	2,3	0,09
t , мин	2,6	1,0	2,9	18	2,8	0,08

5. Анализ распределений исследуемых параметров позволил установить:

- средние длительности мощных (превышающих 1 кВ/м для положительных E_+ и 0.5 кВ/м для отрицательных E_-) вариаций напряженности поля в ~ 3 раза короче среднего времени существования грозовой ячейки;
- среднее время существования положительных вариаций напряженности электрического поля T_+ в ~1.3 раза меньше чем время существования отрицательных T_- вариаций напряженности;
- число мощных вариаций поля ($N_{E_+} + N_{E_-}$) составляет за грозу в среднем ~ 5.5-6;
- ни одно из анализируемых распределений не подчиняется нормальному закону.

Литература

1. Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Нагорский П.М., Смирнов С.В. Изменчивость метеорологических и атмосферно-электрических величин в приземном слое атмосферы в предгрозовых ситуациях // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 1. С. 11-16.
2. Куповых Г.В., Морозов В.Н., Шварц Я.М. Теория электродного эффекта в атмосфере. – Таганрог: ТРТИ. 1998. – 124 с.

СПЕКТРАЛЬНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПОЛОЖЕНИЯ ДИПОЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.В. Панюков, А.К. Богушов
Южно-Уральский государственный университет
anatoly.panyukov@gmail.com

Для оценки местоположения источника электромагнитного излучения (ЭМИ) по результатам однопунктового наблюдения индуцируемого им электромагнитного поля до 1990 года было разработано множество устройств, в основе которых лежат использование вертикального диполя в качестве модели источника ЭМИ и физически реализуемые аналоговые алгоритмы [2, 3].

В следующее десятилетие получило развитие использование произвольно ориентированного диполя в качестве модели источника ЭМИ и цифровые технологии обработки наблюдаемых сигналов. В частности, в работах [4, 8] предложен эффективный алгоритм однопунктового определения расстояния до импульсного источника ЭМИ и указано на появление неустранимой неопределенности определения местоположения источника ЭМИ однопунктовым методом, вызванной отличием ориентации диполя от вертикали. Использование трех и более пунктов наблюдения, не принадлежащих одной прямой, позволяют определить все параметры положения и ориентации эквивалентного диполя [5, 7, 8, 9].

Рассматриваемая задача, как и любая обратная задача математической физики, является плохо обусловленной. Следствием этого является высокая чувствительность алгоритма к погрешностям в исходных данных и погрешностям вычислений. Эти обстоятельства затрудняют оценку точности и достоверности результатов полученных с помощью пассивных методов. Возможным решением данной проблемы является получение не одной, а целого множества оценок положения источника излучения, что позволяет повысить точность, достоверность и статистическую значимость окончательной оценки. Появление технологий вычисления в распределенных гетерогенных средах и соответствующего оборудования позволило значительно расширить область применения статистических методов для решения обратных задач в реальном масштабе времени.

В докладе предложен метод решения, основанный на построении дискретных спектров измеренных сигналов, позволяющий для каждой частоты спектра сигналов построить оценку параметров

положения источника излучения, а окончательную оценку принять по результатам статистического анализа всех построенных оценок.

Известно [8], что сигналы, индуцируемые дипольным источником излучения в антенной системе, можно представить в терминах преобразования Фурье следующим образом

$$E(\omega) = (\alpha^2 v - \omega^2 u + i\omega\alpha v)Q(\omega), \quad H(\omega) = (-\omega^2 + i\omega\alpha)Q(\omega), \quad Q(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} [q(t)e^{-i\omega t}] dt, \quad (1)$$

где $\alpha=c/r$, c – скорость света, r – расстояние до эквивалентного дипольного источника, $q(t)$ – неизвестный дипольный момент, значения параметров u и v определяются ориентацией диполя. Далее для расчетов использовано дискретное преобразование Фурье сигнала, состоящего из 4096 отсчетов со временем дискретизации $2 \cdot 10^{-6}$ сек, т.е. содержащий 2047 гармоник с частотой первой гармоники 122 Гц.

Оценка параметра u для каждой гармоники принимается равной

$$U(\omega) = \frac{\operatorname{Re}(E(\omega)\overline{H(\omega)})}{|H(\omega)|^2} = \frac{\omega^2 u}{\omega^2 + \alpha^2}. \quad (2)$$

Из (2) легко заметить, что $U(\omega) \rightarrow u$. Для расстояний $r \in [30, 100]$ Км на частотах более 16 кГц систематическая относительная погрешность такой оценки будет

$$\delta_u = \left| \frac{U(\omega) - u}{u} \right| \approx \left(\frac{\alpha}{\omega} \right)^2 \leq 0.01$$

Таким образом, состоятельную оценку параметра u можно получить, используя гармоники с номером более 132.

В качестве оценки параметра α для каждой гармоники можно брать значения

$$A(\omega) = \omega \sqrt{\frac{\bar{u}}{U(\omega)}} - 1, \quad (3)$$

где \bar{u} – найденная оценка параметра u . Относительная погрешность такой оценки

$$\delta_\alpha = \left| \frac{A(\omega) - \alpha}{\alpha} \right| = \left(\frac{\omega}{\alpha} \right)^2 \cdot \frac{\delta_u}{2}.$$

Для расстояний $r \in [30, 100]$ Км при $\delta_u=0.01$ на частотах ниже 2 кГц величина $\delta_\alpha < 0.1$. Таким образом, состоятельную оценку параметра α можно получить по крайней мере на 17 нижних гармониках.

В качестве оценки параметра v для каждой гармоники можно брать значения

$$V(\omega) = \frac{\operatorname{Re}(E(\omega)\overline{H(\omega)}) - \frac{\omega}{\alpha} \operatorname{Im}(E(\omega)\overline{H(\omega)})}{|H(\omega)|^2}, \quad (4)$$

где – найденная оценка параметра α . Абсолютная погрешность этой оценки равна $\delta_v = \delta_\alpha(u-v)$.

Большое разнообразие результатов измерения не позволяет строить достаточно точные гарантированные оценки параметров традиционными методами, поэтому все данные, полученные в результате работы параметризованного прямого метода требуют дополнительной фильтрации. Для построения фильтрующих функционалов предлагается использовать метод антитрасс [2, 3] и метод проектирования [6].

Метод антитрасс основан на восстановлении функции источника по наблюдаемым сигналам используя функцию потерь

$$L(u, v, \alpha) = \left\| q_e^{uv\alpha}(t) - q_h^{uv\alpha}(t) \right\| = \left\| \frac{E(\omega)}{-u\omega^2 + j\omega v\alpha + v\alpha^2} - \frac{H(\omega)}{-\omega^2 + j\omega\alpha} \right\|$$

Метод проектирования для фильтрации вариантов использует длину проекции наблюдаемых сигналов на пространство решений в качестве функции полезности. В терминах преобразования Фурье функция полезности имеет вид

$$U(u, v, \alpha) = \left\| \frac{E(\omega)(-u\omega^2 - j\omega v\alpha + v\alpha^2)}{|-u\omega^2 + j\omega v\alpha + v\alpha^2|^2 + |-\omega^2 + j\omega\alpha|^2} + \frac{H(\omega)(-\omega^2 - j\omega\alpha)}{|-u\omega^2 + j\omega v\alpha + v\alpha^2|^2 + |-\omega^2 + j\omega\alpha|^2} \right\|.$$

Применение предложенных выше фильтров позволяет сократить множество всех оценок \tilde{E} до множества перспективных оценок

$$E^* = \left\{ (\alpha, u, v) \in \tilde{E} : L(\alpha, u, v) \leq L^*, U(\alpha, u, v) \geq U^* \right\},$$

где L^*, U^* – критические значения функций L, U , определяемые условиями

$$\frac{\text{card}\{(\alpha, u, v): L(\alpha, u, v) \geq L^*\}}{\text{card}(\bar{U})} \leq p^*, \quad \frac{\text{card}\{(\alpha, u, v): U(\alpha, u, v) \leq U^*\}}{\text{card}(\bar{U})} \leq p^*,$$

p^* – вероятность принятия ошибочной гипотезы, $\text{card}\{\bar{U}\}$ – кардинальное число (т.е. число элементов) множества. Окончательные значения оценок $\bar{\alpha}, \bar{u}, \bar{v}$ и их дисперсий и определяются по выборке E^* применением классических методов математической статистики.

Литература

1. Богушов А.К. Параллельная реализация комплекса программ для задачи определения параметров электрического диполя / А.К. Богушов, А.В. Панюков // Сб. тр. ПАВТ--2011. -- 2011. -- С. 427 -- 432.
2. Кононов И.И., Петренко И.А., Снегуров В.С. Радиотехнические методы местоопределения грозовых очагов. --Л.:Гидромеоиздат, 1986.
3. Кононов И.И., Петренко И.А. Современное состояние пассивных методов местоопределения гроз // Радиотехника и электроника. -- 1992. -- Т. 37, № 7.
4. Панюков, А.В. Алгоритм определения расстояния до местоположения молниевых разряда / А.В. Панюков, Д.В. Будув // Электричество. -- 2001. -- Т. 4. -- С.~10 -- 14.
5. Панюков А.В. Математическое и программное обеспечение распределенной сети грозопеленгаторов-дальномеров. // VI Российская конференция по атмосферному электричеству (Нижний Новгород, 1-7 октября 2007). – Нижний Новгород: ИПФ РАН. – С. 255 – 256.
6. Панюков, А.В. Экстремальный метод решения параметрической обратной задачи для системы линейных функциональных уравнений / А.В. Панюков // Изв. высш. учеб. заведений. Математика. – 2000. – № 9. -- С. 27 -- 33.
7. He, S. Explicit Full Identification Of A Transient Dipole Source In The Atmosphere From Measurement Of The Electromagnetic Fields At Several Points At Ground Level / S. He, M. Popov, V. Romanov // Radio Science. -- 2000. -- V. 35, № 1. -- P. 107 -- 117.
8. Panyukov A.V. Estimation of the location of an arbitrary oriented dipole under single-point direction finding // Journal of geophysical research. – 1996. – Vol. 101, №D10. – P. 14,997 – 14,982.
9. Taibin,~B.Z. An Approach To Define Parameters For Localization Of Thunderstorms / B.Z. Taibin // IEEE Antennas and Propagation Magazine. -- 2006. -- V. 48, № 2. -- P. 48 -- 54.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАЗОВЫХ БЛОКОВ ГГО ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГРОЗОВОЕ КУЧЕВО-ДОЖДЕВОЕ ОБЛАКО ЛЬДООБРАЗУЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ

Р.С. Пастушков

*ФГБУ “Центральная аэрологическая обсерватория” Росгидромета, Московский физико-технический институт (государственный университет)
idreamdinadreami@mail.ru*

Численное моделирование Сб с учётом их электрической структуры имеет достаточно продолжительную историю [1–5, 7– 9, 11-13]. Тем не менее, анализ этих публикаций показывает, что основное внимание (за исключением [1, 8, 9]) уделялось исследованию электризации конвективных облаков, а не взаимному влиянию их гидродинамического, микрофизического и электрического состояний. Поэтому можно считать, что одним из уязвимых мест современных численных моделей грозовых Сб является использование микрофизических коэффициентов (например, коагуляции, аккреции и т.п.), зависимость которых от электрических характеристик (например, напряжённости электрического поля (НЭП), зарядов гидрометеоров (ЗГ)) изучена недостаточно. Вопрос же влияния электрического состояния конвективной облачности на результаты активных воздействий (АВ) полностью открыт.

В 2008–2010 г.г. группой институтов Росгидромета (ВГИ, ГГО, НПО «Тайфун», ЦАО) было разработано несколько версий трёхмерной численной модели мощной облачной конвекции [3–5]. В ГГО, как в ведущей организации, в рамках начальной версии были подготовлены три её базовых блока: термогидродинамический, микрофизический, электризации.

В ЦАО в 2011–2012 г.г. помимо отладки и верификации базовых блоков модели, было разработано несколько дополнительных, включая блоки АВ кристаллизующими и гигроскопическими веществами. Версии модели, включающие доработанные базовые блоки, дополненные блоками АВ, используются в настоящее время для решения прикладных задач. В частности, исследуется возможность увеличения эффекта комбинированных АВ (одновременных или последовательных пространственно разнесённых АВ гигроскопическими и льдообразующими веществами). При работе с базовыми блоками выявлен ряд недоработок или пока не имеющих объяснения явлений. Моделирование АВ льдообразующими веществами потребовало введения в микрофизический блок дополнительных

механизмов: нуклеационного зарождения и сублимационного роста облачных ледяных кристаллов (ОЛК) и их таяния.

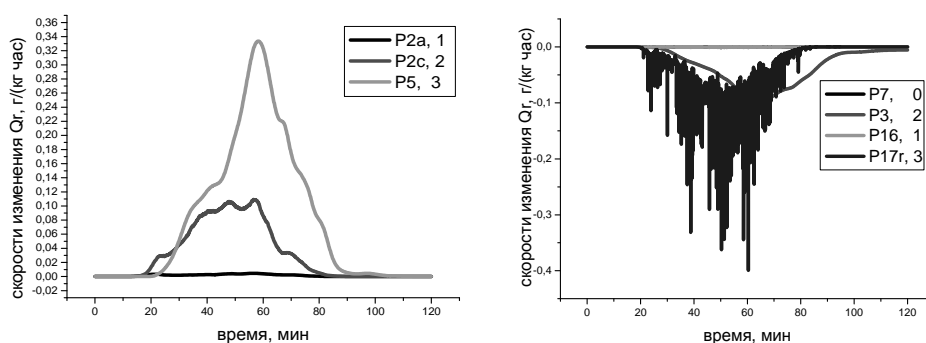


Рис. 1. Пример временной эволюции осреднённых по области моделирования скоростей изменения водности ДК: положительных на левом графике (оцифровка снизу вверх) и отрицательных на правом (оцифровка сверху вниз)

Пример не вполне понятных результатов представлен на рис 1. Видно, что один из механизмов образования осадков (P17г, коагуляция дождевых капель (ДК) с ОЛК) в отличие от других (P2а, автоконверсии облачных капель (ОК); P2с, коагуляции ДК и ОК; P5, таяния ледяных частиц осадков (ЛЧО); P7 испарения ДК; P3, замерзания ДК) имеет очень нерегулярно осциллирующий характер. Аналогичное поведение отмечено и у процессов P15 (замерзания ОК с переходом в ЛЧО) и P16 (коагуляции ЛЧО и ДК). Другой недоработкой оказалось использование при расчёте скорости роста ОЛК исходных табличных данных из [10] с вкраившейся туда неточностью. Представляется также не вполне корректным использование упрощённого вида второго уравнения состояния [6], исходные предположения получения которого (например, отсутствие в облаке пересыщения) в микрофизическом блоке модели не выполняются.

Высказанные замечания вынуждают считать полученные результаты предварительными.

Для исследования влияния электрического состояния S_b на результаты АВ льдообразующим веществом было проведено восемь численных экспериментов (ЧЭ): по одному при естественном его развитии без учёта электрических процессов и с их учётом и шесть аналогичных с различными вариантами АВ льдообразующим веществом.

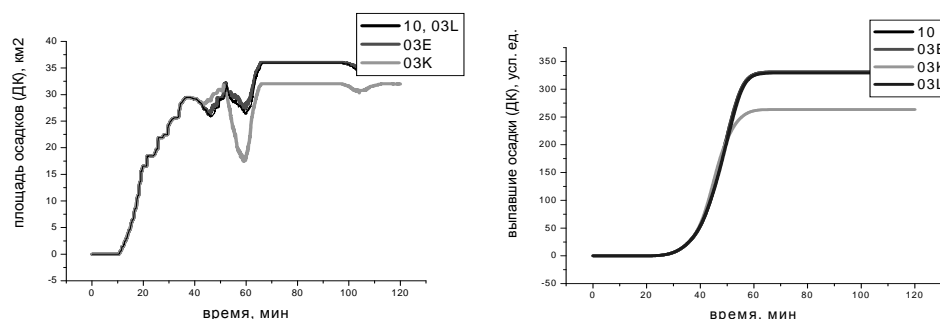


Рис. 2. Временная эволюция площадей жидких осадков и их общего количества для восьми численных экспериментов.

Его действие моделировалось мгновенным (точнее – в течение одного временного шага) замерзанием части ОК в задаваемом объёме в заданный момент времени. Пример результатов всех ЧЭ на рис. 2. ЧЭ без АВ соответствуют нижние графики. Видно, что эффект учёта электризации очень мал (графически не виден). Но при некотором варьировании зависимости микрофизических коэффициентов модели от НЭП и ЗГ этот эффект увеличивался.

Основными результатами работы, помимо повышения качества модели за счёт устранения отмеченных выше её недоработок, следует считать:

выявление слабой модельной зависимости характеристик S_b от уровня его электризации, что указывает на необходимость дальнейшей работы в части устранения этой недоработки;

получение оценок, указывающих на то, что эффект учёта электрических процессов при моделировании конвективной облачности, оценённый по увеличению интенсивности осадков, общему их количеству, площади выпадения и другим параметрам, может при усилении зависимости коэффициентов микрофизического блока модели от напряжённости электрического поля и зарядов гидрометеоров составлять 10 – 20 %.

Литература

1. Аджиева А.А., и др. Математическая модель конвективного облака с учётом электрических процессов и электрической коагуляции // «Методы и устройства передачи и обработки информации» Межвузовский сборник научных трудов. Выпуск 11. – М. – 2009.. – С. 382–386.
2. Баранов В.Г. Особенности формирования электрической структуры конвективного грозового облака по данным численной нестационарной модели: дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Л, 1990. – 160 с.
3. Веремей Н.Е., Довгалюк Ю.А., Морозов В.Н. О параметризации микрофизических процессов электризации в трёхфазной модели конвективного облака // МиГ. – 2007, – №10. – С. 42–54.
4. Довгалюк Ю.А. и др. Концепция разработки трёхмерной модели осадкообразующего конвективного облака. Часть 1 // Тр. ГГО. – 2008. Выпуск 558, . – С. 102–142.
5. Довгалюк Ю.А. и др. Концепция разработки трёхмерной модели осадкообразующего конвективного облака. Часть 2 // Тр. ГГО. – 2010. Выпуск 562, – С. 110–143.
6. Затевахин М.А. Турбулентный термик во влажной атмосфере // Теплофизика высоких температур – 2001. Т. 39, N 4. С. 573-580.
7. Панин В.А. Предварительные результаты численных экспериментов по моделированию электризации конвективных облаков // Тр. НИЦДЗА (филиал ГГО). – 2002. Выпуск 4(552), . – С. 55–65.
8. Шаповалов В.А. Численное моделирование формирования макро- и микроструктурных характеристик конвективных облаков: дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Нальчик, 2011. – 128 с.
9. Щукин Г.Г., Шаповалов В.А. Численное моделирование параметров конвективного облака с учетом электрических процессов // Материалы 6-й Российской конференции по атмосферному электричеству.- Н.Новгород, 1 – 6 октября 2007. – С. 124-125.
10. Koenig L.R. Numerical modeling of ice deposition // J. Atm. Sci. – 1971. – V. 28. – P. 226–237.
11. Mansell E.R. et al. Recent results from thunderstorm electrification modeling // Proc. 12-th Int. Conf. on Atm. Electr. Versailles, France – 2003. – P. 119–122.
12. Takahashi T. Warm cloud electricity in a shallow axisymmetric cloud model // J. Atm. Sci. – 1979. – V. 36. – P. 2236–2258.
13. Takahashi T. Thunderstorm electrification – a numerical study // J. Atm. Sci. – 1984. – V. 41. – P. 2541–2558.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЕГО СТРУКТУРУ

П.А. Полушин, Л.В. Грунская
Владимирский государственный университет, г. Владимир
grunsk@vlsu.ru

Визуализация экспериментальных данных, том числе результатов измерения электростатического поля Земли, имеет большое значение, так как дает возможность наглядно представить и обработать всю совокупность собранной информации [1,2]. Определенное представление о распределении поля может дать совместный анализ данных от нескольких датчиков-флюксометров, пространственно разнесенных на определенной территории. Здесь можно выделить две самостоятельные задачи. Одна из них представляет собой на основе точечных измерений построение модели непрерывного распределения поля в пределах площади, где расположена совокупность датчиков, и в непосредственной близости от нее. Другая задача заключается в обработке полученной совокупности данных с целью извлечения возможной дополнительной информации. Рассмотрим эти задачи. Построение непрерывной картины распределения поля. Здесь применялось два метода. Один основан на использовании кубических сплайнов. Другой метод базируется на аппроксимации распределения поля с помощью двумерных степенных полиномов. Метод кубических сплайнов заключается в разбиении площади на треугольники, в вершинах которых расположены датчики. В пределах каждого треугольника значения поля аппроксимируются двумерными кубическими сплайнами, соответствующие коэффициенты которых выбираются из условия сопряжения значений аппроксимирующей функции и ее производной на границах с соседними треугольниками со значениями функции и производной в этих треугольниках.

Использование двумерных степенных полиномов основывается на предположении о «гладком» характере изменения поля на всей территории, охватываемой пространственно разнесенными датчиками. Такая картина распределения $E(x,y)$ может быть описана степенным полиномом от двух независимых аргументов (координат x и y) вида:

$$E(x, y) = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N a_{i,j} x^i y^j \quad (1)$$

Степень полинома определится числом пространственно разнесенных датчиков. В местах расположения флюксметров значение $E(x,y)$ должно равняться результатам экспериментальных измерений. Однако при этом не всегда возможно получить симметричный вид полинома. Например, при шести датчиках полином имеет очевидный симметричный вид: $E(x,y) = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{11}xy + a_{20}x^2 + a_{02}y^2$. А если имеется седьмой датчик, и естественно желание включить в полином седьмой член со следующей большей степенью, то оставить при этом симметричный вид полинома затруднительно.

Если используется уравнение (1), то составляется система из Q уравнений (Q – это общее число датчиков). В нее подставляется набор экспериментальных данных вида $E_k = E(x_k, y_k)$, $k=1 \div Q$, например, для $Q=6$ (2):

$$\begin{cases} E_1 = a_{00} + a_{10}x_1 + a_{01}y_1 + a_{11}x_1y_1 + a_{20}x_1^2 + a_{02}y_1^2 \\ \dots \\ E_6 = a_{00} + a_{10}x_6 + a_{01}y_6 + a_{11}x_6y_6 + a_{20}x_6^2 + a_{02}y_6^2 \end{cases} \quad (2)$$

Эта система относительно коэффициентов a – линейная алгебраическая. Ее решение даст полученные на основе экспериментальных данных значения интерполяционных коэффициентов, которые при подстановке в (1) дадут картину плавной интерполяции поля в районе расположения флюксметров.

Оба метода имеют отличительные особенности. Сложность метода кубических сплайнов растет линейно с увеличением количества датчиков, сложность метода аппроксимирующих полиномов растет пропорционально квадрату количества датчиков. Однако метод сплайнов фактически использует только информацию о значениях поля в пределах каждого отдельного треугольника, никак не учитывая показания других датчиков. Кроме того, структура поля может быть отображена только жестко в пределах площади многоугольника, построенного на крайних датчиках. В отличие от этого, метод аппроксимирующих полиномов использует в каждой точке площади информацию от всех датчиков. Кроме того, определенную точность имеет аппроксимация и в некотором удалении от крайних датчиков.

Дополнительная обработка экспериментальных данных. Причины возникновения наблюдаемой картины распределения могут рассматриваться в виде гипотезы об определенном факторе, имеющем «эпицентр» и характеризующемся определенным набором параметров. Исходя из различных предположений о зависимости величины электростатического поля от расстояния до «эпицентра», на основе сведений о местоположении датчиков и полученных результатов измерения поля может быть определено положение «эпицентра» и параметры, характеризующие воздействующий фактор. Здесь используется феноменологический подход, где не рассматривается физическая сущность фактора, а принимается предположение о том, что фиксируемое электрическое поле является следствием его наличия.

Логично предположить, что в «эпицентре» фактора его интенсивность и интенсивность поля максимальная, по мере удаления от «эпицентра» интенсивность снижается.

Можно задаваться разными моделями фактора и выбирать формулы, по которым рассчитывается интенсивность поля. По измеренным значениям поля в разных точках можно определить координаты «эпицентра», как причины поля, оценить какие-либо его параметры. Если датчиков достаточно много, то можно предположить, что оно создается суперпозицией нескольких факторов, и определить «эпицентры» и интенсивность их всех. Если нужна географическая привязка, то могут быть учтены особенности подстилающей местности.

Производилось компьютерное моделирование данного метода с использованием различных моделей. При этом исходно задавалось расположение «эпицентра» фактора и его параметры. Для разного количества датчиков их расположение выбиралось произвольно, и вычислялись результаты измерения ими интенсивности поля в точках расположения. Этот набор данных также использовался в качестве исходного, причем в него искусственно вносились отклонения, имитирующие погрешности измерения в реальных условиях. На основе такого набора данных восстанавливалась структура поля, и результат восстановления сравнивался с исходно введенным на предмет определения отличий.

Вычисления производились для следующих моделей:

- гауссова (3),

$$E(x, y) = A \exp\{ -[(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2] / \sigma \}, \quad (3)$$

- степенная (4),

$$E(x, y) = A[(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2]^{-\sigma}, \quad (4)$$

-экспоненциальная (5),

$$E(x, y) = A \exp\{ -\sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2} / \sigma \}, \quad (5)$$

где A , σ – параметры моделей, x_0 , y_0 – координаты «эпицентра». В степенную модель вносилась определенная регуляризирующая поправка, позволяющая избежать сингулярности. В ряде вычислительных экспериментов «эпицентр» располагался под поверхностью (над поверхностью), на которой расположены датчики.

В результате экспериментов было установлено:

- точность определения местоположения и параметров фактора в гораздо большей степени зависят от погрешностей измерения, чем от вида используемой модели;
- с ростом числа определяемых параметров фактора и требуемой точности их восстановления резко возрастает необходимое количество датчиков;
- рост числа определяемых факторов экспоненциально увеличивает время расчетов.

Работа осуществляется при поддержке гранта РФФИ 11-05-97518, ФЦП № 14.740.11.0407, ФЦП № 16.740.11.0185.

Литература

1. Грунская, Л. В. Мониторинг электромагнитного поля приземного слоя в УНЧ диапазоне / Л.В. Грунская, В.А/ Ефимов // Тр. 6-й Междунар. науч.-техн. конф. «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». – Владимир, 2004. – С. 219 – 222.
2. Грунская, Л. В. Приемно-регистрирующая аппаратура для исследования взаимосвязи электрического поля приземного слоя атмосферы с геофизическими процессами / Л. В. Грунская, В. А. Ефимов // Проектирование и технология электронных средств. – 2006. – № 1. – С. 63 – 68.

СЕТЬ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПРИЗЕМНЫМ АТМОСФЕРНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСТВОМ. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

И.Б. Попов, Л.Г. Соколенко

*Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова Росгидромета, Санкт-Петербург
popov_ib@mail.ru*

На созданной в 1958 году в соответствии с программой Международного геофизического года атмосферно-электрической сети Росгидромета производятся измерения градиента потенциала электрического поля атмосферы V' и удельных полярных электрических проводимостей воздуха λ_+ и λ_- . В разные периоды в СССР количество станций на наблюдательной сети менялось от семи до двенадцати. В настоящий момент на территории России постоянно функционируют четыре станции. Общая продолжительность измерений в Воейково составляет 62 года, в Иркутске – 52 года, в Верхнем Дуброво – 54 года, в Южно-Сахалинске – 43 года.

Научно-методическое руководство работой атмосферно-электрической сети осуществляет Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова. Для обеспечения сопоставимости данных измерений в течение длительных периодов специалистами ГГО разработаны Методические указания [1], обязательные для использования на сети Росгидромета. Измерения проводятся непрерывно, по данным измерений вычисляются среднечасовые значения, которые сохраняются в электронном архиве. При анализе полученных данных наблюдений используются средние значения за сутки, месяц и год. В докладе представлены результаты наблюдений, полученные на сети за последние годы наблюдений.

В качестве иллюстрации на рисунках 1 и 2 приведены графики среднемесячных значений V' на четырех действующих станциях и графики среднемесячных значений суммарной ($\lambda_+ + \lambda_-$) удельной электрической проводимости воздуха λ_s на станциях Воейково и Иркутск за период наблюдений с 1998 г. по 2011 г. На всех графиках также нанесены линии тренда, приведены уравнения линейной регрессии $y(x)$ и величина достоверной аппроксимации R^2 . Из приведенных материалов следует, что на станции Иркутск в отличие от остальных пунктов, имеет место выраженная тенденция роста средних значений V' и λ_s . В докладе обсуждаются возможные причины наблюдаемых изменений.

На рисунке 3 сопоставлены графики годового хода V' за 2011 год и среднего годового хода за последние 12 лет наблюдений. Видно, что на станциях за последние годы не наблюдается существенных изменений формы годового хода V' , минимум приходится на летние месяцы.

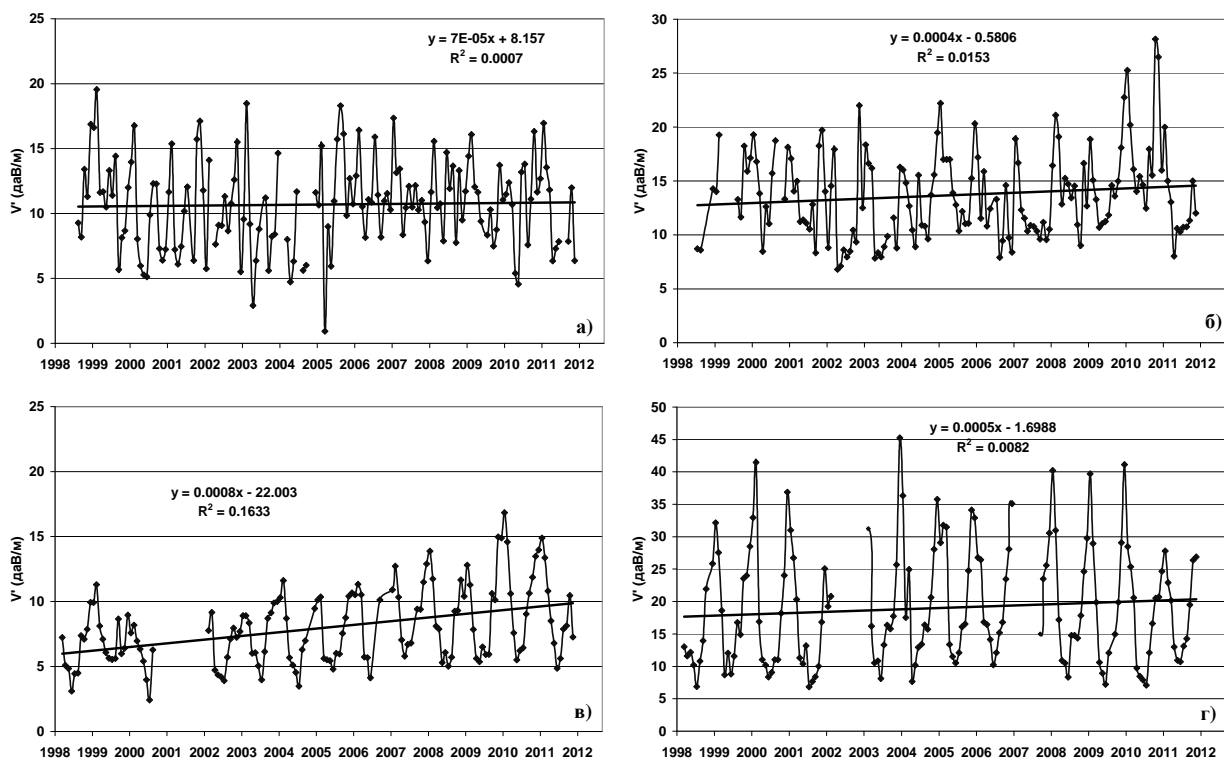


Рис. 1. Среднемесячные значения и линии тренда градиента потенциала электрического поля на станциях Воейково(а), Верхнее Дуброво(б), Иркутск(в) и Южно-Сахалинск(г).

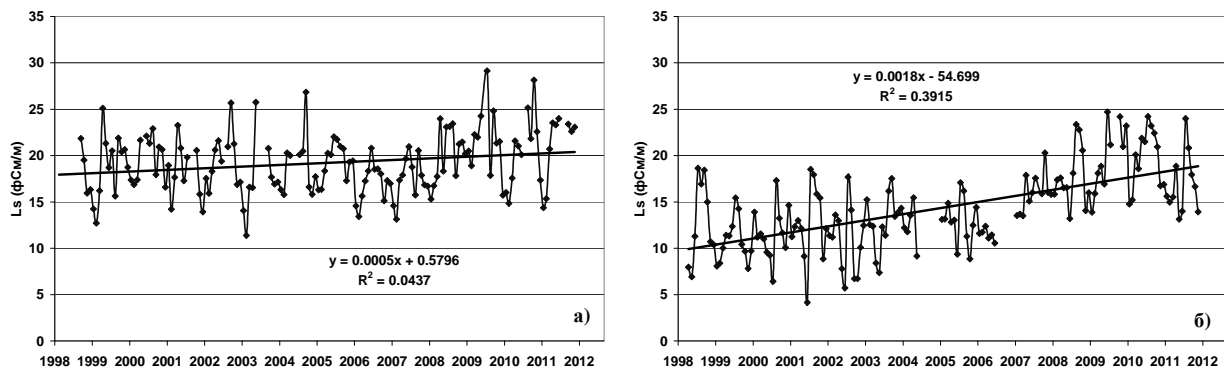


Рис. 2. Среднемесячные значения и линии тренда суммарной удельной электрической проводимости воздуха на станциях Воейково(а), и Иркутск(б).

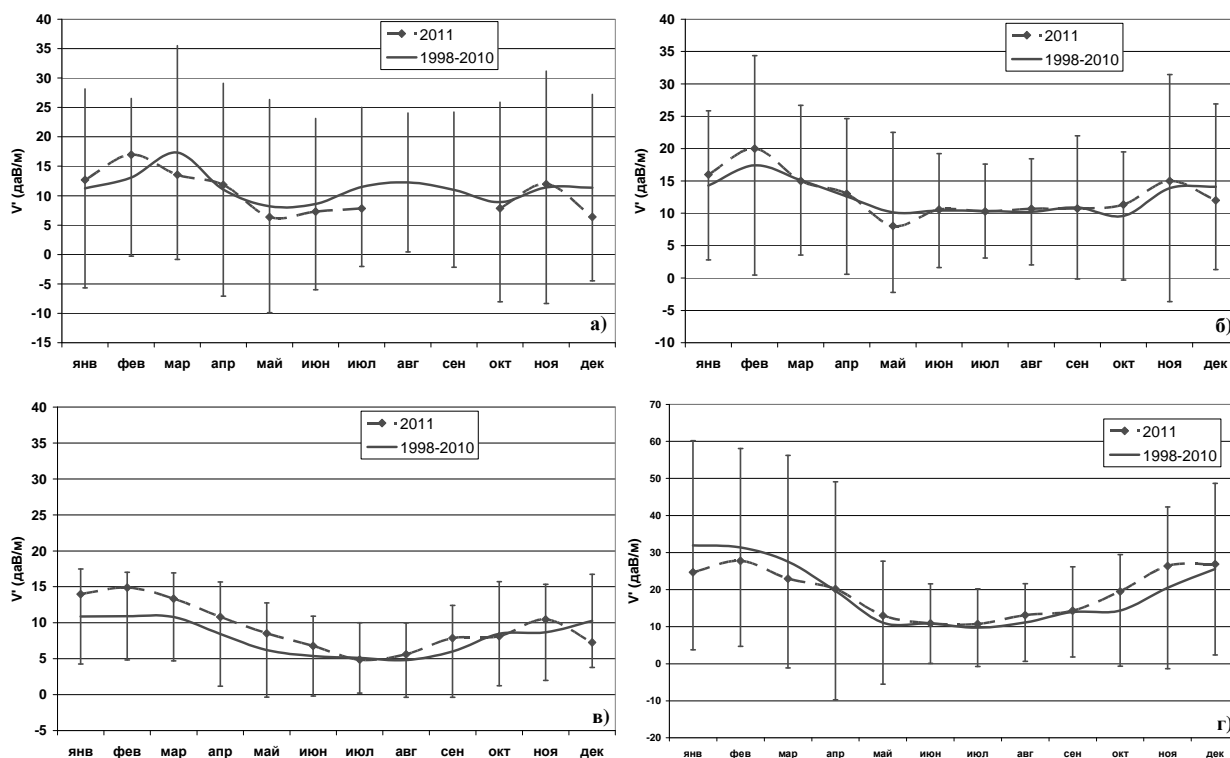


Рис. 3. Годовой ход V' на станциях Воейково(а), Верхнее Дуброво(б), Иркутск(в) и Южно-Сахалинск(г) в 2011 г. на фоне среднегодового хода за предшествующий период измерений. Отрезками обозначена величина стандартного отклонения для периода с 1998 по 2010 гг.

Для развития сети наблюдений за приземным атмосферным электричеством в ближайшей перспективе запланирована замена используемых измерительных приборов на новые, разработка которых выполнена в ГГО. Новые типы приборов обладают улучшенными характеристиками за счет использования в их конструкции современных радиоэлектронных компонентов. В процессе разработки большое внимание уделялось также автоматизации проведения измерений и вопросам метрологического обеспечения.

Дальнейшее развитие заключается в расширении сети станций наблюдений за приземным атмосферным электричеством и создании централизованной системы сбора результатов измерений. Эта система рассматривается как первое звено специализированного информационно-аналитического центра, на базе которого было бы возможно получать в оперативном режиме и проводить комплексный анализ информации по атмосферному электричеству с использованием дополнительной (метеорологической, синоптической, радиолокационной и др.) информации на охваченной измерениями территории.

Литература

1. РД 52.04.168-2001. Методические указания. Наблюдения за атмосферным электричеством. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – 58 с.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ОПТИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ

Ю.А. Пхалагов¹, И.И. Ипполитов², В.С. Козлов¹, П.М. Нагорский², С.В. Смирнов², В.Н. Ужегов¹

1 - Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск

2 - Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск
 nrm_sta@mail.ru

Введение. Известно, что тропосферный аэрозоль наряду с парниковыми газами является климатообразующим фактором, влияющим на радиационный баланс Земли [1]. Особенно важное значение, в контексте проблемы влияния аэрозоля на климат, имеют ситуации задымления атмосферы из-за лесных и торфяных пожаров, регулярно возникающих в различных районах земного шара и выбрасывающих в атмосферу большое количество дымового аэрозоля. Поскольку дымовой аэрозоль участвует в процессе облакообразования, эффективность которого существенно зависит от наличия или отсутствия заряда на частицах при гетерогенной конденсации, то в натурных измерениях

важно выявить особенности взаимодействия дымового аэрозоля с электрическим полем атмосферы. Для анализа взаимосвязей приземного аэрозоля с напряженностью электрического поля были проведены комплексные исследования вариаций поля и аэрозольного ослабления оптического излучения $\beta(\lambda)$, коэффициенты которого находились из измерений спектральной прозрачности атмосферы $T(\lambda)$ в диапазоне длин волн 0.5 – 4.0 мкм. Измерения $T(\lambda)$ проводились с помощью автоматизированного спектрофотометра на трассе длиной ~ 1000 м. Напряженность поля E и электропроводность измерялись приборами «Поле-2» и «Электропроводность-2». Для интерпретации полученных данных использовались данные других измерений, регистрируемых в ИОА СО РАН и ИМКЭС СО РАН.

1. Зимний период. На основании анализа данных натуральных исследований изменчивости и взаимосвязи оптических и электрических характеристик приземной атмосферы показано, что наблюдаемые в городах плотные зимние дымки, возникающие в штилевых условиях, по совокупности признаков могут быть идентифицированы как городской зимний смог, образующийся при низких температурах из автомобильных и промышленных газовых выбросов. В общем случае коэффициенты взаимной корреляции между аэрозольным ослаблением оптического излучения и напряженностью атмосферного электрического поля малы, однако они резко возрастают в зимнем городском смоге. В это время временной ход коэффициентов аэрозольного ослабления $\beta(\lambda=0.45 \text{ мкм})$ и напряженности электрического поля имеют явно выраженные максимумы, связанные с формированием смоговой ситуации, но сдвинутые по времени. В результате проведенных исследований была выявлена хорошо выраженная положительная корреляция вариаций напряженности электрического поля и ослабления оптического излучения. Предположительно эта связь является опосредованной через атмосферный аэрозоль. Последнее заключается в том, что с ростом замутнённости растёт концентрация частиц аэрозоля, на которые идёт сток легких аэроионов воздуха. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению концентрации носителей зарядов в воздухе и к росту напряженности атмосферного электрического поля. Сделано предположение, что рост напряженности электрического поля в зимних дымках в штилевых условиях может служить предвестником образования смоговой ситуации [2].

2. В условиях летнего дымового смога средней плотности (дальность видимости ~ 7-8 км) аналогичные исследования были начаты в 2004 г [3]. Было обнаружено, что ростом задымленности атмосферы наблюдалось значительное падение напряженности электрического поля. Это послужило основанием предположить, что в дымовом смоге существенно возрастает количество легких заряженных частиц. Исследования динамики спектральных коэффициентов аэрозольного ослабления оптического излучения $\beta(\lambda)$ и напряженности электрического поля атмосферы E были продолжены в условиях очень сильного задымления атмосферы от удаленных лесных пожаров, охвативших территорию Западной Сибири летом 2012 года. На рис. 1. приведен временной ход (кривые 1) вариаций напряженности поля E и коэффициента рассеяния под углом $45^\circ \beta_{SC\ 45^\circ}(t)$. На этом же рис. приведены аппроксимирующие тренды (отрезки 2). Данные предварительно сглажены суточным фильтром. Из рисунка видно, что в периоды наиболее сильного задымления атмосферы наблюдается значительное падение напряженности электрического поля со сменой знака. Этот результат соответствует данным [3], полученным при более слабом задымлении атмосферы.

3. В [3] было высказано предположение о том, что уменьшение напряженности атмосферного электрического поля в задымленной атмосфере возможно связано с ростом концентрации легких ионов в зоне пожара. В качестве таковых, в частности, могут быть ионы калия, имеющие низкий потенциал ионизации. Однако, проведенные параллельно измерения электропроводности атмосферы показали, что с увеличением задымления полярные электропроводности изменяются в пределах одного порядка по величине. Последнее указывает на то, что зарегистрированные вариации количества лёгких аэроионов в атмосфере не могут привести к падению напряженности поля до очень малых значений, а тем более к смене её знака.

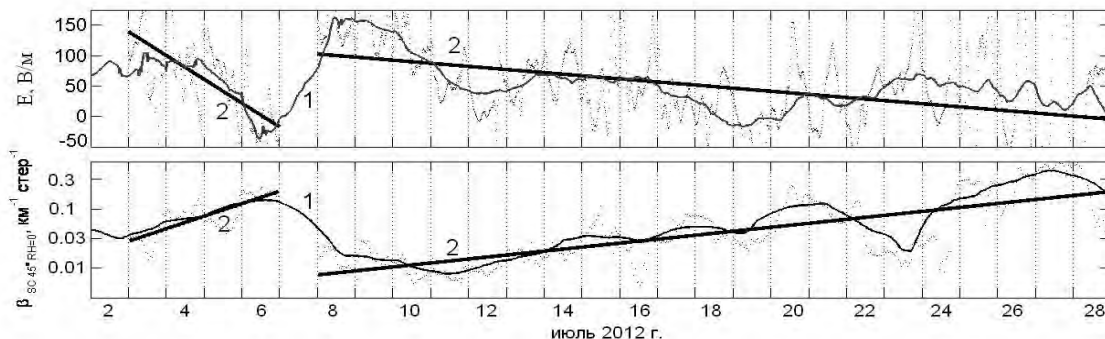


Рис. 1. Временные вариации напряженности поля E (верхняя панель) и коэффициента рассеяния под углом $45^\circ \beta_{SC\ 45^\circ}(t)$ (нижняя панель).

4. Вариации напряженности поля E и коэффициента рассеяния $\beta_{SC\ 45^\circ}(t)$ с суточным периодом во время сильного задымления атмосферы 02÷28.07.2012 г., выделенные методом наложения эпох, приведены на рис. 2. На этом рисунке в левой колонке приведены: напряженности поля E ; полярные электропроводности λ_{\pm} (data1 – λ_- ; data2 – λ_+) и коэффициент рассеяния β . В правой колонке – суточные вариации приходящей солнечной радиации в видимом диапазоне A ; разность между температурами приземной атмосферы и точки росы ΔT ; полная энергия турбулентности W . Критерием отбора данных для метода наложения эпох было выполнение соотношения $\beta_{SC\ 45^\circ}(t) > 0.04$. Из рисунка видно, что в ночные и утренние часы наблюдается значительное падение напряженности электрического поля со сменой знака и увеличение рассеяния. Фактически E и β изменяются противофазно.

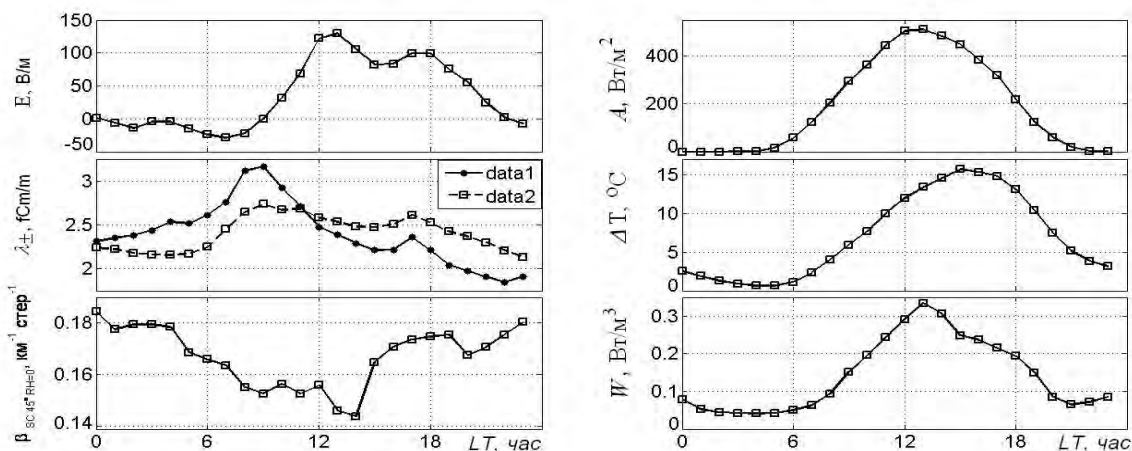


Рис. 2. Вариации параметров атмосферы с суточным периодом в период её сильного задымления.

5. **Выводы.** Подтвержден эффект значительного падения напряженности электрического поля во время дымового смога от летних лесных пожаров при увеличении концентрации аэрозоля в атмосфере. В целом полученный результат свидетельствует об очень сильном влиянии пожаров на электрооптические характеристики нижней тропосферы. При большом числе пожаров на Земле, это обстоятельство необходимо учитывать в климатических моделях и иметь в виду при рассмотрении физических механизмов влияния солнечной активности на погоду и климат.

Литература

1. Кондратьев К.Я., Григорьев Ал.А. Лесные пожары как компонент природной экодинамики // Оптика атмосферы и океана. 2004. Т.17. №4. С. 279-290.
2. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Полькин В.В. и др. Исследования изменчивости и взаимосвязи оптических и электрических характеристик приземной атмосферы в зимних условиях // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24, № 4. С. 269-274.
3. Пхалагов. Ю.А., Ужегов В.Н., Панченко М.В., Ипполитов И.И. Электрооптические связи в атмосфере в условиях дымового смога // Оптика атмосферы и океана. 2006. Т.19. № 10. С. 861-864.

СУТОЧНЫЕ СМЕЩЕНИЯ ДОЛГОТНОГО МАКСИМУМА ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ ПО ВЫСОКОШИРОТНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ УГЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШУМОВОГО ЭМП В ОКРЕСТНОСТИ ЧАСТОТ 1-ГО ШУМАНОВСКОГО РЕЗОНАНСА

В.В. Пчелкин

Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Апатиты
pchelkin@pgia.ru

Постановка задачи

Анализ угловых распределений регистрируемых шумов выявляет сильную анизотропию электромагнитного поля диапазона частот 5-11 Гц [1, 4] (при усреднении порядка 15 - 30 минут). Это связывается с неравномерностью распределения грозовых источников по поверхности Земли. Согласно многочисленным данным метеорологической литературы максимум грозовой деятельности в данном месте приходится на послеполуденные часы (примерно 17 часов местного времени). В работе была поставлена задача обнаружения отклика угловых характеристик измеряемой в условиях высоких широт горизонтальной компоненты магнитной составляющей электромагнитных шумов на смещение долготного максимума грозовой активности, связанное с вращением Земли.

Экспериментальные данные и их обработка

Нами были использованы данные непрерывных трехлетних измерений (2006-2009гг), проведенных в обсерватории Ловозеро. Прибор представлял собой двухкомпонентный индукционный магнитометр, подробное описание которого содержится в [1, 2] Методами цифровой фильтрации выделялась полоса частот 6-11 Гц; проводилась тщательное исключение фрагментов, сопровождавшихся техногенными шумами и магнитосферными возмущениями (подробное описание техники сортировки см в [2]). По отобранным записям вычислялись доминирующие направления прихода шумовых сигналов за время усреднения, составлявшее 15 минут и строились соответствующие распределения.

Отметим, что большие отклонения от распространения электромагнитных сигналов вдоль «дуги большого радиуса», обусловленные целым рядом причин [3, 6, 7, 9, 10], могут приводить к погрешностям в определении азимутов на источники, достигающим 10-20 и более градусов. Это делает невозможной точную пеленгацию отдельных разрядов в данном диапазоне частот. Тем интереснее вопрос о том, в какой степени наблюдаемые экспериментально угловые распределения шумов (доминирующие направления прихода сигналов) сохраняют информацию о суточных и сезонных вариациях активности основных мировых грозовых центров.

Нами было выполнено усреднение угловых распределений регистрируемых шумов по сезонам (северного полушария) и проведено сопоставление со спутниковыми данными и с результатами расчета азимута на экваториальную точку, соответствующую 17-ти часам местного времени (рис. 1).

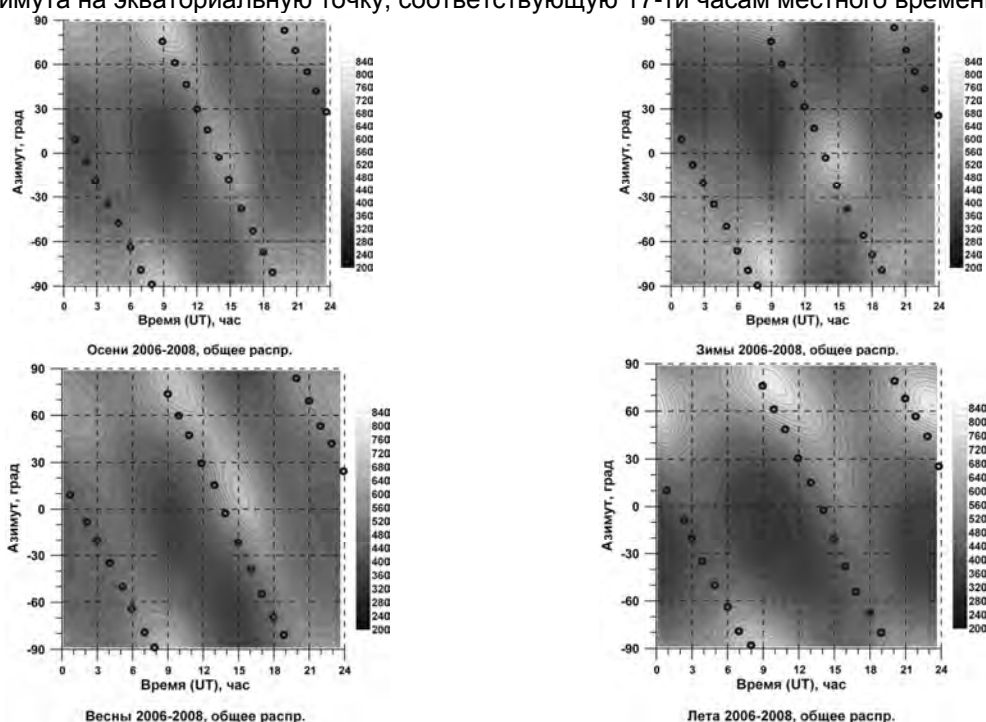


Рис. 1 Угловые распределения регистрируемых эл. шумов, усредненные по сезонам северного полушария. Символами показано смещение азимута на экваториальную точку 17 часов LT.

Усреднение дало довольно характерную для каждого сезона картину доминирующих направлений прихода шумов. Сопоставление с результатами спутниковых и наземных наблюдений показывают хорошее согласие сезонных вариаций угловых распределений с сезонными перемещениями основных мировых грозовых центров по поверхности Земли [5, 8].

На рисунке видна характерная вытянутость светлых полос на графиках - слева - направо и сверху – вниз, говорящая о постепенном закономерном смещении азимута на максимумы гроз из точки наблюдения. А совпадение светлых полос на графиках с линиями нанесенных символов, соответствующих азимутам на экваториальную точку 17 часам LT в разные моменты времени, подтверждает, что мы видим отклик суточных вариаций доминирующих направлений прихода шумовых сигналов на суточное перемещение долготного максимума грозовой активности, связанное с вращением Земли.

Установлено ослабление выраженности этого отклика в зимний сезон, что связано с уменьшением площади гроз в зиму северного полушария (что «ограничивает» вытянутость светлых овалов на графике - см. рис. 1) .

Выводы:

1) Регистрируемое в высоких широтах шумовое электромагнитное поле грозовых источников характеризуется выраженной анизотропией, обусловленной, в первую очередь, как показывают

сопоставления со спутниковыми наблюдениями, долготным распределением гроз по поверхности Земли.

2) Доминирующее направление прихода регистрируемых шумов закономерным образом изменяется в течение суток, что связывается нами с суточным перемещением локального долготного максимума грозовой активности, приходящегося на 17 часов LT.

3) В зимний сезон северного полушария наблюдается ослабление выраженности обнаруженной связи, обусловленное уменьшением площади мировых грозовых центров, подтверждаемое наземными и спутниковыми наблюдениями.

Работа выполнена при поддержке Программой фундаментальных исследований ОФН РАН № 4.11.

Литература

1. Белоглазов М.И., Ахметов О.И., Васильев А.Н., Косолапенко В.И. Вариации глобальной грозовой активности по наблюдениям интенсивности 1-го Шумановского резонанса в Арктике // Метеорология и гидрология. Т.60. №12. С.18-24. 2009
2. Белоглазов М. И., Пчелкин В. В. – Особенности распределения уровней высокоширотного атмосферного шумового электромагнитного поля в окрестности первого шумановского резонанса. // Геомагнетизм и аэронавигация, №5, 2011, с. 677-682.
3. Блюих П.В., Николаенко А.С., Филиппов Ю.В. - Глобальные электромагнитные резонансы в полости земля-ионосфера // Киев: Наукова думка, с. 146-147, 1977.
4. Пчелкин В. В., Белоглазов М. И. - Азимутально-временные характеристики естественных КНЧ-шумов по наблюдениям в высоких широтах. Труды 16-й региональной конференции по распространению радиоволн, с. 33-36. СПб, 9 ноября –11 ноября 2010.
5. Справочник по геофизике. М.: Наука, с. 218-228, 1965.
6. Fullekrug, M., Reising, S. C., and Lyons, W. A.: On the accuracy of arrival azimuth determination of sprite – associated lightning flashes by Earth – ionosphere cavity resonances, Geophysical Research Letters, 23, 25, 3691-3694, 1996.
7. Fullekrug, M., and Sukhorukov, A. I.: The Contribution of Anisotropic Conductivity in the Ionosphere to Lighting Flash Bearing Deviations in the ELF/ULF Range, Geophysical Research Letters, 26, 8, 1109-1112, 1999.
8. Hugh J. Christian, Richard J. Blakeslee, Dennis J. Boccippio. Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector. Journal of Geophysical Research, vol. 108, no. D1, 4005, doi:10.1029/2002JD002347, 2003.
9. Kemp, D. T.: The global location of large lightning discharges from single station observations of ELF disturbances in Earth-ionosphere cavity, J. of Atmospheric and Terrestrial Physics, 33, 919-927, Pergamon Press., 1971.
10. Rodger, C. J., Brundell, J. B., Dowden R. L., and Thomson, N. R.: Location accuracy of long distance VLF lightning location network, Ann. Geophys., 22, 747-758, 2004

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОИСКА РЕДКИХ СОБЫТИЙ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СВЯЗЕЙ АТМОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПАРАМЕТРАМИ МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЫ

В.В. Пчелкин

*Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Апатиты
pchelkin@pgia.ru*

Проблема автоматизации поиска в данных мировой сети нейтронных мониторов и в спутниковых данных событий, удовлетворяющих заданным требованиям, актуальна по многим обстоятельствами. Во-первых, это относительная редкость некоторых явлений, обуславливающая практическую невозможность их «ручного» поиска. Во-вторых, это желание гибко задавать параметры интересующих нас событий, выходя за рамки существующих каталогов. Например, в исследованиях возможных влияний флуктуаций потоков космических лучей на атмосферные процессы и, в частности, на глобальный резонатор Земля-ионосфера интересно включение в анализ Форбуш-эффектов не вспыхивающей, а рекуррентной природы [1, 2], а также иных вариаций КЛ и параметров солнечного ветра. Подобные события происходят достаточно часто, уверенно регистрируются приборами, но, нередко, не имеют специального названия и не входят в каталоги.

Достижение этой цели требует создания специализированных баз данных нейтронных мониторов, параметров солнечного ветра и атмосферных параметров, включающих возможность интеллектуального поиска в экспериментальных рядах требуемых событий по задаваемым исследователем признакам. В предлагаемой вниманию работе обсуждаются вопросы создания подобных алгоритмов.

Экспериментальные данные. Техника отбора событий.

Экспериментальные данные, использованные для тестирования разрабатываемых алгоритмов автоматизируемого отбора интересных нас событий, представляли собой результаты измерений на ряде НМ мировой сети (с. Апатиты, Мак-Мердо, Туле, Южный полюс и Ньюарк), значения индекса Dst, а также параметры солнечного ветра, полученные в ходе измерений на КА за период с 1980 по 1989г. С целью коррекции "провалов" данных применялась соответствующие символичные дополнения рядов или, в некоторых случаях, заполнения средними значениями.

Интеллектуальный отбор событий, удовлетворяющих совокупности некоторых требований относится к классическим задачам теории распознавания образов, решение которых, обычно, происходит в несколько этапов (см., например, [3, 4]):

- 1) Формализация предметной области (определение набора признаков, характеризующих объекты).
- 2) Формирование обучающей выборки.
- 3) Уменьшение размерности пространства признаков (для предотвращения «переобучения» и улучшения точности распознавания).

6) Формулировка решающего правила, реализующего отбор (сортировку) в соответствии с разделяющей поверхностью в окончательно выбранном пространстве признаков.

5) Составление алгоритма классификации

(Разумеется, приведенная последовательность схематична и не включает многие важные этапы.)

Применяемые для поиска списки дескрипторов разрабатывались на основе современного определения Форбуш-эффекта как модуляционного явления, обусловленного сильными флуктуациями окружающей (экранирующей) Землю плазмы [1, 2]. В такой трактовке ФЭ далеко не всегда связан со вспышкой на Солнце, а часто обусловлен, например, рекуррентными явлениями в солнечном ветре. Но, безусловно, он регистрируется на Земле нейтронными мониторами мировой сети. Поэтому в основу выбора событий были положены дескрипторы, описывающие формы фрагментов понижений в данных НМ, основными из которых являлись следующие:

1) Амплитудный признак (рассчитывался по минимальному значению показаний НМ в i -м анализируемом фрагменте):

$$b_{1,i} = \min(a_{i,j}), \quad (1)$$

где i – номер фрагмента исходного ряда, j – номер измерения.

2) Показатель крутизны спада переднего фронта (представлял собой численную оценку среднего за заданное время значения производной перед минимальной точкой в фрагменте):

$$b_{2,i} = \frac{\Delta a_{i,j\min}}{\Delta t_{i,j\min}} \quad (2)$$

3) Показатель совпадения. Рассчитывался для данного фрагмента как число совпадений с отборами в данных других мониторов.

Решающее правило отбора задавалось в виде совокупности градационных значений признаков. (Подобная схема успешно применялась нами при отборе т. н. всплесков Q-типа см. [5, 6])

Отметим, что описанные дескрипторы были не единственными использованными. В частности, в ряде случаев мы применяли показатели, характеризующие скорость восстановления скорости счета НМ к средним значениям.

Возможен был и другой подход, связанный с расчетом отклонение формы рассматриваемого анализируемого фрагмента от формы «классического» нормированного ФЭ (по вошедшим в каталоги) в евклидовой метрике:

$$b_{2,i} = \sum_j \sqrt{(a_{ид.,j} - a_{i,j})^2} \quad (3)$$

Но такой подход, на наш взгляд, слишком жестко увязан с существующим пониманием ФЭ и не позволяет выявлять флуктуации КЛ иной морфологии. Поэтому мы не применяли его.

Результаты тестирования.

На рис. 1 показаны результаты отбора ФП разных амплитуд и усредненные профили по данным НМ ст. Апатиты. Как видно из графиков, заданные градации выбранных дескрипторов уверенно выделяют из десятилетнего ряда ФП «классического» профиля. Результаты синхронного отбора из базы данных параметров солнечного ветра для ФП разной амплитуды иллюстрируют графики рис. 2 и рис. 3.

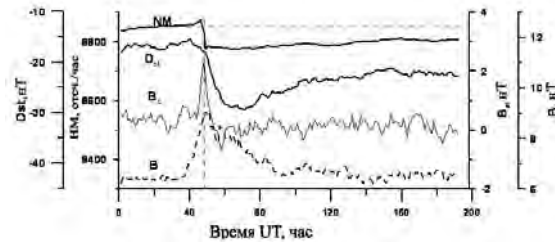
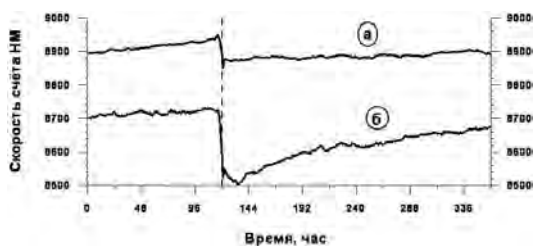


Рис. 1 (слева) «Средние» профили ФП амплитуды менее 0,8% и выше 1, 5% по данным НМ Апатиты. Рис. 2 (справа) Результат усреднения параметров солнечного ветра по выборке ФП рис. 1 (а) .

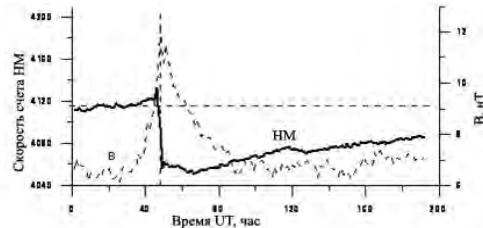
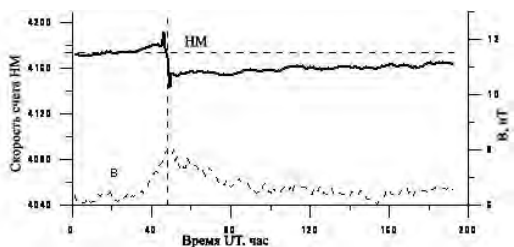


Рис. 3 Результаты отбора ФП (амплитуды менее 0,7% и свыше 1, 5%) по данным монитора ст. Туле. Пунктиром показан средний ход модуля ММП в отобранных событиях.

Вывод: Показана возможность создания эффективных алгоритмов автоматизированного отбора событий заданного типа в данных мировой сети нейтронных мониторов и в спутниковых данных на основе применения методов теории распознавания образов. Созданные алгоритмы протестированы на примере решения задачи отбора вспыхивающих и рекуррентных Форбуш-эффектов разных заданных амплитуд и профилей по десятилетнему ряду данных. Эти алгоритмы, безусловно, могут быть эффективным средством поиска корреляционных связей между характеристиками атмосферы и параметрами околоземной космической среды

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ОФН РАН № 4.11.

Литература

- 1) Белов А.В., Дорман Л.И., Ерошенко Е.А. и др. - Структура Форбуш-понижений // Геомагнетизм и аэрномия. 1976, Т 16, № 5, С 761.
- 2) Белов А. В., Иванов К.Г.- Форбуш-эффекты в 1978 году. 1. Роль внезапно исчезающих волокон. // Геомагнетизм и аэрномия, Т.37, №3, 1997
- 3) Вапник В.Н., Червоненкис А.Я. Теория распознавания образов (статистические проблемы обучения). – М.:Наука, 1974.-415 с.
- 4) Загоруйко Н.Г. Методы распознавания и их применение.-М. : Сов.радио, 1972. -206 с
- 5) Пчелкин В.В., Белоглазов М. И., Васильев А. Н., Воронин А. И. - Всплески Q-типа в магнитных колебаниях КНЧ диапазона как явление, отражающее свойства глобального резонатора Земля-ионосфера // Геомагнетизм и аэрномия, 2010, Т. 50, N 5, с. 1-9.
- 6) Пчелкин В. В. Автоматизация поиска редких событий в экспериментальных рядах на примере отбора всплесков Q-типа методами теории распознавания образов.//Труды VII Всероссийской научной школы «Математические исследования в естественных науках», Апатиты, 3-6 октября 2011г, С. 124-128.

О СВЯЗИ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СРЕДНЕГО УРОВНЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КНЧ ШУМОВ И ГЛОБАЛЬНОЙ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ

В.В. Пчелкин, М.И. Белоглазов
 Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Апатиты
 pchelkin@pgia.ru

Наблюдения за грозовой активностью представляют ценный экспериментальный материал для разработки теорий глобальной электрической цепи [14, 6, 2, 12]. При этом существенным недостатком традиционных наблюдений за грозовой активностью (совокупной площадью, занятой грозами, числом дней с грозой и т.д.) как и активно развиваемых последнее время способов наземной и спутниковой регистрации числа молниевых разрядов, является то, что они дают мало информации о переносимом электрическом заряде. А сезонные увеличения числа разрядов, например, вполне может сопровождаться уменьшением, в среднем, тока молний. Следует отметить что спутниковые и наземные наблюдения за числом молниевых разрядов (а также площадью, охваченной грозами) на

данный момент не отличаются полнотой охвата территории и оперативностью. «Онлайн-контроль» за числом молниевых разрядов в глобальном масштабе остается пока делом будущего [9, 10, 13].

В связи со сказанным становится понятен интерес к исследованиям шумового электромагнитного поля диапазона частот района первого шумановского резонанса. В ряде работ [5, 1, 3, 11] были высказаны предположения о связи шумовых колебаний в данном диапазоне частот с глобальной грозовой активностью. Изучение амплитудных и угловых характеристик шумового магнитного поля КНЧ – диапазона могло бы дать альтернативный источник информации, существенно расширяющий возможности мониторинга грозовой активности.

Экспериментальные данные и их обработка

В работе были использованы результаты измерений двух компонент горизонтальной составляющей магнитного поля индукционного магнитометра высокоширотной обсерватории «Ловозеро» (центральная часть Кольского полуострова; 67,97° с.ш., 35,08° в.д.). Используемый двухкомпонентный магнитометр состоит из антенной системы с предусилителем и приемной части. Две ортогональные антенны ориентированы относительно магнитного меридиана. Подробное описание прибора содержится в работах [3, 4]. Экспериментальные данные подвергались действию цифровых фильтров, сужающих полосу частот примерно до диапазона 6-11 Гц (т. е. район 1-й шумановской резонансной моды).

Благоприятной особенностью наблюдений в высоких широтах является отсутствие сигналов от ближних гроз. С другой стороны, близость к токовым источникам магнитосферных возмущений требовало аккуратной сортировки материала с целью исключения дней, сопровождающихся сильными магнитосферными помехами. Кроме этого были исключены записи с техногенными шумами. Техника сортировки подробно описана в работе [4].

Далее были определены средние за сутки значения модуля горизонтальной составляющей магнитной компоненты шумового поля, её медианное значение, а также параметр степенной зависимости k , входящий в эмпирическую формулу, широко применяющуюся для описания амплитудного распределения шумов в данном и смежных частотных диапазонах [7, 8, 4]:

$$P(X) = [1 + (X/X_{50})^k]^{-1}$$

(X – регистрируемая амплитуда, а X_{50} – медиана распределения.)

Результаты и обсуждение

Как видно из рис. 1, годовые ходы среднего значения модуля горизонтальной составляющей измеряемого шумового поля и её медианного значения характеризуются выраженным ростом (примерно на 60 процентов) в летний сезон северного полушария. При этом сезонных изменений коэффициента k не наблюдается (колебания в пределах суточных флуктуаций).

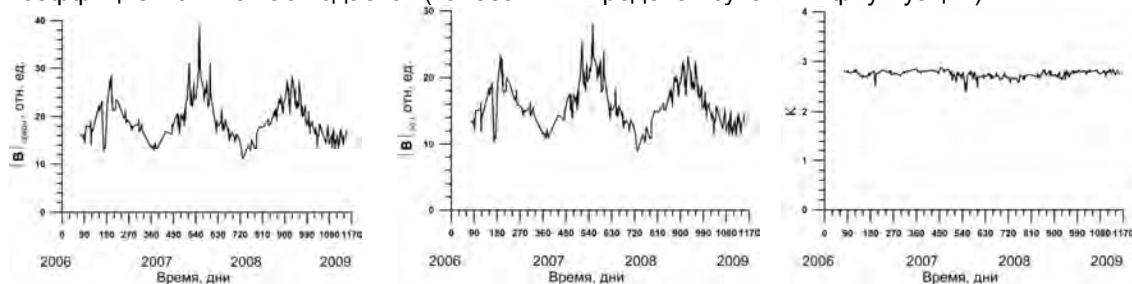


Рис.1 Годовой ход амплитудных характеристик поля – среднего и медианного значения модуля горизонтальной компоненты магнитной составляющей и коэффициента k (пояснения в тексте).

Объединение результатов наших измерений со спутниковыми данными [9] позволило построить графики рис. 2, показывающие рост среднего (за сезоны северного полушария) значения модуля горизонтальной компоненты магнитной составляющей поля и её медианного значения при летнем увеличении числа молниевых разрядов.

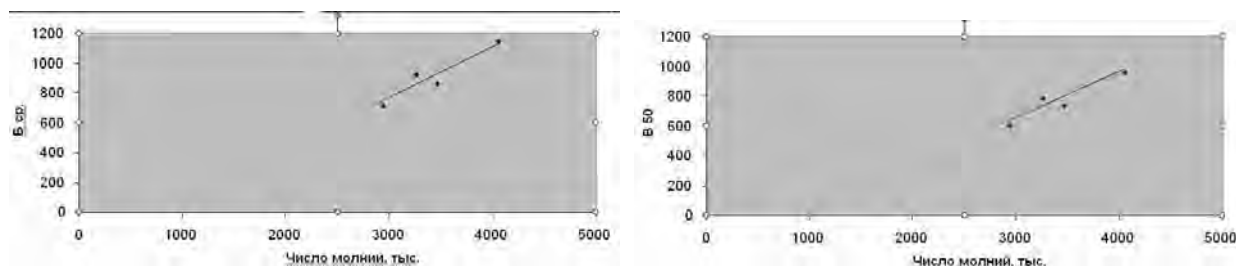


Рис. 2 Зависимость среднего и медианного значения модуля горизонтальной компоненты поля (в отн. ед. на графике) от числа молниевых разрядов по сезонам.

Выводы:

- 1) Измерения показывают летнее (по отношению к зиме сев. полушария) увеличение среднего уровня модуля горизонтальной компоненты магнитного поля в диапазоне частот 6-11Гц и отсутствие сезонного у показателя степенной зависимости эмпирической функции распределения шумов по амплитуде.
 - 2) Сопоставление со спутниковыми данными регистрации молниевых разрядов обнаруживает положительный тренд зависимости среднего уровня поля и его медианного значения от числа молниевых разрядов. Показан аналогичный положительный тренд амплитудных характеристик поля при сезонном увеличении числа гроз.
 - 3) Средний по глобальному ансамблю токовый момент летом увеличивается. В предположении неизменности средней длины молний можно говорить о летнем увеличении токового вклада молниевых разрядов в балансе источников ГЭЦ.
- Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ОФН РАН № 4.11.*

Литература

- 1) Александров М.С., Бакленева З.М., Гладштейн Н.Д., Озеров В.П., Потапов А.В., Ремизов Л.Т. - Флуктуации электромагнитного поля Земли в диапазоне СНЧ // М.: Наука, с. 33-35, 1972.
- 2) Анисимов С. В., Мареев Е. А.– Геофизические исследования глобальной электрической цепи // Физика Земли. 2008. № 10. С. 8-18.
- 3) Белоглазов М.И., Ахметов О.И., Васильев А.Н., Косолапенко В.И. Вариации глобальной грозовой активности по наблюдениям интенсивности 1-го Шумановского резонанса в Арктике // Метеорология и гидрология. Т.60, №12, с.18-24, 2009.
- 4) Белоглазов М. И., Пчелкин В. В. – Особенности распределения уровней высокоширотного атмосферного шумового электромагнитного поля в окрестности первого шумановского резонанса. // Геомагнетизм и аэрномия, №5, 2011, с. 677-682.
- 5) Блиох П.В., Николаенко А.С., Филиппов Ю.В. - Глобальные электромагнитные резонансы в полости земля-ионосфера // Киев: Наукова думка, с. 146-147, 1977.
- 6) Имянитов И.М., Шифрин К.С. Современное состояние исследований атмосферного электричества. // Успехи физических наук, т.76, вып. №4, с. 593-642, 1962
- 7) Лихтер Я.И. Об аппроксимационной формуле закона распределения амплитуды огибающей атмосферных радиопомех. // Геомагнетизм и аэрномия. Том 1. №2. 1961, 281 с.
- 8) Махоткин Л. Г. - Статистика атмосферных радиопомех. // Геомагнетизм и аэрномия. Том 3. №2. 1963, с. 284 – 292.
- 9) Hugh J. Christian, Richard J. Blakeslee, Dennis J. Boccippio. Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector. Journal of Geophysical Research //, vol. 108, no. D1, 4005, doi:10.1029/2002JD002347, 2003.
- 10) C.J. Rodger, S. Werner, J.B. Brundell, E. H. Lay, N. R. Thomson, R. H. Holzworth, and R.L. Dowden. Detection efficiency of the VLF World-Wide Lightning Location Network (WWLLN): initial case study. Ann. Geophys., 24, 3197-3214, 2006
- 11) Claudia Rossi, Paolo Palangio and Franco Rispoli. Investigations on diurnal and seasonal variations of Schumann resonance intensities in the auroral region. // Annals of geophysics. vol. 50, no 3, 2007.
- 12) Rycroft M., J., Harrison R. G., Niccoll K. A., Mareev E. A., - An overview of Earth's global electric circuit and atmospheric conductivity // Space Sci. Rev. 2008. V. 137, #1-4. P. 83-105
- 13) Sergio F. Abarca, Kristen L. Corbosiero, and Thomas J. Galarneau Jr.- An evaluation of the World-Wide Lightning Location Network (WWLLN) using the National Lightning Detection Network (NLDN) as ground truth.-JGR, vol. 115, D18206, doi:10.1029/2009JD013411, 2010
- 14) Wilson C.T. Investigations on lightning discharges and on electric field of thunderstorms. // Philos. Trans. Roy. Soc. London. A.. Vol. 221, 1925.

КОМПЛЕКС АВТОМАТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОПАСНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ, ВКЛЮЧАЯ ГРОЗОПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ НА ОСТАНКИНСКОЙ ТЕЛЕБАШНЕ

П.Е. Разин¹, М.Г. Андреев², В.С. Сысоев², А.Ю. Костинский³, М.У. Булатов², Д.И. Сухаревский², Ю.В. Шлюгаев⁴

1 - ФГУП «Российская телевизионная и радиовещательная сеть», Москва

2 - Всероссийский электротехнический институт, Москва, Россия

3 - Российская венчурная компания, Москва, Россия

4 - Российская венчурная компания, Москва; Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород
omio@tvtower.ru

Останкинская телевизионная башня в Москве имеет большую высоту (540м) и имеет доминирующее положение над подстилающей земной поверхностью и рядом стоящими объектами. Конструкция башни выносит потенциал земли на большую высоту и резко изменяет распределение атмосферного электрического поля над землей. Опасность поражения молнией технического персонала, работающего на внешних частях башни, приемного и передающего оборудования вызывает необходимость в надежной системе грозового предупреждения.

На основании длительных исследований и экспериментов для Останкинской телебашни была создана (разработка Энергетического института им. Г.М. Кржижановского в конце 90-х годов 20-го века) и действует до настоящего времени система грозового предупреждения [1]. В качестве показателя опасной грозовой ситуации использованы уровень тока коронного разряда, возникающего на трех электродах-датчиках, которые установлены на высоте 523 м по окружности под углом 120° друг к другу. Интенсивность коронного разряда с электродов хорошо следует за величиной напряженности электрического поля от заряженных облаков. Сигнал об опасной грозовой ситуации выдается системой грозооповещения, когда суммарный ток короны с трех электродов превышает определенное пороговое значение.

За годы эксплуатации на Останкинской башне система показала свою эффективность и надежность. Более того, до сего времени в России не созданы аналогичные системы грозооповещения (использующих принцип предразрядного тока), что значительно ухудшает условия эксплуатации сверхвысоких объектов (башни высотой более 150 м различного типа). Однако техническая реализация Останкинской системы сильно технически и морально устарела, что ограничивало ее эффективное использование.

В данной работе приводятся результаты глубокой модернизации системы грозооповещения Останкинской телебашни интегрированной в комплекс автоматических приборов предупреждения опасных атмосферных явлений, позволившая сильно расширить ее функциональные возможности (рис.1). Это касается как выполнения современного надежного, помехоустойчивого цифрового канала передачи измеренного сигнала, так и интегрированность ее с другими метеорологическими каналами башни. Кроме того, появилась возможность измерять сигналы (токи короны) со значительно более высоким временным разрешением и регистрировать сигнал в режиме реального времени (с выдачей результата в интернет), что позволило предсказывать опасные грозовые ситуации за гораздо более короткий промежуток времени и с более высокой надежностью.

Модернизированная система грозооповещения перед установкой на башню была протестирована на установке модель грозовой ячейки Комплексного высоковольтного стенда Всероссийского электротехнического института [2] путем создания в свободной атмосфере с помощью заряженного водного аэрозоля электрических полей, характерных для грозовой ситуации на Останкинской башне. Также была проверена электромагнитная совместимость разработанной системы в условиях сильных грозовых электромагнитных помех (устойчивость работы при помехах от искрового разряда длиной до 30 м, создаваемого при импульсах напряжения до 3 МВ и формой, характерной для разряда молнии). На рис. 2 приведен пример записи токов короны на Останкинской башне с помощью модернизированной системы грозооповещения.

В связи со снижением помехоустойчивости электронного оборудования (из-за повсеместного использования микроселектронной техники и снижения уровня допустимых электромагнитных помех) и опасности для персонала при обслуживании высотных башен, возникает необходимость использования на них подобных систем. В настоящее время для этих целей создан и проверен (при искровом разряде с потенциалом до 3 МВ) в условиях сильных электромагнитных помех канал связи с использованием технологии WI-FI, который показал свою работоспособность и надежность при расстояниях до 600 м. Также создана система регистрации напряженности электрического поля на основе флюксметра с высоким пространственным и временным разрешением и дистанционным управлением. В дальнейшем, при наборе определенной положительной статистики работы таких систем, желательна их стандартизация.

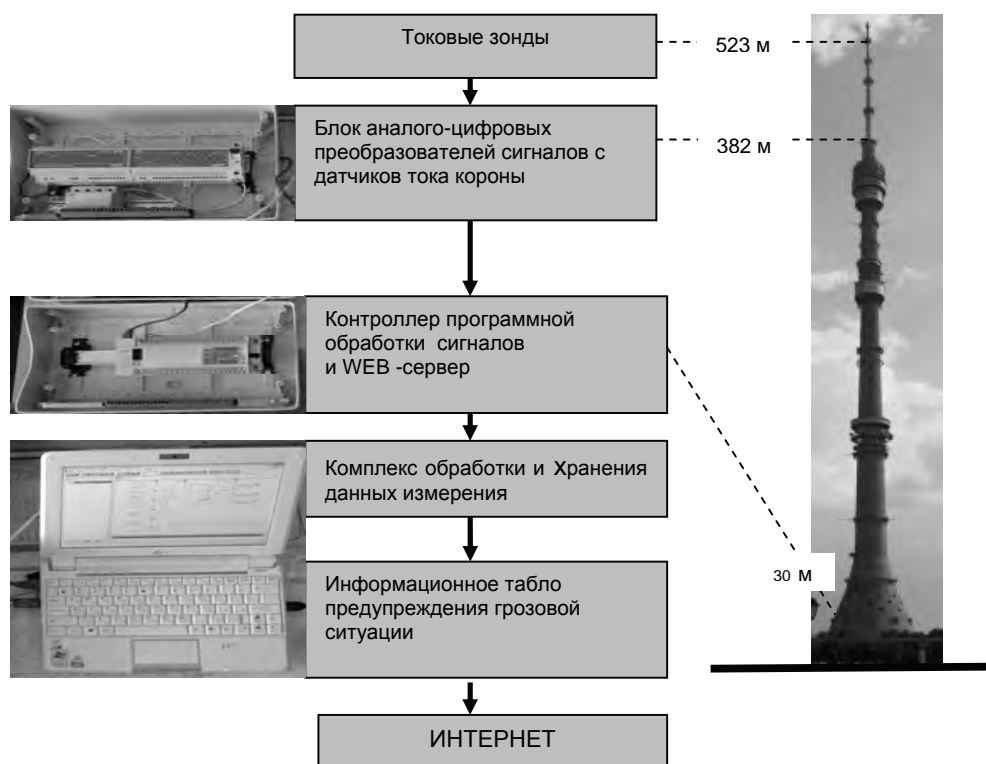


Рис.1. Схема расположения и функциональных связей блоков автоматической системы грозооповещения Останкинской телебашни.

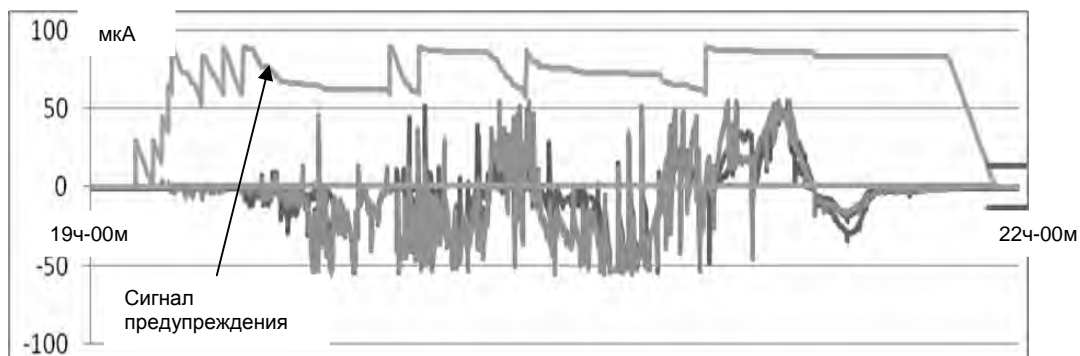


Рис. 2. Пример записи коронных токов системы грозооповещения и выработки сигнала предупреждения во время развития грозовой ситуации в районе Останкино 28 июля 2011г.

Работа подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках госконтрактов по мероприятию 5.2/1.8 и мероприятию 1.9 ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2007-2013 годы».

Литература

Автоматическая система грозооповещения Останкинской телебашни. Горин Б.Н., Отчет № 93, № Гос. регистрации 74.049.395.
Интернет-сайт vei-istra.ru.

A REVIEW OF RECENT PROGRESS IN STUDYING PHYSICS OF LIGHTNING

V.A. Rakov
University of Florida, Gainesville, Florida, USA
rakov@ece.ufl.edu

An overview of recent progress in studying the physics of cloud-to-ground lightning is given, including its initiation, propagation, and attachment to ground. Mechanism and parameters of compact intracloud discharges are discussed. Lightning electromagnetic pulse interaction with the ionosphere and production of energetic radiation (x-rays and gamma radiation) by lightning are considered.

Lower positive charge in the cloud and lightning type. The percentage of flashes exhibiting detectable preliminary breakdown (PB) pulse trains varies from less than 20% to 100%. Nag and Rakov (2009) interpreted the PB pulse train as being generated when a negatively-charged channel extends downward from the main negative charge region and encounters an appreciable lower positive charge region (LPCR). When the LPCR is small, no PB pulse train may be produced. While the LPCR may serve to enhance the electric field at the bottom of the negative charge region and thereby facilitate the launching of a negatively-charged leader toward ground, presence of excessive LPCR may prevent the occurrence of negative cloud-to-ground flashes by “blocking” the progression of descending negative leader from reaching ground. Four conceptual lightning scenarios that may arise depending upon the magnitude of the LPCR have been inferred.

Lightning leader stepping mechanism. Biagi et al. (2010), using a high-speed video camera (4.17-us frame integration time), imaged the bottom 150 m of a downward negative, dart - stepped leader in a rocket and wire triggered flash. They observed vertically-elongated luminous formations, 1 to 4 m in length, that were separated by dark gaps, 1 to 10 m in length, from the bottom of the downward extending leader channel. These formations were similar to the space stems or space leaders that have been imaged in long negative laboratory sparks (e.g., Ortega et al., 1994). Wang et al. (1999b), using a high-speed (100-ns sampling interval) digital optical imaging system (ALPS), reported observations of luminosity waves that originated at newly formed leader steps in a dart stepped leader and propagated toward the cloud. The spatial resolution of ALPS was about 30 m.

Lightning attachment process. Wang et al. (1999a) reported the first optical image of upward connecting leader in rocket-triggered lightning. Two dart-leader/return-stroke sequences, simultaneously recorded by the ALPS and by the electric field and current measuring systems, have been used for studying the lightning attachment process. The spatial resolution of ALPS was about 3.6 m. For one of the events the length of the upward connecting leader was estimated to be 7 to 11 m. The upward connecting leader was characterized by a light intensity about one order of magnitude lower than that of the corresponding downward leader and by a duration of several hundreds of nanoseconds. The following return stroke started at the junction point of the downward and upward leaders and then traveled in both upward and downward directions. Biagi et al. (2009), using a high-speed video cameras (20-us frame integration time), recorded upward connecting leaders, ranging from 9 to 22 m in length, in eight strokes of a single rocket-triggered lightning flash.

Compact intracloud lightning discharges. Compact intracloud lightning discharges (CIDs), received their name due to their relatively small (hundreds of meters) spatial extent. They (a) are most intense natural producers of HF-VHF (3 – 300 MHz) radiation on Earth, (b) tend to occur at high altitudes (mostly above 10 km), (c) appear to be associated with strong convection, however, even the strongest convection does not always produce CIDs, (d) tend to produce less light than other types of lightning discharges, (e) produce single bipolar electric field pulses (Narrow Bipolar Pulses or NBPs) having typical amplitudes of the order of 10 V/m at 100 km, which is comparable to or higher than for return strokes in ground flashes. Nag and Rakov (2010a) showed that, from the electromagnetic point of view, the CID is essentially a bouncing-wave phenomenon. Nag and Rakov (2010b) estimated electrical parameters for 48 CIDs, using the Hertzian dipole approximation. CID peak currents are comparable to or higher than those for first return strokes in cloud-to-ground lightning, while their peak radiated (wideband) power is about an order of magnitude larger than that for return strokes.

Lightning interaction with the ionosphere. Haddad et al. (2012) analyzed wideband vertical electric field waveforms of first and subsequent return strokes in negative natural lightning. At distances ranging from 100 to 330 km, electric field waveforms, recorded primarily under daytime conditions, tended to be oscillatory, showing two cycles within 500 us, with the corresponding frequency being about 4-5 kHz. The initial positive half-cycle and the following opposite polarity overshoot constitute the ground wave and the second positive half-cycle is the one-hop ionospheric reflection, as confirmed by FDTD modeling. The observed differences in arrival times of these two waves for subsequent strokes is considerably smaller than for first strokes, suggesting that the first-stroke electromagnetic field caused a descent of the lower ionosphere. For most (103 out of 124) of the subsequent strokes the mean reflection height was about 76 km, which is 5 km lower than that for the first strokes, but the height distribution exhibited a long tail, extending to as low as 30 km.

Haddad et al. (2012) speculated that there might be cumulative contributions of multiple strokes to lowering the ionospheric reflection height.

X-rays produced by first and subsequent strokes in natural lightning. All types of negative leaders produce x-ray emissions with individual photon energies typically ranging from 30 to 250 keV (the latter being about twice the energy of a chest x-ray), although occasionally photons in the MeV range were observed. These emissions are associated with the descending leader tip and with the ground attachment process. It is likely that x-ray emissions from cloud-to-ground lightning leaders are associated with the so-called cold runaway (also known as thermal runaway) breakdown, in which very strong electric fields (>30 MV/m) cause the high-energy tail of the bulk free electron population to grow, allowing some electrons to runaway to high energies. Such very high fields may be present at streamer heads or leader tips. Mallick et al. (2012) reported that for 23 (8 first and 15 subsequent) strokes within 2 km of their observation site, the occurrence of detectable x-rays was 88% and 47% for first and subsequent strokes, respectively. Subsequent strokes were often more prolific producers of detectable x-rays than their corresponding first strokes. For first leaders, the maximum estimated x-ray source height did not exceed 800 m, whereas for subsequent leaders the source height distribution appeared to extend to as high as about 3.6 km. From non-detection of x-rays in association with some leaders within a flash and with some steps within the same leader, they inferred that the runaway breakdown was not a necessary feature of lightning leaders.

This work was supported in part by the U.S. National Science Foundation and by DARPA.

References

- Biagi C.J., Jordan D.M., Uman M.A., Hill J.D., Beasley W.H., Howard J. High-speed video observations of rocket-and-wire initiated lightning, *Geophys. Res. Lett.*, 2009, 36, L15801, doi:10.1029/2009GL038525.
- Biagi C.J., Uman M.A., Hill J.D., Jordan D.M., Rakov V.A., Dwyer J.R. Observations of stepping mechanisms in a rocket - and - wire triggered lightning flash, *J. Geophys. Res.*, 2010, 115, D23215, doi:10.1029/2010JD014616.
- Haddad M.A., Rakov V.A., Cummer S.A., New measurements of lightning electric fields in Florida: Waveform characteristics, interaction with the ionosphere, and peak current estimates, *J. Geophys. Res.*, 2012, 117, D10101, doi:10.1029/2011JD017196.
- Mallick S., Rakov V.A., Dwyer J.R., A study of x-ray emissions from thunderstorms with emphasis on subsequent strokes in natural lightning, *J. Geophys. Res.*, 2012, 117, doi:10.1029/2012JD017555.
- Nag A. and Rakov V.A., Some inferences on the role of lower positive charge region in facilitating different types of lightning, *Geophys. Res. Lett.*, 2009, 36, L05815, doi:10.1029/2008GL036783.
- Nag A. and Rakov V.A., Compact intracloud lightning discharges: 1. Mechanism of electromagnetic radiation and modeling, *J. Geophys. Res.*, 2010a, 115, D20102, doi:10.1029/2010JD014235.
- Nag A. and Rakov V.A., Compact intracloud lightning discharges: 2. Estimation of electrical parameters, *J. Geophys. Res.*, 2010b, 115, D20103, doi:10.1029/2010JD014237.
- Ortega P., Domens P., Gibert A., Hutzler B., Riquel G., Performance of a 16.7 m air rod-plane gap under a negative switching impulse, *J. Phys. D Appl. Phys.*, 1994, 27, 2379–2387.
- Wang D., Rakov V.A., Uman M.A., Takagi N., Watanabe T., Crawford D.E., Rambo, K.J. Schnetzer G.H., Fisher R.J., Kawasaki Z.-I., Attachment process in rocket-triggered lightning strokes, *J. Geophys. Res.*, 1999a, 104, 2143–2150.
- Wang D., Takagi N., Watanabe T., Rakov V.A., Uman M.A., Observed leader and return-stroke propagation characteristics in the bottom 400 m of a rocket-triggered lightning channel, *J. Geophys. Res.*, 1999b, 104, 14,369–14,376.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТУРБУЛЕНТНОГО ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ ПРИ НАЛИЧИИ МНОГОКРАТНО ЗАРЯЖЕННЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ

А.А. Редин, Г.В. Куповых, А.С. Болдырев

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г.

Таганроге

alexandr.redin@gmail.com

Нестационарная электродинамическая модель атмосферного турбулентного приземного слоя при наличии в нем многократно заряженных аэрозольных частиц состоит из ионизационно-рекомбинационных уравнений для легких ионов с учетом их взаимодействия с аэрозольными частицами, уравнений турбулентного переноса тяжелых ионов, образовавшихся в результате этого взаимодействия, и уравнения Пуассона [1,3]:

$$\begin{aligned}
N_0 + \sum_{k=1}^m N_1^{(k)} + \sum_{k=1}^m N_2^{(k)} &= N = \text{const}, \\
\frac{\partial N_1^{(k)}}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial z} \left(\chi(z) \cdot \frac{\partial N_1^{(k)}}{\partial z} \right) &= n_1 \beta_{11}^{(k-1)} N_1^{(k-1)} - n_1 \beta_{11}^{(k)} N_1^{(k)} + n_2 \beta_{21}^{(k+1)} N_1^{(k+1)} - n_2 \beta_{21}^{(k)} N_1^{(k)}, \\
\frac{\partial N_2^{(k)}}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial z} \left(\chi(z) \cdot \frac{\partial N_2^{(k)}}{\partial z} \right) &= n_2 \beta_{22}^{(k-1)} N_2^{(k-1)} - n_2 \beta_{22}^{(k)} N_2^{(k)} + n_1 \beta_{12}^{(k+1)} N_2^{(k+1)} - n_1 \beta_{12}^{(k)} N_2^{(k)}, \\
\frac{\partial n_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} (b_1 E n_1) - \frac{\partial}{\partial z} \left(D_T(z) \cdot \frac{\partial n_1}{\partial z} \right) &= q(z) - \alpha n_1 n_2 - n_1 \sum_{k=0}^{m-1} \beta_{11}^{(k)} N_1^{(k)} - n_1 \sum_{k=1}^m \beta_{12}^{(k)} N_2^{(k)}, \\
\frac{\partial n_2}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial z} (b_2 E n_2) - \frac{\partial}{\partial z} \left(D_T(z) \cdot \frac{\partial n_2}{\partial z} \right) &= q(z) - \alpha n_1 n_2 - n_2 \sum_{k=0}^{m-1} \beta_{22}^{(k)} N_2^{(k)} - n_2 \sum_{k=1}^m \beta_{21}^{(k)} N_1^{(k)}, \\
\frac{\partial E}{\partial z} &= \frac{e}{\varepsilon_0} \left(n_1 - n_2 + \sum_{k=1}^m k N_1^{(k)} - \sum_{k=1}^m k N_2^{(k)} \right).
\end{aligned} \tag{1}$$

Начальные и граничные условия формулируются в виде:

$$\begin{cases}
n_{1,2}(t=0) = \frac{-BN + ((BN)^2 + 4\alpha q)^{1/2}}{2\alpha} \cdot \left(1 - e^{-\frac{(z-z_0)}{L_0}} \right), & n_{1,2}(z=z_0) = 0, & n_{1,2}(z=l) = \frac{-BN + ((BN)^2 + 4\alpha q)^{1/2}}{2\alpha}, \\
N_{1,2}^{(k)}(t=0) = B_k, & \left(\frac{\partial N_{1,2}^{(k)}}{\partial z} \right)_{z=z_0} = 0, & N_{1,2}^{(k)}(z=l) = B_k, & E(t=0) = E_0, & E(z=z_0) = E_0,
\end{cases} \tag{2}$$

где $n_{1,2}$ - объемная концентрация легких ионов (аэроионов), $b_{1,2}$ - их подвижность, E - напряженность электрического поля, $D_T(z)$, $\chi(z)$ - коэффициенты турбулентной диффузии легких и тяжелых ионов соответственно, $q(z)$ - интенсивность ионообразования, α - коэффициент рекомбинации легких ионов, E_0 - значение напряженности электрического поля у поверхности земли, $N_1^{(k)}$, $N_2^{(k)}$ - объемные концентрации положительных, отрицательных k раз заряженных тяжелых ионов, N_0 - концентрации нейтральных тяжелых ионов; N - концентрации аэрозольных частиц, $\beta_{ij}^{(k)}$ - коэффициенты взаимодействия легких ионов с k раз заряженными тяжелыми ионами [2], k - число элементарных зарядов на тяжелом ионе, m - максимально возможное число элементарных зарядов на тяжелом ионе.

При записи системы уравнений предполагалось: выполнение условия равновесия между тяжелыми и легкими ионами; пренебрежение током тяжелых ионов; равновесное состояние между концентрациями заряженных и нейтральных частиц.

При решении системы параметры, входящие в систему уравнений (1), принимались следующими [1]: $b_1 = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \text{В}^{-1} \text{с}^{-1}$, $b_2 = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \text{В}^{-1} \text{с}^{-1}$, $\alpha = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3 \text{с}^{-1}$, $E_0 = -100 \text{ Вм}^{-1}$, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$. Для функции интенсивности ионообразования q использовалось представление:

$$q(z) = \left(7 + q_0 e^{-\frac{z}{0,423}} \right) \cdot 10^6 \text{ м}^{-3} \text{с}^{-1}.$$

Кoeffициент турбулентной диффузии для легких и тяжелых ионов задавался в виде $D_i(z) = \chi(z) = D_i z$.

Для моделирования электрической структуры горизонтально-однородного свободного от аэрозоля турбулентного приземного слоя использовалась система уравнений (1) - (2). Для записи системы (1) с начальными и граничными условиями (2) в конечно-разностном виде использовалось двухпараметрическое семейство схем с весами: на первом этапе решается неявная ($\sigma_1 = \sigma_2 = 1$) линейная система уравнений на полуслое; на втором этапе решается явно-неявная ($\sigma_1 = \sigma_2 = 1/2$) нелинейная система уравнений на слое, при этом нелинейные коэффициенты вычисляются с использованием полученных на первом этапе значений на полуслое, т.е. схема «Предиктор-Корректор» [3]. Полученная трехдиагональная матрица решалась методом прогонки, так как выполнялись условия требований к этому методу об устойчивости и сходимости [4].

Рис. 1. Электродинамическая структура ПС при $D_1 = 0,1 \text{ мс}^{-1}$, $N = 10^9 \text{ м}^{-3}$ и $r = 0,4 \text{ мкм}$ для $m = 5$

Результаты численных расчетов представлены профилями положительно (n_1) и отрицательно (n_2) заряженных легких ионов, положительно (N_1) и отрицательно (N_2) заряженных тяжелых ионов и напряженности (E) электрического поля. Затем на основании полученных данных рассчитывались профили плотности тока проводимости (j) и плотности объемного заряда ($\rho = \rho_1 + \rho_2$, где ρ_1, ρ_2 - плотности объемного заряда, создаваемого отдельно легкими и тяжелыми ионами соответственно). Проведенные расчеты показали, что при размере аэрозольных частиц 0,04 мкм на электродинамическую структуру приземного слоя основное влияние оказывают только одно и двукратно заряженные аэрозольные частицы. При этом увеличение максимального числа зарядов на аэрозольной частице до двух приводит тому, что значения плотности объемного заряда остаются практически неизменными; значения плотности тока проводимости уменьшаются на 3% для высот

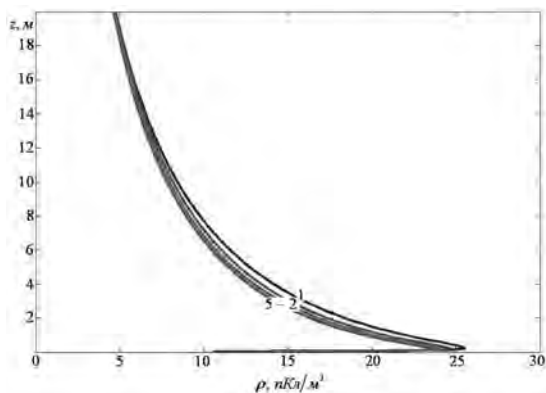


Рис. 2. Плотность объемного заряда в турбулентном ПС при $D_1 = 0,1 \text{ мс}^{-1}$, $N = 10^9 \text{ м}^{-3}$ и $r = 0,4 \text{ мкм}$; кривые 1–5 для $m = 1; 2; 3; 4; 5$

нескольких метров от поверхности земли, толщина электродного слоя увеличивается на несколько процентов; время установления стационарного режима остается неизменным.

Увеличение размера аэрозольных частиц до 0,4 мкм приводит к тому, что на электродинамическую структуру приземного слоя основное влияние начинают оказывать трех-, четырех- и пятикратно заряженные аэрозольные частицы (Рис. 1). При этом увеличение максимального числа зарядов на аэрозольной частице до 5 приводит к следующему: значения плотности объемного заряда остаются практически неизменными значения плотности тока проводимости уменьшаются более чем на 25% на высоте нескольких метров; толщина электродного слоя увеличивается более чем на 5%; время установления стационарного режима увеличивается в 1,5 раза.

Работа выполнена при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».

Литература

1. Куповых Г.В., Морозов В.Н., Шварц Я.М. Теория электродного эффекта в атмосфере. — Таганрог. Изд-во ТРТУ, 1998. — 123 с.
2. Редин А.А., Куповых Г.В., Клово А.Г., Болдырев А.С. Математическое моделирование электродинамических процессов в приземном слое в условиях аэрозольного загрязнения атмосферы // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Актуальные задачи математического моделирования». — Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011, № 8 (121). — С. 111-121.
3. Морозов В.Н. Математическое моделирование атмосферно-электрических процессов с учетом влияния аэрозольных частиц и радиоактивных веществ. — Санкт-Петербург. Изд-во РГГМУ, 2011. — 253 с.
4. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы математической физики //2-е изд. М.: Научный мир, 2003. -316 с.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНВЕКТИВНО-ТУРБУЛЕНТНОГО ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

А.А. Редин, Г.В. Куповых, А.С. Болдырев, А.А. Букантис

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г.

Таганроге

alexandr.redin@gmail.com

Нестационарная электродинамическая модель атмосферного конвективно-турбулентного приземного слоя состоит из ионизационно-рекомбинационных уравнений для легких ионов с учетом турбулентного и конвективного переносов и уравнения Пуассона [1,2]:

$$\begin{cases} \frac{\partial n_{1,2}}{\partial t} \pm \frac{\partial}{\partial z}(b_{1,2} \cdot n_{1,2} \cdot E) - \frac{\partial}{\partial z}\left(D_T(z) \cdot \frac{\partial n_{1,2}}{\partial z}\right) + \frac{\partial}{\partial z}(v(z) \cdot n_{1,2}) = q(z) - \alpha n_1 n_2, \\ \frac{\partial E}{\partial z} = \frac{e}{\varepsilon_0}(n_1 - n_2). \end{cases} \quad (1)$$

Начальные и граничные условия сформулированы в виде:

$$\begin{cases} n_1(z, t)|_{t=0} = n_2(z, t)|_{t=0} = \sqrt{\frac{q}{\alpha}} \left(1 - e^{-\frac{(z-z_0)}{L_0}}\right), \\ E(z, t)|_{t=0} = E_0, \quad n_1(z, t)|_{z=z_0} = n_2(z, t)|_{z=z_0} = 0, \\ n_1(z, t)|_{z=l} = n_2(z, t)|_{z=l} = \sqrt{\frac{q}{\alpha}}, \quad E(z, t)|_{z=z_0} = E_0, \end{cases} \quad (2)$$

где $n_{1,2}$ - объемная концентрация легких ионов (аэроионов), $b_{1,2}$ - их подвижность, E - напряженность электрического поля, $v(z)$ - вертикальная составляющая конвективного переноса аэроионов, $D_T(z)$ - коэффициент турбулентной диффузии аэроионов, $q(z)$ - интенсивность ионообразования, α - коэффициент рекомбинации аэроионов, E_0 - значение напряженности электрического поля у поверхности земли, L_0 - характерная толщина турбулентного электродного слоя, $z_0 = 2,5 \cdot 10^{-3}$ м - параметр шероховатости земной поверхности, l - верхняя граница электродного слоя.

При решении системы параметры, входящие в систему уравнений (1), принимались следующими [1]: $b_1 = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \text{В}^{-1} \text{с}^{-1}$, $b_2 = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \text{В}^{-1} \text{с}^{-1}$, $\alpha = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3 \text{с}^{-1}$, $E_0 = -100 \text{ Вм}^{-1}$, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$.

Для функции интенсивности ионообразования q использовалось представление:

$$q(z) = \left(7 + q_0 e^{-\frac{z}{0,423}}\right) \cdot 10^6 \text{ м}^3 \text{с}^{-1}.$$

Коэффициент турбулентной диффузии аэроионов принимался в виде: $D_T(z) = D_m z^m$, где параметр m принимает значения 0, 1, 4/3 для случаев устойчивой, нейтральной и термически неустойчивой стратификации приземного слоя атмосферы соответственно.

Для описания конвективного переноса используется профиль, который является физически корректным с точки зрения гидродинамики [3]: $v(z) = v_0 \cdot \frac{z}{l} \cdot \left(1 - \frac{z}{l}\right)$, где $v_0 = \pm 0,1 \text{ мс}^{-1}$, $l = 100 \text{ м}$.

Для моделирования электрической структуры горизонтально-однородного свободного от аэрозоля турбулентного приземного слоя использовалась система уравнений (1) – (2). Принималось стационарное представление выражения турбулентной диффузии для наиболее хорошо изученного случая – нейтральной стратификации атмосферы [1]. Для записи системы (1) с начальными и граничными условиями (2) в конечно-разностном виде использовалось однопараметрическое семейство схем с весами при значении весового параметра $\sigma = 0,5$ [3], т.е. симметричная схема.

Полученная трехдиагональная матрица решалась методом прогонки, так как выполнялись условия требований к этому методу об устойчивости и сходимости [4].

Результаты численных расчетов представлены профилями положительно (n_1) и отрицательно (n_2) заряженных аэроионов и напряженности (E) электрического поля. Затем на основании полученных данных рассчитывались профили плотности тока проводимости (j) и плотности объемного заряда (ρ).

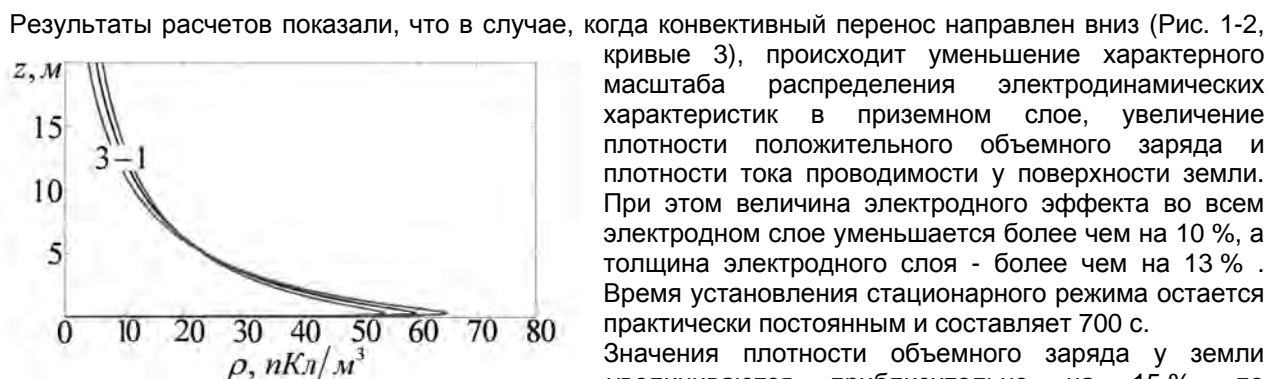
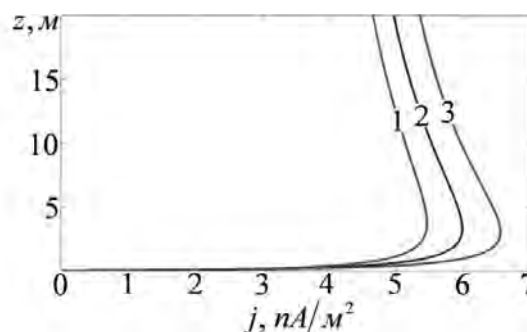


Рис. 1. Плотность объемного заряда ρ в конвективно-турбулентном приземном слое при $D_1 = 0,1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, $E_0 = -100 \text{ В}\cdot\text{м}^{-1}$, $q_0 = 4,8\cdot 10^6 \text{ м}^{-3}\cdot\text{с}^{-1}$, нейтральная стратификация: 1 - $v_0 = 0,1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, 2 - $v_0 = 0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, 3 - $v_0 = -0,1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$

вверх (Рис. 1-2, кривые 1), характерный масштаб распределения электродинамических характеристик в приземном слое увеличивается. При этом происходит уменьшению плотности положительного объемного заряда и плотности тока проводимости у поверхности земли. Величина электродного эффекта во всем электродном слое увеличивается приблизительно на 10%, по сравнению со случаем отсутствия конвективного переноса. Толщина электродного слоя остается практически неизменной. Время установления стационарного режима уменьшается и составляет порядка 600 с.

Значения плотности объемного заряда вблизи поверхности земли уменьшаются приблизительно на 15%, по сравнению со случаем отсутствия конвективного переноса (Рис. 1-2, кривые 2).

Рис. 2. Плотность тока проводимости j в конвективно-турбулентном приземном слое при $D_1 = 0,1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, $E_0 = -100 \text{ В}\cdot\text{м}^{-1}$, $q_0 = 4,8\cdot 10^6 \text{ м}^{-3}\cdot\text{с}^{-1}$, нейтральная стратификация: 1 - $v_0 = 0,1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, 2 - $v_0 = 0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, 3 - $v_0 = -0,1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$



Работа выполнена при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы».

Литература

1. Куповых Г.В., Морозов В.Н., Шварц Я.М. Теория электродного эффекта в атмосфере. — Таганрог. Изд-во ТРТУ, 1998. — 123 с.
2. Редин А.А., Болдырев А.С., Клово А.Г., Куповых Г.В. Моделирование электродинамических процессов в приземном слое атмосферы // Модели и алгоритмы для имитации физико-химических процессов // Материалы Международной научно-технической конференции // Таганрогский государственный педагогический институт. Таганрог: Изд-во НП «ЦРЛ», 2008. — С. 146 – 154.
3. Редин А.А., Куповых Г.В., Клово А.Г., Болдырев А.С. Математическое моделирование электродинамических процессов в приземном слое в условиях аэрозольного загрязнения атмосферы // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Актуальные задачи математического моделирования». — Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011, № 8 (121). — С. 111-121.
4. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы математической физики //2-е изд. М.: Научный мир, 2003. -316 с.

СВЯЗЬ МЕЖДУ ВОЗМУЩЕНИЯМИ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ И ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

О.П. Руленко¹, Ю.В. Марапулец²

1 - Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

2 - Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН
rulenko@kscnet.ru

Летом–осенью 2006–2007 гг. на Камчатке в пункте "Микижа" (52.99° с.ш., 158.23° в.д.) одновременно измерялись градиент потенциала V' атмосферного электрического поля на высоте 7 см от поверхности земли, акустическая эмиссия в диапазоне частот 2.0 – 6.5 кГц и метеорологические величины. Измерения проводились в отсутствии промышленных помех и аэрозольного загрязнения воздуха. Для измерений V' использовался датчик "Поле-2М". Датчиком акустической эмиссии был пьезокерамический гидрофон, установленный на дне озера Микижа, на глубине 4 м. Рассматривалось акустическое давление P_s , накопленное за 4 с в указанном диапазоне частот. При спокойной погоде (отсутствовали дождь, сильный и умеренный ветер, слабо менялось атмосферное давление) иногда возникали аномальные возмущения градиента потенциала V' и акустического давления P_s [3]. Они заключались в уменьшении V' вплоть до изменения знака с последующим восстановлением через некоторое время примерно до прежнего уровня. Это наблюдалось при значительных, как правило, с резким началом и длительностью больше нескольких минут возмущениях P_s (рис. 1).

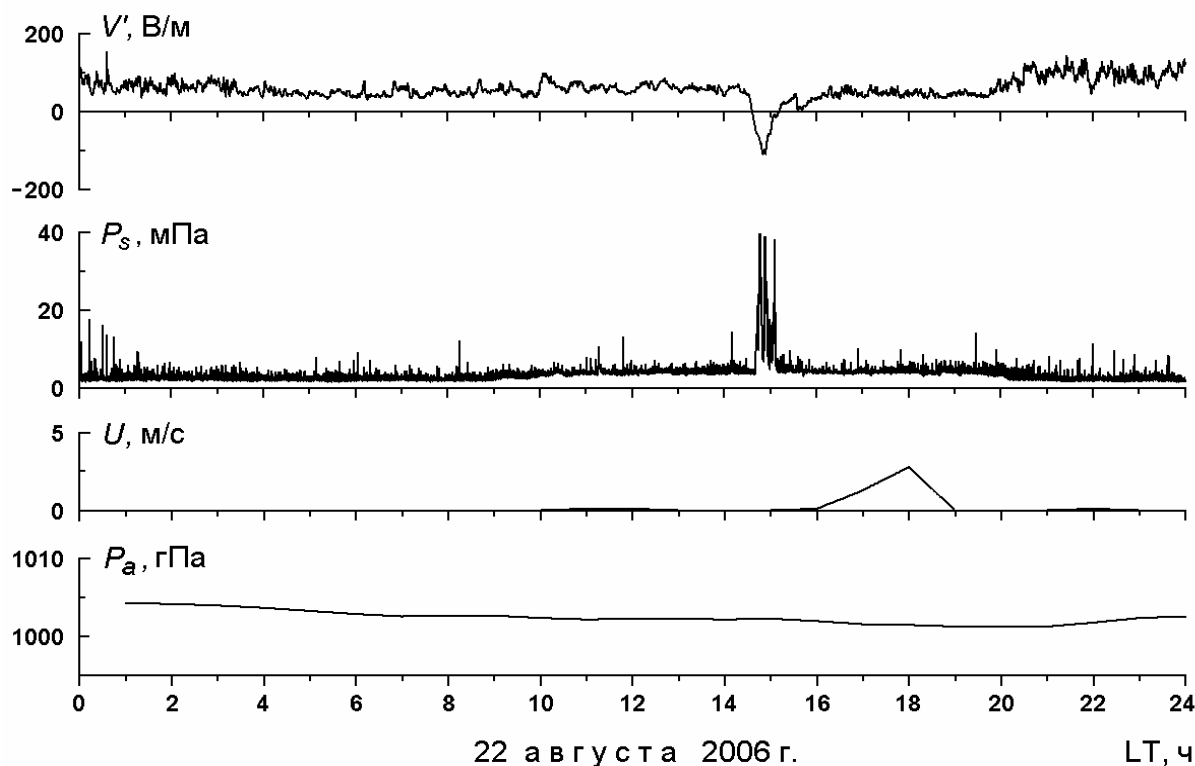


Рис.1. Уменьшение градиента потенциала V' электрического поля при увеличении акустического давления P_s . U – скорость ветра, P_a – атмосферное давление. В эти сутки дождя не было.

Аномальные возмущения высокочастотной акустической эмиссии имеют деформационную природу, что подтверждено совместными измерениями деформации приповерхностных пород в пункте "Карымшина" [1], расположенном в 20 км юго-западнее пункта "Микижа". В обоих пунктах приповерхностные породы являются осадочными с толщиной слоя примерно 50 м. Они представляют собой песчано-глинистую смесь, содержащую щебень и крупные камни. Одновременные атмосферно-электрические, акустические и деформационные измерения, проведенные в пункте "Карымшина" [4], показали, что разные по знаку аномальные возмущения градиента потенциала V' и акустического давления P_s возникают при растяжении приповерхностных осадочных пород. При их сжатии наблюдаются только возмущения акустической эмиссии (рис. 2). Возмущения зарегистрированы при отсутствии дождя и сильного ветра, слабо меняющемся атмосферном давлении и деформациях пород на два порядка больше приливных.

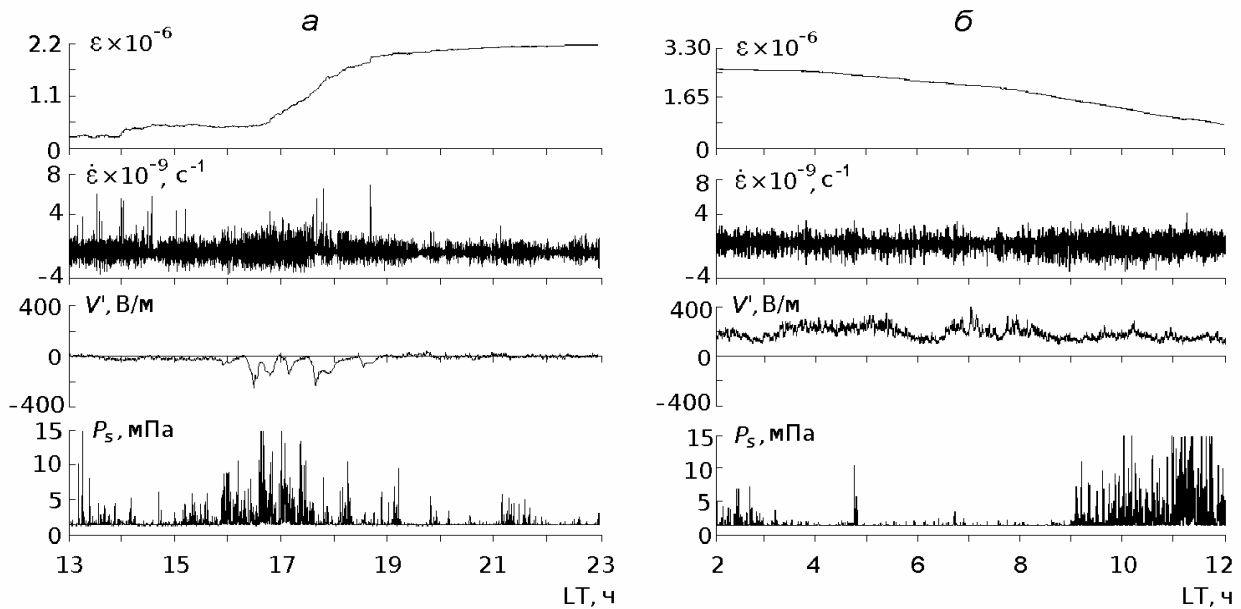


Рис. 2. Поведение относительной деформации приповерхностных осадочных пород ϵ , ее скорости $\dot{\epsilon}$, градиента потенциала V' электрического поля и акустического давления P_s в диапазоне частот 0.7 – 2.0 кГц; а – 14, б – 18 октября 2009 г. Увеличение ϵ соответствует растяжению пород, уменьшение – сжатию.

Полученные результаты можно объяснить с позиции рассмотрения приповерхностных осадочных пород как полидисперсной пористой структуры малой прочности. При растяжении и сжатии такой структуры происходят относительные микросмещения фрагментов, генерирующие акустические сигналы. Возмущения атмосферного электрического поля только при растяжении пород связаны, вероятнее всего, с выходом из земли радона и торона. Растяжение сопровождается раскрытием пор и расширением трещин, которые увеличивают выход этих радиоактивных газов, а сжатие – закрытием пор и перекрытием трещин, которые уменьшают их выход. Поступающие в атмосферу радон и торон вызовут увеличение интенсивности ионообразования у поверхности земли. В результате, как впервые теоретически показал Хоппель [5], при хорошей погоде в некотором слое воздуха появится отрицательный заряд, который приведет к реверсу обычного электродного эффекта. Он наблюдался многими исследователями. Обусловленный повышенной ионизацией воздуха отрицательный объемный заряд сохраняется при слабом ветре [2]. Появление, существование и разрушение этого заряда, создающего обратное по знаку локальное электрическое поле, вызовут бухтообразное уменьшение градиента потенциала V' у поверхности земли. Результаты исследований представляют интерес для понимания физики воздействия литосферы на атмосферу в сейсмоактивных регионах и возникновения атмосферно-электрических предвестников землетрясений.

Авторы признательны д.ф.-м.н., проф. Б. М. Шевцову за поддержку проведенных исследований.

Литература

1. Долгих Г.И., Купцов А.В., Ларионов И.А., Марапулец Ю.В., Швец В.А., Шевцов Б.М., Широков О.П., Чупин В.А., Яковенко С.В. Деформационные и акустические предвестники землетрясений // Докл. РАН. 2007. Т. 413. № 1. С. 96-100.
2. Куповых Г.В., Морозов В.Н., Шварц Я.М. Теория электродного эффекта в атмосфере. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1998. 123 с.
3. Марапулец Ю.В., Руленко О.П., Мищенко М.А., Шевцов Б.М. Связь высокочастотной геоакустической эмиссии с электрическим полем в атмосфере при сеймотектоническом процессе // Докл. РАН. 2010. Т. 431. № 2. С. 242–245.
4. Марапулец Ю.В., Руленко О.П., Ларионов И.А., Мищенко М.А. Одновременный отклик высокочастотной геоакустической эмиссии и атмосферного электрического поля на деформирование приповерхностных осадочных пород // Докл. РАН. 2011. Т. 440. № 3. С. 403-406.
5. Hoppel W.A. Theory of the electrode effect // J. Atm. and Terr. Phys. 1967. V. 29. P. 709 – 721.

КОРОННЫЙ РАЗРЯД В ОБЛАКАХ

А.А. Синькевич, Ю.А. Довгальук

Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова Росгидромета, Санкт-Петербург, Россия
sinkev@main.mgo.rssi.ru

Исследования процессов формирования грозových облаков и молний обусловлены как чисто научным интересом, так и необходимостью решения задачи ослабления (подавления) грозовой деятельности. Формирование электрических зарядов в облаках связано со многими физическими процессами. Полагают, что одной из причин являются коронные разряды внутри облака. Облачная среда существенно отличается от условий обычной атмосферы, т.к. наряду с газовыми компонентами в ней содержатся капли и кристаллы, с поверхности которых при определенных условиях возможно коронирование [2,3].

Установлено, что коронный разряд с капли протекает следующим образом: под действием сильного электрического поля облака сферическая капля начинает растягиваться вдоль направления поля, вследствие чего на полюсах происходит усиление напряженности электрического поля, что является источником дальнейшего деформирования капель, т.е. имеет место процесс с положительной обратной связью. В результате возможно превышение электрических сил над силами поверхностного натяжения и появление неустойчивости, которая может приводить к разрушению капли. Однако, такой процесс наблюдается лишь при очень высоких напряженностях электрического поля.

Райзер [1] приводит два объяснения появления коронного разряда в облаках: 1 – электроны с высокой энергией космических лучей ионизируют среду и провоцируют коронный разряд; 2 – корона появляется вследствие жидких или твердых протуберанцев на гидрометеорах осадков, где наблюдается локальный рост электрического поля (из-за наличия протуберанцев напряженность электрического поля является достаточной для инициирования короны).

Если в электрическое поле помещен кристалл, то он также может являться источником коронного разряда. При этом коронирование начинается с его острых граней.

Изучение коронных разрядов в облаках было направлено на решение следующих основных вопросов:

1. Исследование условий, при которых наблюдается коронный разряд.
2. Оценка интенсивности коронных разрядов.
3. Исследования роли коронного разряда в зарядении гидрометеоров.
4. Определение тока коронного разряда.
5. Исследования роли коронного разряда в изменении концентрации ионов.
6. Исследования роли коронного разряда в формировании стримеров и инициирования молний.
7. Исследования роли коронного разряда и стримеров в преобразовании микрофизических и электрических характеристик облака.
8. Исследования роли коронного разряда в формировании радиоизлучения облаков.

Целью данного обзора является обсуждение результатов исследований в указанных направлениях. При этом отметим, что наибольший вклад в изучение физики коронного разряда в облаках внесли лабораторные эксперименты. Отдельные аспекты этой проблемы изучались теоретически. Практически полностью отсутствуют исследования этих процессов в натуральных условиях, что связано со сложностью проведения такого рода экспериментов.

Коронный разряд, как явление, хорошо известен и изучен в физике. Это – слабосветящийся разряд, который появляется в окрестности острия, где отмечается резкое усиление электрического поля. Зажигание коронного разряда является предшественником пробоя. Когда приложенное напряжение меньше напряжения зажигания короны, в цепи регистрируется несамостоятельный ток $\sim 10^{-14}$ А. Этот ток обусловлен вытягиванием ионов, имеющихся в воздухе.

Зажигание короны проявляется в виде свечения у коронирующего электрода и в виде скачкообразного возрастания тока до 1 мкА. Механизм размножения электронов существенно зависит от полярности коронирующего электрода. При более высоком напряжении пробивается весь промежуток и проскакивает искра, при этом ток может достигать $10^4 \div 10^5$ А.

Выполненный обзор показал, что формирование грозových облаков и их структура, наряду с традиционно изученными механизмами электризации облачных частиц, может определяться малоизученными на сегодня процессами электрических разрядов. Согласно данным лабораторных экспериментов, в отдельных случаях, при возрастании напряженности электрического поля в облаках до величин близких к пробойным, возможно коронирование с отдельных крупных гидрометеоров на больших высотах. Возможно также коронирование с падающих тающих градин при напряженностях электрического поля порядка 300 кВ/м.

Возникновение коронных разрядов может наблюдаться при отсутствии значительных зарядов на гидрометеорах при их сближении друг с другом (между крупными каплями, а также между каплями и кристаллами), начиная с напряженности электрического поля в 250 кВ/м.

Наличие заряда на каплях снижает критическое значение напряженности электрического поля, с которой начинается коронный разряд. Однако недостаточно данных, чтобы можно было сделать вывод о количественной связи между зарядом на каплях и значением напряженности внешнего электрического поля, приводящего к появлению короны.

Частота коронирования зависит от интенсивности осадков и становится существенной при достаточно высокой их интенсивности (более 10 мм/час). При этом скорость ионообразования в облаке возрастает на несколько порядков.

Анализ имеющихся данных показал, что коронные разряды в облаках могут оказывать важнейшее влияние на микрофизические и электрические характеристики облака, обеспечивая формирование грозы.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, грант 10-05-00859а.

Список литературы

1. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.Наука,1992, 535 с.
2. Синькевич А.А.,Веремей Н.Е, Довгальук Ю.А., Степаненко В.Д. Лабораторное моделирование коронного разряда в облаках. С.Петербург, Астерион, 2005, 62с.
3. Синькевич А.А., Довгальук Ю.А., Степаненко В.Д.. Результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния коронного разряда на электризацию частиц и фазовые переходы воды в облаках (обзор работ ГГО). Сб. Статей "Вопросы физики облаков." С.Петербург, Гидрометиздат, 2004, с. 109-123.

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ВАРИАЦИИ АТМОСФЕРНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В ПРЕДГРОЗОВОЙ АТМОСФЕРЕ

С.В. Смирнов¹, И.И. Ипполитов¹, М.В. Кабанов¹, П.М. Нагорский¹, Н.А. Мульцина², А.А. Рязанов²

1 - ИМКЭС СО РАН

2 - ТГУ

smirnov@imces.ru

Исследуется изменчивость атмосферного электрического поля в предгрозовой атмосфере. Предгрозовая ситуация характеризуется интенсивной конвективной деятельностью, образованием кучево-дождевой облачности. Развитие конвективных и турбулентных движений приводит к эффективному взаимодействию нейтральных и заряженных частиц в атмосферном воздухе, образованию областей объемного заряда различных знаков, быстрой эволюции спектра размеров аэрозоля и эффективной трансформации тепловой и механической энергии в энергию электрическую и энергию акустических и внутренних гравитационных волн (АГВ). Экспериментальные исследования установили, что мощная конвекция приводит к возбуждению АГВ, поскольку в каждой конвективной грозовой ячейке существует как область восходящего конвективного движения, связанная с выделением тепла за счёт конденсации, так и область нисходящего движения, связанная с охлаждением за счёт испарения.

В предгрозовой атмосфере, согласно работе Давыденко и др., увеличение общей облачности с 0–2 до 3–5 баллов приводит к увеличению мощности спектра вариаций атмосферного электрического поля, причём наибольшее увеличение энергии в спектре происходит в диапазоне 30–50 мин. С увеличением балла облачности, помимо общего увеличения энергии, в спектре появляются составляющие, амплитуда которых превосходит средний уровень на 10–20 дБ. Предгрозовой атмосфере свойственны согласованные вариации между вариациями давления и напряженностью электрического поля, причём вначале регистрируются низкочастотные вариации (~50–100 мин), затем за несколько часов до начала грозы появляются колебания, период которых изменяется от 22 до 17 мин.

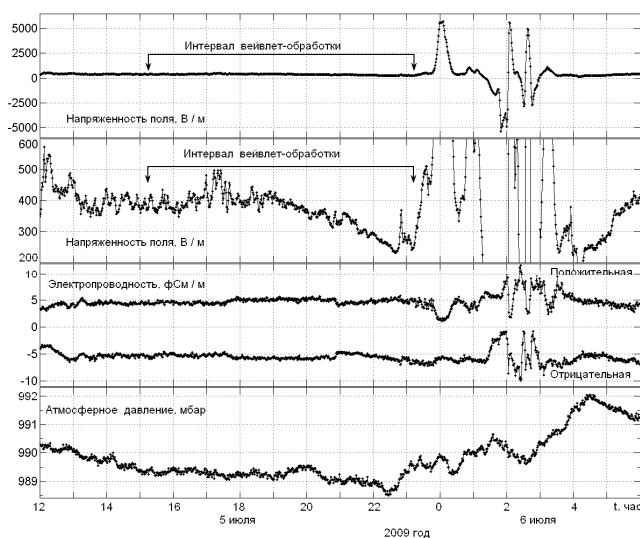


Рис. 1. Вариации атмосферно-электрических величин в предгрозовой и грозовой атмосфере. Интервал для спектрального анализа выделен стрелками.

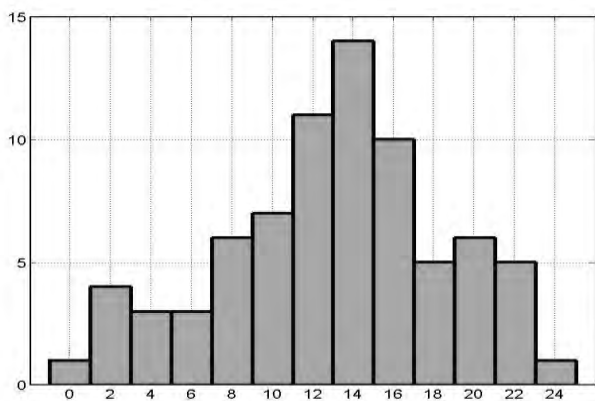


Рис. 2. Внутрисуточное распределение возмущений атмосферного электрического поля, связанных с прохождением мощной кучевой облачности над пунктом наблюдения.

В данной работе представлены результаты исследования изменчивости спектра вариаций напряжённости электрического поля перед грозой по данным комплексных измерений в геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН. Из базы данных наблюдений за период 2006–2010 гг. было отобрано 112 случаев – 12-часовых фрагментов, в течение которых в атмосфере непосредственно над пунктом наблюдения гроза и осадки отсутствовали, но присутствовала конвективная облачность и вариации напряжённости поля превосходили значение 4 кВ/м.

Один из таких случаев представлен на рис. 1, который показывает вариации напряжённости электрического поля (в двух масштабах), электропроводности воздуха и атмосферного давления. Представление вариаций напряжённости поля в двух масштабах обусловлено тем, что вариации напряжённости поля, соответствующие

прохождению конвективной ячейки над пунктом наблюдения, во много раз меньше вариаций, вызванных самой грозовой ячейкой.

Временной интервал, связанный с прохождением конвективной ячейки непосредственно над пунктом наблюдения, из анализа был исключен. Из рядов данных предварительно также были удалены линейные тренды.

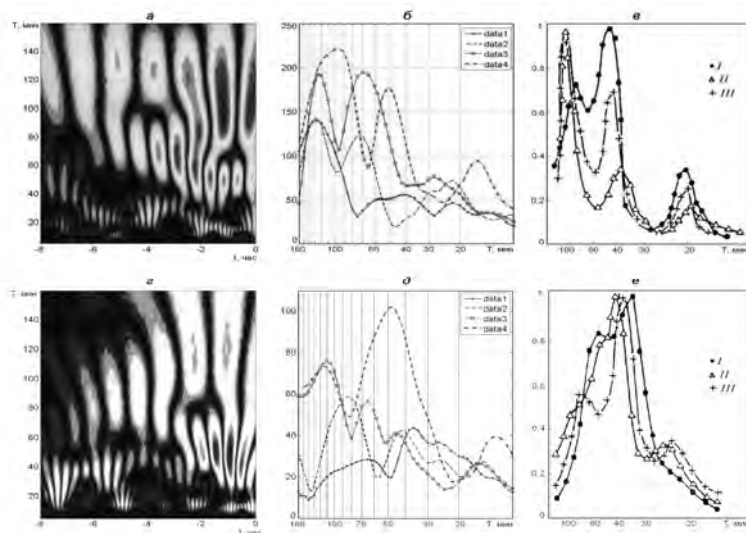


Рис. 3. Изменчивость спектрального состава периодов колебаний напряжённости электрического поля и атмосферного давления в дневных и ночных условиях перед началом грозы.

На рис. 2 представлено внутрисуточное распределение возмущений атмосферного электрического поля, связанных с прохождением мощной кучевой облачности над пунктом наблюдения. Чётко выделяются основной дневной и слабый ночной максимумы.

В результате спектрального анализа вейвлет-методом были получены матрицы вейвлет-коэффициентов. Средние вейвлет-спектрограммы напряжённости электрического поля и атмосферного давления для предгрозовой ситуации представлены на рис. 3 для дневных (а, б, в) и ночных (г, д, е) условий соответственно.

Можно предположить, что центральная часть регистрируемых сигналов обусловлена волнами, связанными с прохождением вблизи места наблюдения отдельной

грозовой ячейки, тогда как предшествующие центральной части волны и волны, следующие после неё, связаны с различного рода нестационарными процессами внутри самой ячейки.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы № 02.740.11.0738.

Литература

Davydenko S. S., Thomas C. Marshall, Maribeth Stolzenburg. Modeling the electric structures of two thunderstorms and their contributions to the global circuit // Atmospheric Research. 2009. № 91. P. 165–177.

ГЕНЕРАЦИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОРОД МОЛНИЕВЫМ РАЗРЯДОМ

С.Э. Смирнов, Ю.В. Марापалец

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН
sergey@ikir.ru

Исследован эффект воздействия одиночного молниевых разряда на напряженность электрического поля в приземной атмосфере. Эффект проявился в резком падении величины градиента потенциала электрического поля с 80 В/м до минус 21 В/м. Процесс восстановления напряженности описывается моделью плоского конденсатора с характерным временем восстановления 17с. Одновременно с электрическим полем на разряд молнии обнаружен отклик акустической эмиссии приповерхностных пород в диапазоне частот 6.5 - 11 кГц.

Наблюдения проводились на Камчатке в обл. «Паратунка» ИКИР ДВО РАН ($\lambda=158,25^\circ\text{E}$; $\varphi=52,9^\circ\text{N}$). Измерения напряженности электрического поля осуществлялось электростатическим флюксметром «Поле-2». Прибор установлен на полигоне в 200 м от административного здания на высоте 3 м. Площадка вокруг него расчищена от деревьев в радиусе 12 м. Конструкция установки датчика такова, что уровненные поверхности напряженности электрического поля в точке измерения параллельны поверхности земли. Сигнал на выходе флюксметра после оцифровки 14-битным АЦП с частотой дискретизации 1 с записывается на жесткий диск персонального компьютера.

Регистрация акустической эмиссии (АЭ) производилась гидроакустическим приемником (гидрофоном) с чувствительностью вместе со встроенным предусилителем порядка сотен мВ/Па, установленным в искусственном водоеме на расстоянии 54 метра от датчика электрического поля. Применение гидрофона с установкой в водоеме, позволило регистрировать геоакустический сигнал в диапазоне 0.1 Гц - 11 кГц, что существенно больше, чем обычные сейсмометры. Сигнал с гидрофона после оцифровки 16-разрядным АЦП с частотой дискретизации 44100 Гц записывается на жесткий диск персонального компьютера. Далее производится фильтрация по диапазонам частот: 0.1-10, 30-60, 70-200, 200-600, 600-2000, 2000-6500, 6500-11000 Гц, детектирование и накопление с временным окном 4 с [1]. Анализируемой величиной является суммарное за 4 с акустическое давление P_s по каждому частотному каналу. Проведенными исследованиями установлено, что под действием деформаций порядка $\sim 10^{-7}$ [2] наблюдается повышение активности эмиссии в диапазоне частот первых килогерц, что соответствует масштабам источников $10^{-1} - 1$ м [1]. Наиболее ярко этот эффект наблюдается при подготовке сильных землетрясений за 1-3 суток перед землетрясением [1].

2 октября 2008 года в районе обсерватории была переменная облачность с большими кучевыми облаками. Осадков с 14^h до 19^h LT (UT+13^h) не наблюдалось. Из одного облака, которое, по-видимому, проходило над каким-то выступом или вершиной сопки произошел единичный молниевый разряд. Повторных разрядов затем не последовало. Молниевый разряд вызвал резкое падение значения градиента потенциала электрического поля с 80 В/м до величины -21 В/м, затем плавное

восстановление значения до 70 В/м. Электропроводность воздуха изменялась слабо и составляла величину около $4 \cdot 10^{-15} \text{ 1}/(\text{Ohm} \cdot \text{m})$. Плотность тока проводимости изменялась от величины $-2 \cdot 10^{-13}$ до $+6 \cdot 10^{-13} \text{ A/m}^2$. Изменение магнитного поля во всех трех компонентах феррозондовым магнитометром, которое измерялось с интервалом 1 с, во время разряда молнии зафиксировано не было.

При изучении разрядов земля — облако форма восстановления заряда принято считать по формуле, предложенной Каземиром [3]:

$$E_z(t) = E_{z1} \cdot \exp(-t/\tau) + E_{z2} \cdot (1 - \exp(-t/\tau)), \quad (1)$$

где $E_z(t)$ – градиент потенциала электрического поля, E_{z1} – его значение сразу после разряда молнии, E_{z2} – значение после восстановления. τ определяет время релаксации атмосферы вблизи поверхности земли. По методу наименьших квадратов со средней квадратичной ошибкой 0.2 были определены численные значения в этой формуле: $E_{z1} = -19.5 \text{ V/m}$; $E_{z2} = 69.1 \text{ V/m}$.

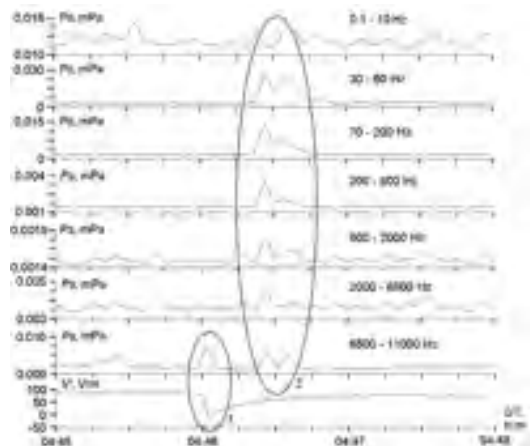


Рис.1. Графики акустической эмиссии в семи частотных диапазонах и градиента потенциала напряженности электрического поля приземного слоя воздуха (внизу)

Таким образом, заряд в облаке восстановился с характерным временем релаксации $\tau = 17$ с. E_{z1} соответствует поверхностной плотности заряда на земле. Если представить систему облако — земля

как конденсатор, то в таком представлении τ имеет физический смысл как $\tau = RC$, где R — сопротивление, а C — ёмкость конденсатора. Время релаксации τ обуславливается также подвижностью ионов. Обычно ее среднее значение в регионах с высокой грозовой активностью примерно 7 с [3].

Одновременно с электрическим полем на разряд молнии наблюдался отклик акустической эмиссии (рис.1). При этом сигнал непосредственно от разряда зарегистрирован в самом высокочастотном диапазоне 6.5 - 11 кГц (рис.1, эллипс 1), а последующая звуковая волна — по всем каналам (рис.1, эллипс 2). По разнице прихода этих сигналов 24 с, с учетом скорости звука в воздухе 330 м/с, расстояние до источника составило ~ 8 км.

Влияние электроимпульсов на активность акустической эмиссии ранее исследовалось как в лабораторных экспериментах на образцах геоматериалов [4,5], так и в природных условиях [6, 7]. В работе [4] представлены результаты экспериментов, проведенных на искусственных образцах породы. Показано, что при механическом сжатии образцов в диапазоне значений нагрузок близких к разрушающим с одновременным воздействием электроимпульсами возникает приращение энергии акустической эмиссии на величину $\sim 10^{-3}$ Дж. Подобные результаты были получены и на образцах горных пород с различными пьезоэлектрическими свойствами [4, 5]. Таким образом на сериях лабораторных экспериментов был выявлен эффект прироста активности акустической эмиссии, стимулированной внешними электромагнитными полями. Характерные масштабы источников АЭ в этом случае составляли порядки $10^{-3} - 10^{-2}$ м. Подобные результаты при энерговоздействии на горные породы были получены и в природных условиях при использовании МГД-генераторов на Гармском и Бишкекском полигонах [6, 7]. Было установлено, что после пусков электрических импульсов от МГД-генератора заметно увеличивается слабая (с энергетическим классом $K \leq 6$) сейсмичность на территории полигонов. Следует отметить, что характерные масштабы источников в этих экспериментах сильно отличались от приведенных выше лабораторных и составляли порядка 10^3 м.

Отклик акустической эмиссии, зарегистрированный в этом эксперименте, соответствует результатам лабораторных и природных испытаний, приведенных выше. При этом, так как отклик наблюдается только в диапазоне 6.5-11 кГц, можно говорить о характерных размерах источников 10^{-1} м. Это на 1 порядок больше лабораторных испытаний и на 4 порядка меньше природных, на таких масштабах ранее подобные эффекты не наблюдались. В данном случае впервые повышение активности акустической эмиссии при воздействии электрическим импульсом выявлено в природных условиях при молниевом разряде.

Таким образом, в результате наблюдения одиночного молниевых разряда в условиях отсутствия осадков были обнаружены следующие эффекты:

1. Резкое падение величины градиента потенциала электрического поля в воздухе на высоте 3м с 80 В/м до минус 21 В/м. Затем поле восстановило свой уровень до значения 70 В/м с характерным временем релаксации 17 с.
2. Впервые на естественное импульсное электрическое воздействие зарегистрирован отклик акустической эмиссии в диапазоне частот 6.5 - 11 кГц.

Литература

1. Купцов А. В., Ларионов И. А., Шевцов Б. М. Особенности геоакустической эмиссии при подготовке камчатских землетрясений // Вулканология и сейсмология 2005. №5. С.45-59.
2. Dolgikh G.I., Kuptsov A.V., Larionov I.A., Marapulets Yu.V., et.al. Deformation and acoustic precursors of earthquakes. // Doklady Earth Sciences. 2007. V. 413. N. 1. P.281-285.
3. Chalmers, J. A., Atmospheric Electricity, 2nd cd., 515 pp., Pergamon Tarrytown, N.Y., 1967
4. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика предвестников землетрясений. - М.: Наука, 2003. - 270 с.
5. Bogomolov L. M., Il'ichev P.V., Zacupin A.S., Novikov V.A., et.al. Acoustic emission response of rocks to electric power action as seismoelectric effect manifestation. // Annals of Geophysics. 2004, Vol. 47. N. 1. Pp. 65-72.
6. Тарасов Н.Т. Изменение сейсмичности коры при электрическом воздействии. // Доклады АН. 1997. Т.353. №4. -С. 542-545.
7. Тарасов Н.Т., Тарасова Н.В., Авагимов А.А., Зейгарник В.А. Воздействие мощных электромагнитных импульсов на сейсмичность Средней Азии и Казахстана. // Вулканология и сейсмология. 1999. № 4/5. С.152-160.

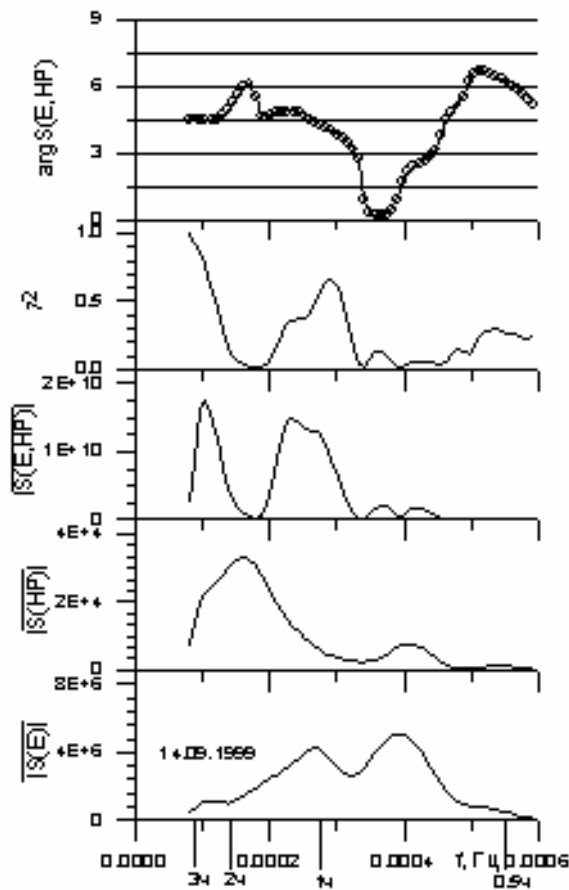
ЭФФЕКТ ВОСХОДА СОЛНЦА В СУТОЧНЫХ ВАРИАЦИЯХ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

С.Э. Смирнов¹, Г.А. Михайлова², О.В. Капустина²

¹ - Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

² - Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им.Н.В. Пушкова, г. Троицк (Московская обл.)
sergey@ikir.ru

Рассмотрены суточные вариации напряженности электрического поля (НЭП), электропроводности и температуры в приземной атмосфере в условиях «хорошей погоды» в обс. «Паратунка» ($\varphi=53^\circ\text{N}$; $\lambda=158,3^\circ\text{E}$) (Камчатка). В качестве меры интенсивности конвективного потока воздуха выбрана разность температур атмосферы у поверхности земли и на высоте 25 м. Анализ данных показал, что наиболее близко связь вариаций НЭП с разностью температур проявляется на восходе Солнца с коэффициентом корреляции $0,6 \pm 0,1$. После восхода в результате турбулентного теплообмена вступают в действие турбулентные процессы перемешивания и механический перенос вверх конвективным потоком воздуха положительного объемного заряда, накопленного ночью вблизи поверхности земли. Это, в свою очередь, приводит к увеличению электрического тока в глобальной электрической цепи, возрастанию НЭП и электропроводности вблизи поверхности земли, что и наблюдается в эксперименте [5]. При больших значениях разности температур, до 12°C , часто в этих параметрах визуально наблюдались колебания с периодами, совпадающими с периодами внутренних гравитационных волн (ВГВ). По-видимому, эти колебания вызваны зарождением конвективных ячеек с турбулентным движением положительно заряженных ядер конденсации. Оцененные нами параметры эффекта восхода Солнца: времена его начала и достижения максимума величины напряженности поля относительно времени восхода, а также отношение максимума к величине до восхода и длительность эффекта, близко согласуются с ранее опубликованными в литературе данными. Тем самым подтвержден вывод о том, что эффект восхода в суточных вариациях НЭП обусловлен локальными процессами турбулентности и конвекции в приземной атмосфере при изменении ее температуры [6].



Далее исследованы спектры мощности временных вариаций НЭП и горизонтальной компоненты геомагнитного поля (HP), наблюдаемых одновременно в обсерватории в сентябре 1999 г. Рассмотрены периоды суток, включающие в себя восход и заход Солнца, а также ночное время. В качестве примера метода спектральной обработки на рисунке приведены кривые автоспектров $S(E)$ и $S(HP)$, взаимного спектра $S(E,HP)$ и его аргумента, а также квадрата функции когерентности γ^2 . Видно, что в автоспектре мощности $S(E)$ преобладают компоненты в полосе периодов $T < 1$ ч и $T \sim 1$ ч, интенсивность которых существенно превышает компоненты с $T \sim 2-2,5$ ч. В автоспектре $S(HP)$ и во взаимном спектре $S(E,HP)$ колебания с периодами $T < 1$ ч сильно подавлены, а величина $\gamma^2 \sim 0,1$, что указывает на отсутствие связи волновых процессов в приземной атмосфере и в динамо - области ионосферы. Более того, положительная производная аргумента по частоте указывает также, что процесс в динамо-области запаздывает относительно земли. Так что источник колебаний ниже 1 ч сосредоточен в нижней атмосфере. Два других максимума во взаимном спектре на $T \sim 1$ ч и $T \sim 2-2,5$ ч с $\gamma^2 \sim 0,9$ и $\sim 0,6$ соответственно и с отрицательной производной его аргумента указывают на связь процессов в нижней атмосфере и динамо-области таким образом, что источник этих колебаний расположен в динамо - области или выше.

Подобный характер спектров мощности наблюдался во всех 13 одновременных записей в условиях «хорошей погоды» в сентябре месяце. Подобные колебания наблюдались ранее в

квазипериодических вариациях других геофизических параметров, например, во флуктуациях атмосферного давления, а также на высотах D – и динамо - областей ионосферы [3]. Возможно, эти колебания обусловлены глобальными колебаниями Солнца, которые могут воздействовать на атмосферу Земли через соответствующие колебания солнечного излучения, как в оптическом диапазоне, так и в корпускулярных потоках. Наличие таких колебаний Солнца как сферы с $T \sim 160$ мин действительно было обнаружено сравнительно давно [4]. В данной работе показано их усиление на восходе Солнца.

Колебания в спектрах мощности рассмотренных параметров вблизи периода $T \sim 1,5$ ч, как показано в работе, обусловлены источниками либо в динамо-области, либо выше нее. Возможно, как показано в работе [1], эти колебания обусловлены собственными радиальными колебаниями ионосферы, которые, по оценкам авторов, составляют величины $T \sim 85,8$ мин (D-область), 86,8 мин (E-область), 87,6 мин (F1-область) и 89,5 мин (F2-область). Эти колебания проявляются в периодических сжатиях и расширениях всей толщи газа и выражаются в изменении его плотности, давления и температуры.

Компоненты в спектрах мощности НЭП в полосе периодов $T < 1$ ч включают в себя диапазон собственных колебаний Земли, $T \sim 57$ мин, которые, как показано в работе [3], усиливались в период подготовки землетрясения. Более того, было показано, что они способны распространяться до высот D - и динамо - областей, но только при сильных землетрясениях (с магнитудой $M \geq 6$). Представляло интерес сопоставить интенсивности ВГВ на восходе Солнца и накануне землетрясения. Для этой цели выбраны три землетрясения, произошедшие на Камчатке в сентябре 1999 г. на расстояниях $r \sim 150$ -250 км от обсерватории. Автоспектры НЭП, связанные с землетрясениями, по форме близко совпадают с соответствующими спектрами в периоды восхода Солнца: присутствуют преобладающий максимум в полосе периодов 2-2,5 ч и дополнительные менее интенсивные максимумы на периодах $T \leq 1$ ч. По интенсивности последние одного порядка по величине для случая восхода и землетрясений с магнитудой $M < 6$, энергия которых, как показано в работе [3], оказалась недостаточной для прохождения до высот динамо-области. Этот результат позволяет сделать вывод, что колебания ВГВ, возбуждаемые на восходе Солнца в нижней атмосфере, также не могут проникать выше. На наш взгляд, источник этих колебаний в нижней атмосфере связан с вариациями метеорологических параметров на восходе Солнца, т.е. с изменением температуры атмосферы в результате их модуляции вариациями солнечной радиации. Полученный в работе результат не совпадает с выводами работы [2]. Выделенные нами колебания на периодах менее 1 ч, вероятно, могут генерироваться вихревым движением зарождающихся конвективных ячеек, переносящих объемные заряды вверх в пограничном слое атмосферы при увеличении температуры воздуха на восходе Солнца [5]. Но возможны и другие источники этих колебаний.

Литература

1. Александров А.В., Бычков В.С., Ларин И.А., Комков И.В. Колебания переменного магнитного поля Земли с периодом около 1,5 ч // Геомагнетизм и аэрономия. 1992. Т.32. №3. – С.119–124.
2. Кузнецов В.В., Чернева Н.В. Исследование Форбуш-понижений и эффектов терминатора в атмосферном электрическом поле на обсерватории "Паратунка" (Камчатка) // Вест. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. Вып.11. №1. – С.89–97.
3. Михайлова Г.А., Михайлов Ю.М., Капустина О.В., Дружин Г.И., Смирнов С.Э. Прохождение внутренних гравитационных волн на высоты D- и динамо-областей ионосферы в сейсмически активном регионе (Камчатка): предварительные результаты. // Геомагнетизм и аэрономия. 2008. Т.48, №2, – С. 261–269.
4. Северный А.Б. Гелиосейсмология // Земля и Вселенная. 1983. №3. – С.9–14.
5. Смирнов С.Э. Влияние конвективного генератора на суточный ход напряженности электрического поля. // Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений: V междунар. конф., с.Паратунка Камчатский край, 2-7 авг. 2010 г. Сб.докл. / отв. ред. Б.М.Щевцов, В.В.Богданов. - Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2010. – С. 204–208.
6. Смирнов С.Э., Михайлова Г.А., Капустина О.В. К вопросу о природе эффекта восхода Солнца в суточных вариациях электрического поля атмосферы на Камчатке. I. Временные вариации электрического поля. // Геомагнетизм и аэрономия. 2012. Т.52. №4. – С.535–540.

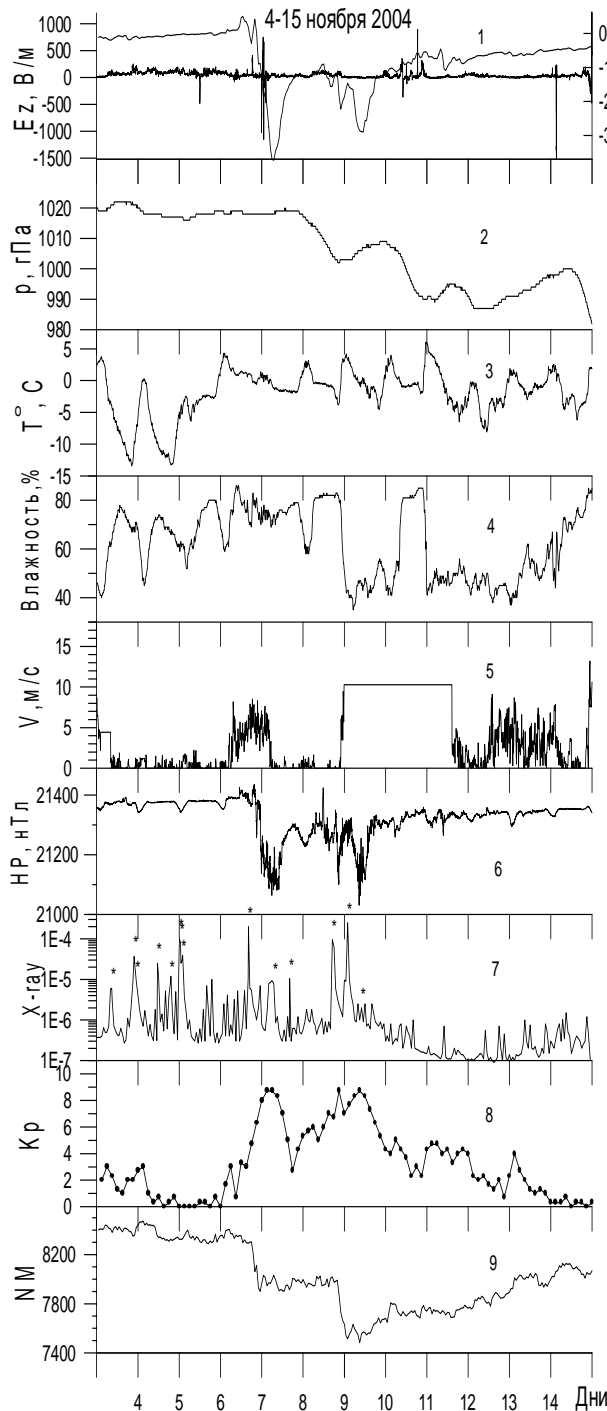
РЕАКЦИЯ КВАЗИСТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ НА КАМЧАТКЕ НА ГЕОМАГНИТНЫЕ БУРИ

С.Э. Смирнов¹, Г.А. Михайлова², О.В. Капустина²

1 - Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

2 - Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им.Н.В. Пушкова, г. Троицк (Московская обл.)
sergey@ikir.ru

Исследованы эффекты геомагнитных бурь 8 и 10 ноября 2004 г. в вариациях напряженности и спектров мощности электрического поля в приземной атмосфере на Камчатке в комплексе с одновременно наблюдаемыми метеорологическими и геофизическими параметрами.



Кривые 1 - напряженность квазистатического электрического поля (Ez-компонента) с дискретностью по времени 1 мин, а также значения Dst - индекса (нТл), определенные с дискретностью по времени 1 ч.

Кривые 2-5 - соответственно, давление (P, гПа); температура (T⁰C); влажность (%) атмосферы и скорость ветра (V, м/с), измеренные с дискретностью по времени 10 мин в obs. Паратунка.

Кривая 6 - горизонтальная компонента геомагнитного поля (HP), измеренная в obs. Паратунка феррозондовым магнитометром с точностью 0.01 нТл и с дискретностью по времени 1 мин.

Кривая 7 - последовательность солнечных вспышек, измеренная на спутнике GOES -12 [<http://goes.ngdc.noaa.gov/data/avg/>].

Кривая 8 - трехчасовые значения локального K-индекса на Камчатке.

Кривая 9 - поток галактических космических лучей (N - число частиц/мин), измеренный нейтронным монитором с дискретностью по времени 1 мин в obs. Стекольный ИКИР ДВО РАН.

4-5 ноября при слабой геомагнитной активности ($K \leq 3$) солнечная активность в оптической области спектра была слабой (SF) и нормальной (N). В этих условиях суточный ход температуры атмосферы (кривая 3) изменялся типичным образом, т.е. максимум температуры $T = +4^{\circ}\text{C}$ приходился на местный полдень (01:30 UT) и минимум $T = -14^{\circ}\text{C}$ – перед восходом Солнца. Соответственно в противофазе с температурой влажность воздуха составляла величины ~ 40 и $\sim 75\%$. В отсутствие облачности и осадков давление атмосферы изменялось незначительно, а скорость ветра была менее 2 м/с, т. е. выполнялись условия так называемой “хорошей погоды”. В этих условиях напряженность электрического поля, имела характерный суточный ход с типичной аномалией на восходе Солнца [3]. Далее в $t = 01:00$ UT 6 ноября произошла солнечная вспышка, в оптической области спектра которой яркость усилилась до 2N. В результате поступления дополнительного тепла в

атмосферу произошло резкое искажение суточного хода температуры и влажности атмосферы: разница температуры между днем и ночью составляла величину $\sim 4^{\circ}\text{C}$. 7 ноября в $t \sim 16:00$ UT

произошла следующая мощная вспышка (X2.0/2B), которая привела к дальнейшему повышению температуры в полдень до $+5^{\circ}\text{C}$ и росту влажности до 85%, а также к усилению ветра до ~ 7 м/с. Такие резкие изменения атмосферных процессов в нижнем слое атмосферы, как известно, могут сопровождаться усилением турбулентных и конвективных потоков воздуха и приводить к образованию облачности и осадков. Действительно в период 6 - 10 ноября наблюдалась сплошная облачность с прояснениями, а в период 7 - 9 ноября выпал снег. Более того, в таких метеорологических условиях возможно образование грозных облаков. Действительно, в полдень 8 ноября в вариациях напряженности электрического поля наблюдались большой величины ($\pm 800\text{В/м}$) знакопеременные колебания, характерные для грозных процессов [2]. Это грозное явление совпало по времени с главной фазой геомагнитной бури 8 ноября (кривая 1), а ее начало - с началом Форбуш-эффекта ГКЛ (кривая 9).

Во время геомагнитной бури 10 ноября при относительно высокой температуре воздуха, но низкой влажности подобное явление не наблюдалось, однако 11 ноября при высокой температуре воздуха влажность его возросла до 90%, что привело также к зарождению грозных процессов в атмосфере и появлению сильных знакопеременных вариаций напряженности электрического поля.

Кроме того, на вторые сутки после начала геомагнитных бурь (кривая 2) наблюдался отрицательный перепад суточного давления порядка 20 гПа. В периоды главных фаз геомагнитных бурь, совпадающих с режимом понижением интенсивности ГКЛ, вариации отрицательных возмущений электрического поля ведут себя по-разному: во время бури 8 ноября отрицательное возмущение по величине заметно уменьшается за счет возмущения поля грозного характера, а во время бури 10 ноября несколько возрастает.

Были построены спектральная плотность мощности E_z – компоненты поля в полосе тепловых приливных волн (ТПВ) (4 – 24 ч), внутренних гравитационных волн (ВГВ) (0.5 – 3 ч и 6 – 30 мин) и волн планетарного масштаба (ВПМ) (4 – 48 ч). В спектре ТПВ выделяется основная компонента с $T \sim 24$ ч и ее гармоники с $T \sim 12, 8$ и 4 ч, а в спектре ВГВ – компоненты с $T \sim 1.5$ и 2.5 ч., интенсивность которых почти на два порядка по величине ниже компонент ТПВ. В полосе периодов ВПМ преобладает компонента с периодом $T \sim 48$ ч. Подобный характер спектров мощности электрического поля в условиях “хорошей погоды” наблюдался на Камчатке, например, в сентябре 1999 г. [1].

6 ноября в результате мощной солнечной вспышки, сопровождаемой аномалией в суточных вариациях температуры и влажности атмосферы, произошли такие изменения спектров мощности: нарушилась периодичность компонент с $T = 8$ и 12 ч, а интенсивность компоненты с $T \sim 24$ ч уменьшилась почти в два раза, в то время как почти на порядок по величине возросла интенсивность спектра в полосе ВГВ. Усложнился также спектр ВПМ за счет усиления компоненты с $T = 24$ ч. В период с 12:00 UT 7 ноября по 12:00 UT 8 ноября, включающий в себя главную фазу бури 8 ноября и сильные грозные процессы, в полосе ТПВ компоненты с $T \sim 8, 12$ и 24 ч слились в один широкий максимум с дальнейшим их ослаблением по сравнению с условиями “хорошей погоды”. Усилились практически на два порядка по величине компоненты спектра в полосе ВГВ. В полосе ВПМ преобладает компонента с периодом $T \sim 12$ ч и сильно подавлена компонента с $T \sim 48$ ч. Сравнивая спектры мощности в полосе периодов ТПВ и ВГВ 7 – 8 ноября и 10 – 11 ноября, можно сделать вывод, что основной вклад в спектр электрического поля во время главной фазы бури 8 ноября внесли грозные процессы.

Сильное различие по составу компонент и их интенсивности в спектрах мощности электрического поля и горизонтальной компоненты геомагнитного поля, как в условиях “хорошей погоды”, так и в геомагнитную бурю 10 ноября свидетельствует об отсутствии причинно-следственных связей между этими параметрами. Влияние ГКЛ на электрическое поле в приземной атмосфере проявляется только на периодах $T \sim 48$ ч, когда интенсивность этой компоненты возрастает на два порядка по величине и проявляется в усилении интенсивности этой компоненты на два порядка по величине по сравнению с условиями “хорошей погоды”.

Литература

1. Михайлова Г.А., Михайлов Ю.М., Капустина О.В., Дружин Г.И., Смирнов С.Э. Спектры мощности тепловых приливных и планетарных волн в приземной атмосфере и в D-области ионосферы на Камчатке. // Геомагнетизм и аэронавигация. 2009. Т.49. №5. С. 639-653
2. Михайлова Г.А., Михайлов Ю.М., Капустина О.В., Смирнов С.Э. Эффекты грозной активности в спектрах мощности электрического поля в приземной атмосфере на Камчатке // Геомагнетизм и аэронавигация. 2010. Т.50. № 6. С.843-852.
3. Смирнов С.Э., Михайлова Г.А., Капустина О.В. К вопросу о природе эффекта восхода Солнца в суточных вариациях электрического поля атмосферы на Камчатке. I. Временные вариации электрического поля. // Геомагнетизм и аэронавигация. 2012. Т.52. №4. С.535-540.

ВЛИЯНИЕ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ НА ХИМИЮ АТМОСФЕРЫ

С.П. Смышляев¹, Е.А. Мареев², Т.В. Суходолов¹

1 - Российский государственный гидрометеорологический университет

2 - Институт прикладной физики РАН

smyshl@rshu.ru

В неравновесной плазме канала молнии, разогретом до температуры около 30 000 К, могут происходить химические реакции, невозможные при обычных атмосферных условиях. В частности, при таких высоких температурах молекулы кислорода и азота могут диссоциировать с последующим образованием окислов азота NO. Частота грозовых явлений и долгое время жизни окислов азота в атмосфере приводят к тому, что в глобальном масштабе молниевая продукция является одним из основных источников атмосферных окислов азота [1,2] (таблица 1). Содержание окислов азота определяет баланс многих атмосферных химически активных составляющих и, прежде всего, атмосферных озона и гидроксильных радикалов [3]. В свою очередь, от содержания озона и гидроксильных радикалов зависит интенсивность химических реакций как в тропосфере, так и в стратосфере. В частности, гидроксильные радикалы определяют тропосферное содержание газов с поверхностными источниками, такими как метан и окись углерода. С другой стороны, озон определяет радиационный режим и, через него циркуляцию атмосферы, тем самым косвенно влияя на распределение химически активных составляющих атмосферы [4]. Таким образом, изменчивость молниевой активности может повлиять на химию атмосферы как прямо, так и косвенно. При этом существующая естественная неопределенность в климатологических оценках средней глобальной грозовой продукции окислов азота [5], а также ее вертикальной и горизонтальной изменчивости приводит к соответствующей неопределенности в оценках влияния естественных природных и антропогенных факторов на распределение и изменчивость озона и других химически активных атмосферных газов.

Оценки глобальной годовой продукции окислов азота в результате грозовой активности показывают, что от года к году ее величина меняется в достаточно широких пределах (от 0.5 до 100 TgN/год), но чаще всего находится в диапазоне от 2 до 20 TgN/год [6]. При этом определить более узкий интервал ее наиболее вероятных значений очень сложно из-за естественной природной межгодовой изменчивости как количества молниевых вспышек, так и количества образующихся при этом окислов азота. Неопределенность в оценках средней глобальной молниевой продукции окислов азота служит сдерживающим фактором в совершенствовании моделей химического состава атмосферы, а решением проблемы может стать разработка физических параметризаций эффектов образования окислов азота при единичной молниевой вспышке с учетом локальных метеорологических и электродинамических условий, а также влияния изменений климата на частоту и интенсивность грозовых явлений.

Таблица 1. Источники окислов азота в атмосфере.

№	Источник	Глобальная скорость продукции TgN/год	Неопределенность оценок глобальной продукции TgN/год	Расположение источников
1	Сжигание топлива	22	13-31	Густозаселенные районы
2	Сжигание биомассы	7.9	3-15	Тропические континентальные районы
3	Процессы в почве	7.0	4-12	Неполярные районы
4	Грозы	5.0	1-100	Верхняя тропосфера
5	Стратосферное окисление закиси азота N ₂ O	0.64	0.4-1	Стратосфера
6	Окисление аммиака	0.9	0.6	Тропики
7	Самолетные выбросы	0.56	-	Верхняя тропосфера

Молниевая продукция в глобальном масштабе является важнейшим удаленным от земной поверхности источником окислов азота, примерно на порядок величины превосходя другие неповерхностные источники (таблица 1). Для химии атмосферы этот фактор является очень важным в связи с тем, что вблизи земной поверхности наиболее интенсивно происходит и разрушение окислов азота, и их выведение из цепочек химических превращений. Таким образом, значительная часть поверхностных азотных составляющих атмосферы может довольно быстро вернуться обратно на поверхность, а молниевые окислов азота остаются в атмосфере намного дольше. Кроме того, влияние окислов азота на химию атмосферы критически зависит от высоты. В частности, в тропосфере окислы азота способствуют образованию молекул озона и гидроксильных радикалов, а в стратосфере являются основным разрушителем озона. В этой связи важнейшим фактором влияния молниевой продукции окислов азота на химию атмосферы становится высотное распределение продукции окислов азота грозового происхождения.

Для корректного учета особенностей вертикального распределения грозовой продукции окислов азота важно различать внутриоблачные и облако-земные вспышки. По сути дела, параметрическое описание образования окислов азота при грозовых явлениях и их влияния на химию атмосферы состоит из четырех частей: (1) расчет пространственного распределения молниевых вспышек, (2) учет относительного вклада внутриоблачных и облачно-земных вспышек, (3) учет вертикального распределения скорости продукции окислов азота, и (4) включение молниевой продукции окислов азота в химическую схему превращения газовых примесей атмосферы.

Молниевые разряды в грозовых облаках, влияющие на химию атмосферы, являются следствием интенсификации атмосферной конвекции, которая происходит при условиях неустойчивости атмосферы, возникающих при нагреве пограничного слоя солнечной радиацией или при взаимодействии воздушных масс с различными свойствами. Максимумы молниевой активности связаны с регионами, в которых регулярно возникают условия неустойчивости, как правило, связанные с климатическими особенностями регионов. При изменении климата может измениться формирование регионов частой неустойчивости, интенсивности конвективных событий и, соответственно, формирование зон регулярной молниевой активности. Изменение условий нагрева земной поверхности вызывает изменения температуры, а, следовательно, устойчивости атмосферы и интенсивности испарения, что проявляется в изменении условий развития грозовых облаков.

Молниевая активность, ведущая к формированию окислов азота и возмущению химии атмосферы, в значительной степени зависит от мощности конвективных облаков и возникающих в них вертикальных потоков массы. Результаты экспериментальных исследований показали, что интенсивность и частота образования молний критически определяется скоростями восходящих потоков в облаках [7]. Молнии отсутствуют или очень маловероятны, если вертикальная скорость не превышает порогового значения, равного 6-7 м/с (среднее) или 10-12 м/с (максимум), вне зависимости от толщины облака. Около 10% самых мощных конвективных образований (включая интенсивные ураганы) имеют средние скорости восходящего потока, превышающие 4-5 м/с над океаном и 12-13 м/с над сушей, а в некоторых конвективных мультячейках и суперячейках вертикальные скорости достигают 80 м/с [7]. Таким образом, одним из параметров, которые могут использоваться для физического описания процессов образования молний, продукции окислов азота, влияния на химию атмосферы и обратных связей с изменениями климата, является скорость вертикального подъема массы в конвективных облаках.

С другой стороны, спутниковые и наземные наблюдения показали, что частота молниевых вспышек существенно зависит от максимальной высоты конвективного облака [8]. При этом с точки зрения вертикального развития конвективные облака над океаном являются менее продуктивными, чем облака над сушей того же размера. Одной из причин этого является интенсивная конвекция в континентальных областях, где суша эффективно прогревается солнечным излучением. Быстрый подъем прогретого насыщенного влагой воздуха способствует образованию мощных конвективных облаков вертикального развития. В результате формируются частицы льда, снежной крупы, града, взаимодействие которых на фоне быстрого восходящего потока и приводит к разделению зарядов. Над океанами высота облаков в среднем ниже, чем над континентами, и процессы электризации менее эффективны. Также обсуждается и другой фактор - различие в концентрациях аэрозолей над океаном и континентами. Так как аэрозоли служат ядрами конденсации, необходимыми для образования частиц в переохлажденном воздухе, их обилие над сушей повышает вероятность сильной электризации облака. Поскольку разделение заряда происходит при взаимодействии ледяных кристаллов, частиц ледяной крупы и градин, то также показательной является связь молниевой активности и конвективных осадков, которая исследовалась в ряде работ [3].

Для учета вертикального распределения окислов азота до настоящего времени использовались различные формы профилей. В ранних работах образовавшееся количество молниевых окислов азота распределялось по высоте однородно, позднее было показано, что вертикальное распределение сильно зависит от характеристик отдельных гроз, и поэтому для определенных типов гроз должны использоваться определенные профили. Наблюдения показывают, что часть окислов азота высвобождается из облака в окружающее пространство через наковальню, а в результате

некоторых модельных исследований определяется, что часть окислов азота переносится вниз посредством нисходящих потоков. Поэтому многие авторы предположили, что форма профиля продукции должна быть схожа с формой буквы «С» (C-shaped profile), имея максимумы у земли и в верхней тропосфере. Наиболее распространенными являются профили, основанные на работе [9], в которой на основе оценок продуктивности вспышек были построены профили для 3 типов гроз (Рис. 1). Большинство продукции окислов азота в этих профилях располагается выше 8 км, а второй максимум находится в пограничном слое.

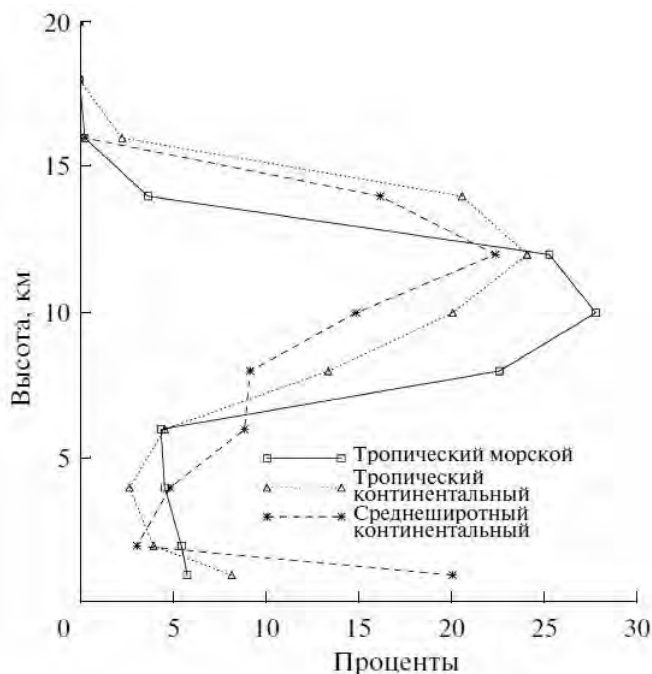


Рис.1. Продуктивность вспышек

Наличие молниевой продукции окислов азота у земли сложно проверить из-за ряда причин, в частности более короткого времени жизни NOx и более высокого его фонового содержания. Поэтому данные наблюдений, которые могли бы подтвердить поступление молниевых окислов азота с нисходящими потоками в пограничный слой, отсутствуют.

Недавние наблюдения и модельные исследования не обнаруживают сколь-нибудь существенного максимума у земли [10].

Ряд новых результатов указывает на необходимость переоценки соотношения между внутриоблачными и облачноземными вспышками, в результате чего, как предполагается, должно измениться и распределение продукции окислов азота по высоте.

В результате такой переоценки полученные вертикальные профили оказались обратными С-профилю, показав, что лишь малая часть молниевых окислов азота продуцируется у поверхности (<7% в средних широтах и <3% в субтропиках), а большая часть остается в средней и верхней тропосфере, причем на более низких высотах, чем в [9]. Однако в работе [10] не исследовались тропические грозы, поэтому вопрос о вертикальном распределении молниевых окислов азота остается дискуссионным и требует дальнейших исследований.

Молниевая продукция окислов азота может образовывать положительную обратную связь с потеплением климата [11]. При увеличении температуры образуется большее количество гроз, производя большее количество молний и больше окислов азота. За счет этого увеличиваются концентрации тропосферного озона, из-за парниковых свойств которого происходит нагрев тропосферы. Однако помимо положительного вклада в нагрев тропосферы, грозовая продукция окислов азота также действует на него отрицательно, посредством увеличения концентрации гидроксильного радикала, который в свою очередь уменьшает содержание другого парникового газа - метана. Также та часть, которая проникает в стратосферу, приводит к разрушению озона, и тем самым понижается температура стратосферы. Таким образом, важность грозовой продукции окислов азота для химии как тропосферы, так и стратосферы заставляет учитывать этот источник при моделировании распределения озона и других химически активных газов атмосферы с использованием фотохимических и химико-климатических моделей.

Для исследования влияния грозовых явлений на химию атмосферы используются химико-климатические модели, в которых есть возможность учесть и химические реакции с участием продуктов молниевых явлений, и формирование конвективных явлений, и обратные связи между изменениями климата, грозовыми явлениями и химией атмосферы [2,5]. Результаты уже проведенных в этом направлении исследований показали высокую чувствительность содержания озона и гидроксила к количеству образующихся при грозовых разрядах окислов азота на разных высотах атмосферы. При этом общая тенденция изменения содержания озона является положительной при увеличении количества окислов азота молниевое происхождения, хотя на высотах стратосферы отмечается сокращение концентрации озона, которое компенсируется его увеличением на высотах тропосферы и нижней стратосферы. Тем самым создается потенциал для изменения локального нагрева и охлаждения атмосферы, условий глобальной циркуляции, переноса тепла и массы и, следовательно, изменения температуры атмосферы.

Исследование не прямых эффектов влияния молниевых окислов азота на химию атмосфер через изменчивость температуры и циркуляции атмосферы показали, что в результате изменчивости грозовой продукции окислов азота и результирующей изменчивости концентраций радиационно-активных газов в атмосфере температура более всего меняется в нижней и средней стратосфере в полярных районах. А изменение термодинамических условий в верхней тропосфере, где происходят грозовые явления, опять же создает потенциал для обратных связей между изменением состава атмосферы в результате молниевой активности, возникающими в результате этого изменениями температуры и соответствующими изменениями условий для возникновения молниевых разрядов.

Однако следует заметить, что поскольку молниевые эффекты являются процессами подсеточного масштаба для глобальных химико-климатических моделей, то горизонтальное и вертикальное распределение грозовой продукции учитывается в подобных моделях на основании климатических оценок, т.е. осредненных за длительный период данных измерений интенсивности грозовой активности и оценок связанной с этой активностью продукции окислов азота [2]. Между тем интенсивность образования окислов азота при молниевых вспышках может существенно меняться в зависимости от местных условий и меняться от года к году, что может сказаться и на точности модельных расчетов распределения и тенденций долгопериодной изменчивости озона и других малых газов в атмосфере. В связи с этим для дальнейшего исследования влияния окислов азота на климат актуальным становится повышение точности оценок скорости формирования окислов азота при молниевых разрядах и использование в моделях газового состава и общей циркуляции атмосферы не климатологических данных, а теоретических параметризаций, позволяющих учесть локальные особенности условий протекания молниевых эффектов и возникающие при этом процессы формирования окислов азота.

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете в рамках гранта Правительства РФ (Договор №11.G34.31.0078) для поддержки исследований под руководством ведущих ученых, институте прикладной физики РАН при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 11-05-12055-офи-м-2011).

Литература

1. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Climate Change 2001: The Scientific Basis: Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson, 881 pp., Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 2001.
2. *Смышляев С.П., Мареев Е.А., Галин В.Я.* Моделирование влияния грозовой активности на газовый состав атмосферы // Изв.РАН. Физика атмосферы и океана. 2010. Т. 46. № 4. С. 487–504.
3. *Schumann U., Huntrieser H.* The global lightning-induced nitrogen oxides source // Atmos. Chem. Phys. 2007. V.7. P.3823-3907.
4. *Brasseur G.P., Orlando J.J., Tyndal G.S.* Atmospheric Chemistry and Global Change // Oxford University Press, 1999, 688 pp.
5. *Smyshlyaev S.P., Geller M.A., Yudin V.A.* Sensitivity of model assessments of high-speed civil transport effects on stratospheric ozone resulting from uncertainties in the NO_x production from lightning, // J. Geophys. Res. 1999. V.104. № D21. P. 26401– 26417. doi:10.1029/1999JD900820.
6. Christian, H. J., Blakeslee, R. J., Boccippio, D. J., et al.: Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector, J. Geophys. Res., 108, 4005, doi:10.1029/2002JD002347, 2003.
7. Lhermitte, R. and Krehbiel, P. R.: Doppler radar and radio observations of thunderstorms, IEEE Trans. Geosci. Electron., GE-17, 162–171, 1979.
8. Williams, E. R. and Stanfill, S.: The physical origin of the land-ocean contrast in lightning activity, C. R. Physique, 3, 1277–1292, 2002.
9. Pickering K., Wang E.Y., Tao W.K. et al. Vertical distribution of lightning NO_x for use in regional and global chemical transport models // J. Geophys. Res. 1998. V. 103. №D23. P. 31203–31216.
10. Pickering, K., Huntrieser, H., Schumann, U., 2008: Lightning and NO_x Production in Global Models. in Lightning : Principles, Instruments and Applications, ed. H.D. Betz, U. Schumann and P. Laroche, Springer Publications, 552-572.
11. Price, C., 2009: Thunderstorms, Lightning and Climate Change, in Lightning : Principles, Instruments and Applications, ed. H.D. Betz, U. Schumann and P. Laroche, Springer Publications, 521-536.

ОПЫТ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ КОНВЕКТИВНЫХ ОБЛАКОВ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ И МРЛ

А.В. Снегуров, В.С. Снегуров

Главная геофизическая обсерватория им.А.И.Воейкова, Санкт-Петербург, Россия
info@alwes.ru

Увеличение эффективности наблюдений за опасными погодными явлениями, в том числе за грозами, способствует повышению надёжности данных штормового предупреждения.

В Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ГГО) в 50-80-е годы прошлого века была разработана технология распознавания гроз с использованием радиолокационных средств. В основу этого метода заложен анализ различных параметров облаков, измеренных с помощью метеорологических радиолокаторов (МРЛ). Разработанные для этого алгоритмы обработки радиолокационной информации позволяют с вероятностью 80-85 % распознать радиоэхо с грозами. Количество ложных тревог изменяется от 4 % до 28 %, а пропусков - от 13 % до 32 %.

Другим способом повышения эффективности обнаружения и распознавания гроз являются пассивные радиофизические средства регистрации электромагнитного излучения грозовых разрядов. В отечественной практике во второй половине 20-го века для этой цели использовались грозопеленгаторы и грозопеленгаторы-дальномеры.

Объединение активного и пассивного методов привело к разработке радиолокационно-пеленгационного метода распознавания грозовых очагов. В нем используются данные совместных наблюдений за грозовыми облаками МРЛ и грозопеленгационными системами (ГПС). Опыты по определению эффективности совместных радиолокационных и грозопеленгационных наблюдений с привлечением данных визуальных наблюдений наземных метеорологических станций показали, что в различных физико-географических условиях количество гроз, обнаруженных всеми видами регистрации, составило 60-93 % на удалении 0-100 км и 50-60 % на удалении 101-200 км.

В процессе исследования радиолокационно-пеленгационного метода обнаружения грозовых очагов была проведена оценка его эффективности применительно к Северо-Западному региону.

В грозовые сезоны 2004-2005 годов в п. Воейково Ленинградской области на базе ГГО были проведены совместные наблюдения МРЛ-5, однопунктовым грозопеленгатором-дальномером (ОГПД) и пеленгационной системой местоопределения гроз ПСМГ за конвективными облаками [1]. МРЛ-5

был оснащён аппаратно-программным обеспечением «Мерком», позволяющим производить непрерывно аналогово-цифровую обработку видеосигнала, вычисление основных радиолокационных критериев грозовой опасности конвективных облаков, формирование файлов с данными измерений основных радиолокационных параметров, создание специальных файлов, содержащих информацию по ячейкам 4×4 км о радиолокационной отражаемости конвективных облаков на различных уровнях за сеанс наблюдений. ОГПД формировал текстовые файлы, которые по локальной сети транслировались на сервер, где совмещались с данными МРЛ-5.

Для определения вероятностных параметров распознавания МРЛ-5 относительно ОГПД и ПСМГ было опробовано три варианта обработки информации.

В первом варианте сравнивались между собой данные наблюдений МРЛ-5 и ОГПД. Направление на грозовые разряды и дальность определялись ОГПД независимо от информации МРЛ-5, но с совмещённой обработкой.

Во втором варианте также сравнивались между собой данные наблюдений МРЛ-5 и ОГПД. Но для принятия решения необходимым условием было наличие хотя бы одной ячейки 4×4 км со значением радиолокационной отражаемости более 0,6 в ячейке 30×30 км ОГПД.

В третьем варианте сравнивались между собой данные наблюдений МРЛ-5 и ПСМГ. Координаты грозовых разрядов определялись ПСМГ независимо от показаний МРЛ-5.

Высокая точность измерения координат молниевых разрядов многопунктовыми системами позволяет проводить сравнение с данными МРЛ-5 в тех случаях, когда ПСМГ за заданный временной интервал зарегистрировала один грозовой разряд. В этом случае вероятность правильного распознавания грозовых очагов при совместной работе МРЛ-5 и ПСМГ увеличивается на 25-30 % [1].

Развитие средств связи и синхронизации измерений в территориально разнесённых пунктах привело к переходу в оперативный режим регистрации гроз (с 2006 года) грозопеленгационной системы (ГПС) «Алвес» на Северо-Западе России. В 2009 году создан аналогичный куст на Северном Кавказе и один Индикатор грозовой опасности был установлен в Республике Беларусь. В этот период были разработаны методика и программное обеспечение для объединения информации о метеоявлениях по данным МРЛ (в кодах BUFR ПО «Метеоячейка», АКСОПРИ и «Мерком») и ГПС о координатах молниевых разрядов. Методика обработки данных подробно изложена в работе [2]. В ней показано, что совместные наблюдения МРЛ (ДМРЛ а/п Пулково) и ГПС позволяют повысить эффективность распознавания гроз и уменьшить вероятность ложных тревог метеорологического радиолокатора в зависимости от величины критерия грозоопасности Y от 18% ($Y=12$) до 75% ($Y=10$).

В 2010-2011 гг. по заданию Росгидромета ГГО совместно с ООО «Алвес» провела модернизацию и расширение ГПС. Проведена замена Индикаторов грозовой опасности (Индикатор) старой версии, построенных на базе персональных компьютеров, на новую версию «Alwes 7.04», работающую на микроконтроллерах. В результате установлен 21 комплект Индикаторов на Европейской территории России

В 2012 году было продолжено строительство ГПС. В Центральном и Южном ФО установлено 15 комплектов Индикаторов. Модернизирована версия аппаратно-программного обеспечения (АПК) ГПС «Алвес 9.07». Данные МРЛ о метеоявлениях в кодах BUFR, полученные через Интернет или по каналам АСПД МЕКОМ обрабатываются и представляются на карте в виде ячеек 4x4 км различного цвета. Характеристика метеоявления определяется по таблице в левой части экрана (рисунок 1). Здесь приведён пример совместных наблюдений ГПС и МРЛ (а/п Пулково) 22 мая 2012 года с 13 час 19 мин до 14 час 19 мин UTC.

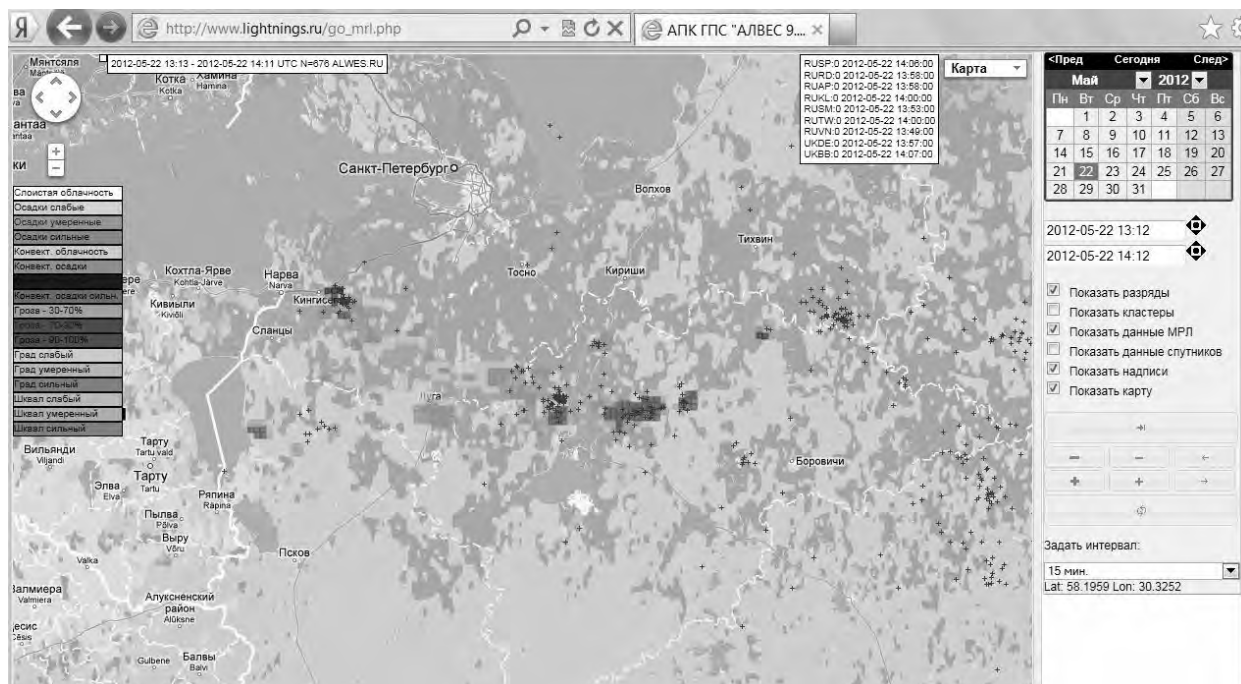


Рис.1. Карта распределения гроз (крестики синего цвета) по данным ГПС и метеоявлений по данным МРЛ (а/п Пулково)

В левой верхней части экрана расположено окно, в котором приводятся дата, время начала и окончания интервала наблюдений, количество грозовых разрядов. Под этим окном расположены кнопки перемещения карты по экрану и изменения масштаба. Ниже расположена таблица с перечнем метеорологических явлений по данным МРЛ и соответствующий им цвет на экране.

В правой верхней части экрана публикуется список пунктов с МРЛ, данные которых передаются в АПК ГПС в текущее время. Рядом с ним расположено окно «Карта».

В правой части экрана в вертикальном окне расположены: календарь для выбора месяца и года; горизонтальные окна, в которых показано текущее время в UTC (нижнее окно) и время на час меньше (верхнее окно); окна для подключения функций «Показать разряды», «Показать кластеры», «Показать данные МРЛ», «Показать данные спутников», «Показать надписи» и «Показать карту». Клавиша «←→» позволяет вернуться на текущее время, клавиши «←» и «→» позволяют уменьшать или увеличивать время на сутки, на час и на 10 минут.

В окне «Задать интервал» можно изменить интервал времени, за который на экран выводится информация о грозовой обстановке.

Литература

- 1.Снегуров А.В.Экспериментальные исследования погрешностей пеленгации грозовых очагов./ Автореф.дисс....канд.тех.наук.-СПб.2005,изд.ГГО,-19 с.
- 2.Снегуров А.В. Опыт построения экспериментальной грозопеленгационной сети.-СПб.Труды ГГО. 2010. Вып.562.С.190-200.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГРОЗ ПО ДАННЫМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА 2009-2011 ГГ

А.В. Снегуров, В.С. Снегуров
Главная геофизическая обсерватория им.А.И.Воейкова, Санкт-Петербург, Россия
info@alwes.ru

В настоящее время в Росгидромете проходят опытную эксплуатацию три многопунктовых грозопеленгационных системы (ГПС): две четырехпунктовые ГПС «Вайсала» на Северном Кавказе (начало строительства в 2008 году) и в Московском регионе (в 2010 году), а также ГПС «Алвес» (начало строительства в 2004). В 2006 году четырехпунктовый вариант ГПС «Алвес» на Северо-Западе переведён в оперативный режим. С 2008 года её данные публикуются на сайте www.grozy.ru. В 2009 году развёрнут куст ГПС на Северном Кавказе и один комплект регистрации ЭМИ молний в Республике Беларусь [1,2].

Для просмотра данных наблюдений за грозами ГПС (www.grozy.ru), представленных в kml-файлах, использовалась геоинформационная система (ГИС) на базе программного обеспечения Google Earth. Программное обеспечение загружалось с сайта <http://earth.google.com/intl/ru/download-earth.html>. Для примера на рисунках 1-2 в различных масштабах представлены данные ГПС «Алвес» за 24 августа 2009 года. Координаты МР обозначены квадратами ярко зеленого цвета.



Рис.1.

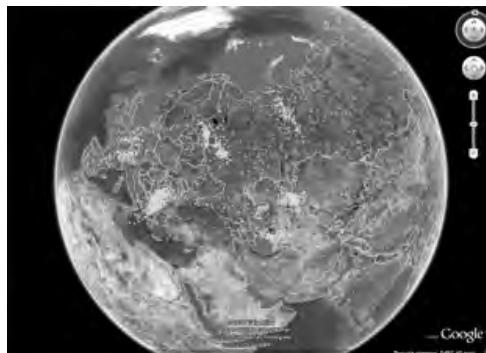


Рис.2.

Высокая эффективность Северо-Западного куста ГПС (внутри системы вероятность обнаружения молниевых разрядов составляет более 90% [2]) позволила построить распределение грозовой активности для большей части Ленинградской, Псковской и Новгородской области за период с июня по август 2009-2011 гг. На рисунках 3-5 приведено распределение гроз соответственно за 2009, 2010 и 2011 г. Ячейки размером 30х30 км окрашены в разные цвета. Чем выше интенсивность, тем темнее тона. На рисунке 6 показано распределение гроз, полученное в 2009 году ГПС «Алвес». Сравнительно низкая эффективность Северо-Кавказского куста и отсутствие Индикаторов в центре европейской территории России не позволило получить надёжных данных по всей ЕТР. На рисунке 8 приводится распределение гроз за июнь-август 2009 на ЕТР. В 2010-2011 гг. по заданию Росгидромета ГГО совместно с ООО «Алвес» провела модернизацию и расширение ГПС. Проведена замена Индикаторов грозовой опасности (Индикатор) старой версии, построенных на базе персональных компьютеров, на новую версию «Alwes 7.04», работающую на микроконтроллерах. В результате установлен 21 комплект Индикаторов на Европейской территории России. На рисунках 7 и 8 показано распределение гроз за 2010 и 2011 гг. Карты за 2010 и 2011 гг. построены с другой шкалой интенсивности (цветности).

В 2012 году было продолжено строительство ГПС. В Центральном и Южном ФО установлено 15 комплектов Индикаторов. Разработана новая версия программного обеспечения Сервера АПК ГПС «Алвес 9.07».

В 2013-2015 годы планируется расширение сети на Север, Северо-Восток ЕТР, далее на Урал, Сибирь и Дальний Восток.

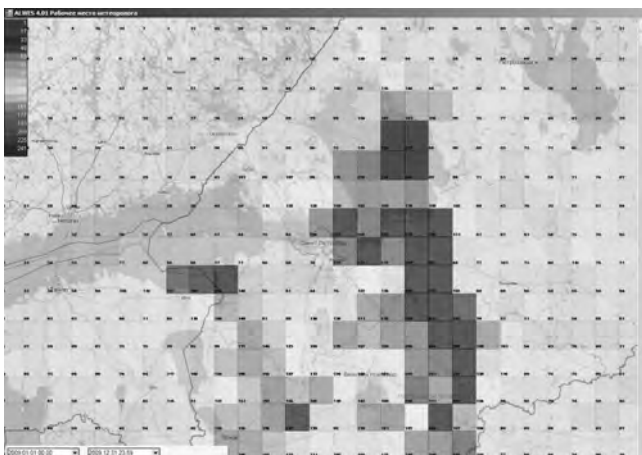


Рис.3. Распределение гроз за июнь-август 2009 г

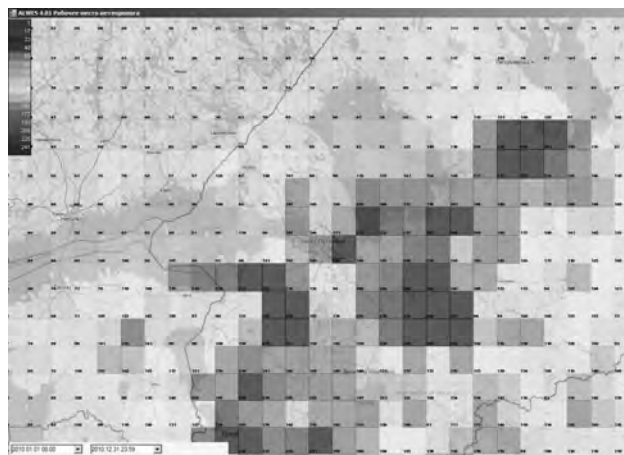


Рис.4. Распределение гроз за июнь-август 2010 г.

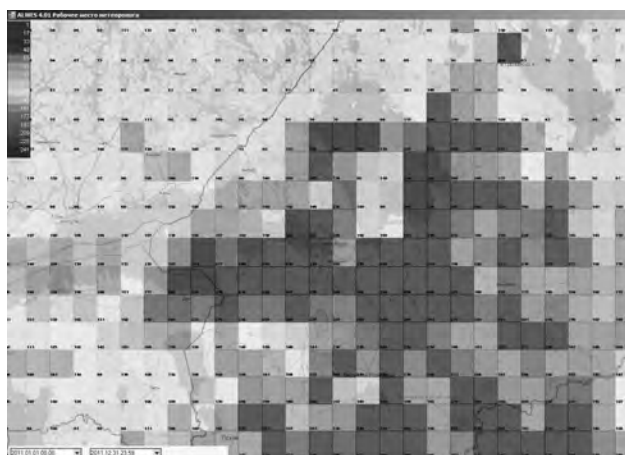


Рис.5. Распределение гроз за июнь-август 2011 г

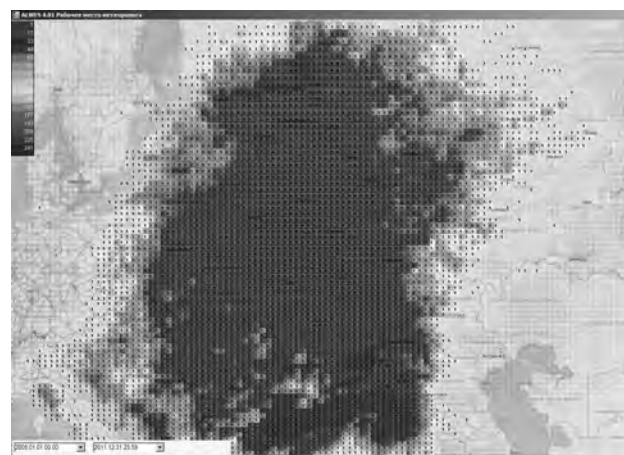


Рис.6. Распределение гроз за 2009 г. на ЕТР

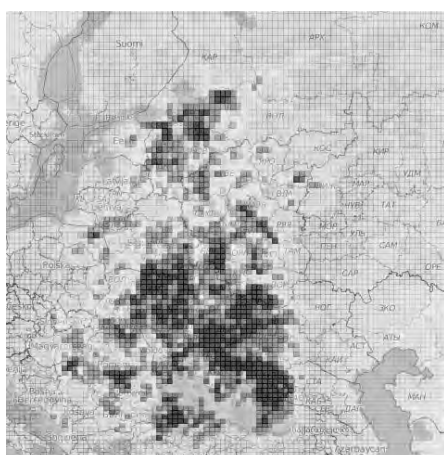


Рис.7. Распределение гроз за 2010 г.

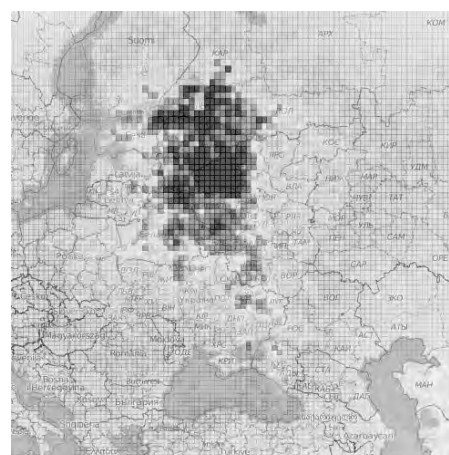


Рис.8. Распределение гроз за 2011 г.

Литература

1. Снегуров А.В. Опыт построения экспериментальной грозопеленгационной сети.-СПб.Труды ГГО. 2010. Вып.562.С.190-200.
2. Снегуров А.В. Экспериментальная оценка эффективности сети пеленгации гроз.-СПб.Труды ГГО. 2010. Вып.562.С.201-210.

К КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РОСГИДРОМЕТА

А.В. Снегуров, В.С. Снегуров
Главная геофизическая обсерватория им.А.И.Воейкова, Санкт-Петербург, Россия
info@alwes.ru

Концепция построения грозопеленгационной системы (ГПС) Росгидромета была разработана ГГО и принята ЦКПМ Росгидромета в декабре 1994 г. [1]. Реализация концепции затруднялась отсутствием доступных каналов связи и точных средств синхронизации измерений в территориально разнесённых пунктах. Их появление способствовало переходу в 2004-2006 гг. к оперативным (в реальном времени) измерениям и практической реализации ГПС. ГГО совместно с ООО «Алвес» в 2006-2007 гг. развернули Северо-Западный куст ГПС, куст на космодроме Байконур, а в 2009 году Северо-Кавказский куст [2,3]. С 2010 года в рамках федеральной целевой программы ГГО совместно с ООО «Алвес» ведёт разработку и строительство аппаратно-программного комплекса ГПС «Алвес 9.07» (АПК ГПС).

Для построения АПК ГПС используются Индикаторы грозовой опасности «Alwes 7.04» (Индикатор), которые обеспечивают регистрацию волновых форм ЭМИ в СДВ диапазоне на удалениях до 1000 км, их привязку к сигналам точного времени GPS, определение полярности и длительности переднего



Рис.1. Структурная схема комплекса технических средств.

фронта и первой полуволны сигнала, его амплитуду, передачу по каналам связи данных регистрации на коммуникационный сервер-вычислитель.

На рисунке 1 приведена структурная схема АПК ГПС. В состав комплекса входят Индикаторы, Сервер АПК ГПС с СПО, Коммуникационный сервер – вычислитель, Сервер сбора обработки данных МРЛ и ИСЗ и передачи данных на SQL-сервер, Веб сервер с СПО представления данных АПК ГПС, МРЛ и ИСЗ, ПК пользователей и ПК администратора.

Программа Server 9.3.01 предназначена для работы на сервере АПК ГПС. Она осуществляет сбор данных с Индикаторов, сохраняет в файл данные регистрации, рассчитывает географические координаты молниевых разрядов, сохраняет результаты расчётов в файл и передаёт их на SQL-сервер, отображает состояние Индикаторов АПК ГПС.

Программа Server 9.5.01 также рассчитана для работы на сервере АПК ГПС. Она предназначена для наполнения MS SQL сервера АПК ГПС и MySQL сервера сайта www.lightning.ru информацией сторонних производителей (МРЛ, ИСЗ), а также выполнения дополнительных сервисных функций. Программа Client 9.7.01 предназначена для представления данных АПК ГПС.

В рамках концепции была разработана схема размещения пунктов регистрации для европейской территории России. В процессе построения АПК ГПС она расширена на Урал, Сибирь и Дальний Восток. На рисунках 2-8 точками разного цвета показаны места размещения пунктов регистрации молниевых разрядов АПК ГПС в Федеральных округах России (красным цветом – пункты, развёрнутые в 2010 и 2011 гг., синим цветом – пункты, открытые в 2012 г.). В настоящее время на европейской территории России установлено 35 пунктов регистрации молниевых разрядов и один

пункт на территории Республики Беларусь. Оранжевым, зелёным и сиреневым цветом показаны пункты, где планируется установка Индикаторов в 2013, 2014 и 2015 гг. соответственно.



Рис.2. Северо-Западный ФО



Рис.3. Приморский ФО



Рис.4.Уральский ФО



Рис.5. Центральный ФО



Рис.6. Сибирский ФО



Рис.7.Дальневосточный ФО



Рис.8. Южный ФО



Рис.9. Дальневосточный ФО



Рис.10. Данные ГПС за 27.08.12 г.,16.45-17.45 UTC

В соответствии с планом мероприятий по реализации Стратегии социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона разработаны предложения по развитию АПК ГПС в Дальневосточном Федеральном Округе. На рисунке 9 точки чёрного цвета указаны пункты, в которых целесообразно дополнительно разместить Индикаторы грозовой опасности. Такая схема расширяет контроль грозовой активности на территории округа. Для примера, на рисунке 10 приведены данные регистрации гроз АПК ГПС «Алвес 9.07» 27 августа 2012 года с 16 часов 45 минут до 17 часов 45 минут по UTC.

Литература

- 1.Снегуров В.С. Концепция сети пеленгации гроз.-СПб.Труды НИЦДЗА (филиал ГГО).1997.Вып1(546).С.92-104.
- 2.Снегуров А.В. Опыт построения экспериментальной грозопеленгационной сети.-СПб.Труды ГГО. 2010. Вып.562.С.190-200.
- 3.Снегуров А.В. Экспериментальная оценка эффективности сети пеленгации гроз.-СПб.Труды ГГО. 2010. Вып.562.С.201-210.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МОЛНИЙ

А.В. Снегуров, В.С. Снегуров
 Главная геофизическая обсерватория им.А.И.Воейкова, Санкт-Петербург, Россия
 info@alwes.ru

Грозопеленгационная система (ГПС) позволяет экспериментально исследовать параметры электромагнитного излучения (атмосфериков) молниевых разрядов на различных удалениях и в различных физико-географических условиях. Определённый интерес представляют данные измерений амплитуды атмосфериков, длительности их переднего фронта, первой полувольты и её полярности в ближней до 100 км зоне. Ниже рассмотрим результаты измерений перечисленных выше параметров полученных с помощью ГПС «Алвес» 15-23 и 29 июля 2012 года. Для статистической обработки данных использовалась стандартная программа редактора Microsoft Excel. Из рабочего файла сделаны выборки данных абсолютных значений амплитуды электрической составляющей (ABS Ez), длительности переднего фронта (Тф), первой полувольты (Тпп) и полярности атмосфериков. В первом варианте обрабатывались все случаи, во втором - на удалениях до 100 км от пункта регистрации. В интервалах 0-20, 20-40 и т.д. до 100 км определялись среднее значение и стандартное отклонение с уровнем надёжности 95%. Результаты обработки представлены в таблицах 1-3 и на рисунках 1-4.

Таблица 1 Средние значения/стандартное отклонение параметров атмосфериков с отрицательной первой полувольты

Дата	Ez/σ Отн.ед.		Тф/σ мкс		Тпп/σ мкс		Число Случаев
	15.07.12	-118,6	61,3	16,2	13,1	33,7	
16.07.12	-116,1	110,6	15,7	11,7	34,1	15,8	782
17.07.12	-193,7	206,2	17,0	12,4	34,6	15,9	559
18.07.12	-163,6	184,7	16,4	10,9	34,6	16,0	624
19.07.12	-143,3	129,4	16,2	11,4	33,9	14,9	340
20.07.12	-149,5	180,7	16,9	11,9	34,4	15,7	232
21.07.12	-214,1	239,1	15,5	11,7	33,4	16,4	801
22.07.12	-122,7	119,0	14,9	12,3	33,3	19,0	724
23.07.12	-256,1	221,8	17,3	14,0	35,0	23,1	64
29.07.12	-185,0	220,3	18,2	15,8	37,0	23,2	5449
Среднее			16,4	12,5	34,4	17,7	

Таблица 2 Средние значения/стандартное отклонение параметров атмосфериков с положительной первой полувольты

Дата	Ez/σ Отн.ед.		Тф/σ мкс		Тпп/σ мкс		Число Случаев
	15.07.12	176,2	153,9	13,5	10,0	30,5	
16.07.12	102,9	82,1	16,5	11,0	35,0	14,7	715
17.07.12	129,7	95,2	16,2	10,6	33,7	13,1	653
18.07.12	119,8	113,4	14,8	9,1	32,9	13,5	585
19.07.12	112,3	78,6	16,2	12,2	34,1	14,8	380
20.07.12	113,0	88,7	14,9	10,4	30,5	14,0	199
21.07.12	121,4	101,5	15,1	10,5	32,5	16,7	556
22.07.12	119,0	125,6	14,7	11,6	31,6	17,3	689
23.07.12	146,2	74,2	12,8	7,9	27,7	12,5	37
29.07.12	138,8	165,5	17,8	13,9	36,1	18,2	6711
Среднее			15,3	10,7	32,5	15,8	

В общей сложности было обработано 20540 атмосфериков, из них 9792 (47,7%) с отрицательной и 10748 с положительной полярностью. В таблице 3 показано процентное соотношение атмосфериков с первой полувольты отрицательной и положительной полярности.

Таблица 3. Процентное соотношение атмосфериков с первой полуволной отрицательной и положительной полярности.

Дата	15.07.12	16.07.12	17.07.12	18.07.12	19.07.12	20.07.12	21.07.12	22.07.12	23.07.12	29.07.12
Отрицательной полярности %	49,3	52,2	46,1	51,6	47,2	53,8	59,0	51,2	63,4	44,8
Положительной полярности %	50,7	47,8	53,9	48,4	52,8	46,2	41,0	48,8	36,6	55,2

Для оценки вариаций параметров атмосфериков в зоне до 100 км использовались данные измерений ГПС «Алвес» за 29 июля 2012 г. Карта распределения молниевых разрядов приведена на рисунке 1. Крестиками синего цвета обозначены координаты молниевых разрядов. Для сравнения данных, полученных в разных регионах, обработаны файлы с записями параметров близких атмосфериков ГПС. На рисунках 2-4 приведены распределения ABSEz, Тф и Тпп на расстояниях до 100 км от гг. Гдов, Сортавала и Сочи.

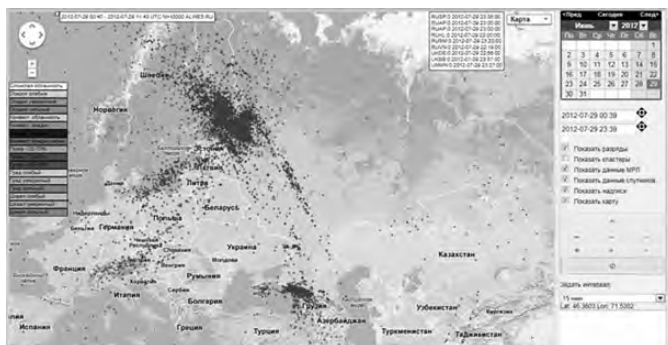


Рис.1. Карта распределения гроз 29 июля 2012 г.

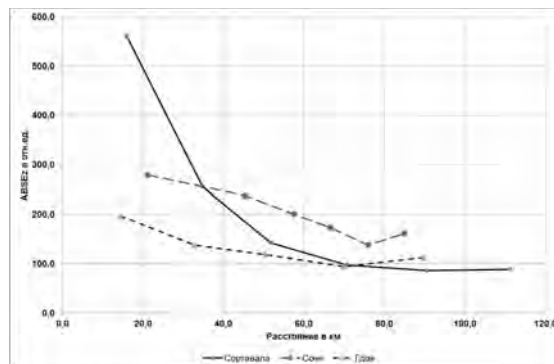


Рис.2.Изменение ABSEz с расстоянием

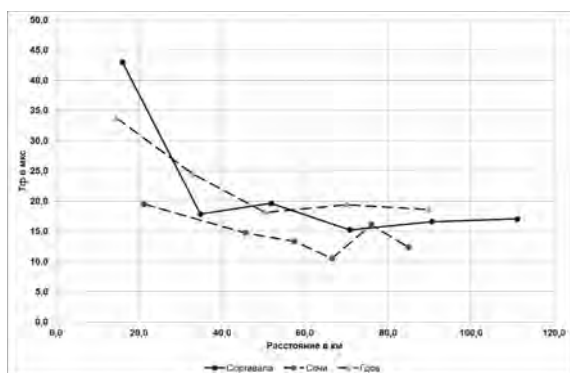


Рис. 3. Изменение Тф с расстоянием

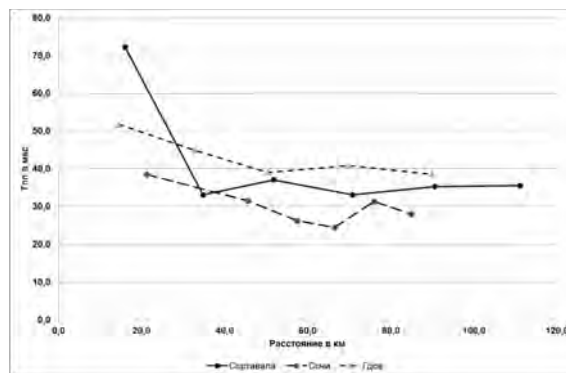


Рис. 4. Изменение Тпп с расстоянием

Экспериментальные данные показывают следующее:

- средние значения и стандартное отклонение длительности переднего фронта и первой полуволны близки для атмосфериков положительной и отрицательной полярности;
- соотношение атмосфериков с положительной и отрицательной первой полуволной 55% и 45% и может изменяться на 12-13%;
- средние абсолютные значения амплитуды, длительность переднего фронта и первой полуволны атмосфериков по мере увеличения расстояния в зоне до 100 км уменьшается в соответствии с расчётными данными для модели молнии в виде дипольного излучателя [1].

Литература

1.Снегуров А.В. Экспериментальная оценка параметров электромагнитного излучения грозовых разрядов в сверхдлинноволновом диапазоне. –СПб: Труды ГГО,2011.вып.563. С. 223-234.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В ОПЕРАТИВНОЙ РАБОТЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ

В.В. Соколов¹, Е.А. Мареев²

1 - Департамент Росгидромета по ПФО, Нижний Новгород; ФГБУ «Нижегородский ЦГМС-Р»,
Нижний Новгород

2 - Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород; ННГУ им. Лобачевского, Нижний
Новгород

drhm-pfo@meteo.nnov.ru

Регулярные наблюдения за природными явлениями на территории ответственности Департамента Росгидромета по Приволжскому федеральному округу (далее — Департамент Росгидромета по ПФО) в Верхне-Волжском регионе, согласно материалам архивов, были начаты с 30 х гг. XIX столетия, что позволяет делать обоснованные выводы о состоянии природной среды и изменении климата по данным, содержащимся в материалах государственного фонда данных. Наличие большого массива данных гидрометеорологических наблюдений в регионе Верхней Волги позволяют дать оценку климатическим ресурсам и тенденциям изменений, количества и силы опасных и неблагоприятных природных явлений. На территории ответственности Департамента Росгидромета по ПФО метеорологические наблюдения проводятся в 167 пунктах. В 59 пунктах производятся наблюдения по программам метеостанций, которые включают визуальные наблюдения за грозовой активностью. Более 50% из этих пунктов имеют 100-летние ряды данных наблюдений. Наблюдения проводятся в соответствии с требованиями «наставления» гидрометеорологическим станциям и постам. Вып.3, ч.1. Метеорологические наблюдения на станциях. В 2 пунктах (г. Нижний Новгород и г. Ижевск) производятся инструментальные наблюдения за грозами, шквалами, осадками и градом с помощью метеорологических радиолокационных станций, данные которых позволяют в реальном времени следить за развитием грозových процессов и других опасных метеорологических явлений в радиусе до 200 км от пункта установки. В соответствии с Федеральными целевыми программами «Создание и развитие средств мониторинга геофизической обстановки на территории РФ на 2008-2015 гг.» и Модернизация единой системы организации воздушного движения РФ (2009-2015гг.) на территории РФ предусматривается установка 140 новых доплеровских метеорологических радиолокаторов ДМРЛ-С. В период до 2016 года во всех административных центрах, находящихся на территории ответственности Департамента Росгидромета по ПФО, будут установлены такие ДМРЛ-С. Их работа позволит создать единое информационное поле данных в реальном времени о возникновении и развитии опасных атмосферных явлений по территории ПФО. Реализация ФЦП свидетельствует о большом внимании, уделяемом в настоящее время мониторингу и изучению опасных атмосферных явлений.

По многолетней практике эксплуатации метеорологических радиолокаторов установлено, что вероятность обнаружения грозовой активности в регионе составляет 0,92. Оправдываемость данных измерений радиолокаторов в настоящее время определяется путем сравнения с данными визуальных наблюдений, проводимыми метеорологическими станциями, расположенными в зоне действия этих локаторов. Грозовая активность по действующим в настоящее время методикам определяется числом дней с грозой и суммарной продолжительностью гроз в часах, как в течение месяца, квартала, так и в целом за год.

Анализ данных наблюдений метеостанций на территории Нижегородской области за период 1977-2011гг. показал, что в эти годы не наблюдались грозы в зимние месяцы года, а среднее число дней с грозами и часов их продолжительности составила за год 22 дня и 49 часов соответственно. Эти данные практически не отличаются от данных за 50-60-е года прошлого века.

Следует отметить уменьшение среднего числа дней в году с грозами с 39 до 21 дня в широтном направлении с севера на юг области, а также меньшего среднего числа часов продолжительности гроз за год в районах городов с развитой промышленностью по сравнению с сельскохозяйственными и лесными районами области.

Наиболее интересные результаты могут быть получены путем комплексного, инструментального изучения связи между метеорологическими, геоморфологическими и электрическими характеристиками

Результатом таких исследований может явиться современная методика прогнозирования возникновения и развития гроз. Для изучения особенностей динамики атмосферного электричества и климатологии гроз в регионе Верхней Волги в течение 2006-2012 гг. на базе Волжской ГМО ФГБУ «Нижегородский ЦГМС-Р» (г. Городец, Нижегородская область) совместно с Институтом прикладной физики РАН проводились комплексные исследования атмосферного электричества и его связи со значениями метеорологических элементов. Для этого был создан многофункциональный измерительный комплекс для приема и регистрации электромагнитных полей. С помощью

аппаратуры этого комплекса осуществлялись наблюдения за состоянием электрического поля, атмосферными токами и электропроводимостью, как невозмущенной атмосфере, так и в грозовых условиях, включая регистрацию быстрых изменений во время разрядов молний. В течение указанного периода времени для определения характеристик грозовой деятельности также использовались данные метеорологического радиолокатора МРЛ-5 АКСОПРИ (г. Нижний Новгород) о развитии конвективной облачности и прохождении атмосферных фронтов, данные радиозондирования атмосферы, проводившегося на аэрологической станции Нижний Новгород, различная синоптическая информация, включая снимки облачности со спутников Земли, а также информация метеостанций и данных о температурной стратификации в приземном 500 метровом слое метеорологического профилимера МТП-5.

Анализ полученных временных рядов характеристик гроз показывает, что эти ряды имеют сложную статистическую структуру.

Были исследованы спектральные и временные характеристики возмущения электрического поля атмосферных фронтов и грозовых облаков. Результаты исследований по атмосферному электричеству и проявлению его особенностей в Верхне-Волжском регионе неоднократно докладывались на Российских и международных конференциях по атмосферному электричеству, а также публиковались в научных журналах [1,2].

Для дистанционного наблюдения вертикальной компоненты электрического поля был создан аппаратно-программный комплекс, состоящий из электростатического флюксметра, системы регистрации данных и свободно распространяемого программного обеспечения фирмы Voltek для передачи данных в любой пункт, где есть доступ в интернет. Данные наблюдений передавались в Нижегородский гидрометцентр и использовались для экспериментального установления связи между электрическими характеристиками атмосферы и данными радиозондирования атмосферы для расчетов индексов потенциальной конвективной энергии, а также различных синоптических и метеорологических данных.

Учитывая возрастающую ценность информации о грозах как об опасных природных явлениях, потребность в прогнозировании грозовой деятельности, было бы целесообразно начать создание в дополнение к уже организуемой в рамках ФЦП сети наблюдений с помощью доплеровских метеорологических радиолокаторов, грозопеленгационной сети местоопределения молниевых разрядов и их основных параметров. Такая сеть (в качестве зарубежных аналогов можно привести сети LPATS или WWLL в ОНЧ-диапазоне), включающая как грозопеленгаторы, так и флюксметры могла бы начать создаваться в густонаселенных промышленных районах ЕТР, Сибири и Дальнего Востока.

Для успешного развития наблюдения за атмосферным электричеством необходимо не только техническое перевооружение наблюдательной сети, но и переработка и приведение в соответствии с требованиями 21 века методик наблюдений и нормативной документации. Удивительно, что гроза, как опасное атмосферное явление, приводящее к гибели людей, пожарам и другим негативным явлениям природы, в действующих нормативных документах с перечнем опасных явлений не отнесена к опасным атмосферным явлениям.

Оснащение сети метеостанций простейшими флюксметрами, грозопеленгаторами, обеспечения современными методиками инструментальных наблюдений в целом будет способствовать повышению точности наблюдений, развитию науки об атмосферном электричестве и повышению безопасности человеческой деятельности.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации (договор № 11.G34.31.0048) а также Программы фундаментальных исследований ОФН РАН «Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследований атмосферных процессов».

Литература

1. Yu.V. Shlyugaev, V.V. Klimenko, E.A. Mareev, A.A. Panyutin, Study of Regional Features of Lightning Climatology, in Proc. of XIV International Conference on Atmospheric Electricity, Rio de Janeiro, Brazil, August 08-12, 2011.
2. E.A. Mareev, S.V. Anisimov, V.V. Sokolov, A.A. Panyutin, U.V. Shlyugaev, V.V. Klimenko, N. M. Shikhova, D.I. Iudin. Electricity of the mid-latitude atmosphere as coupled to meteorological conditions over Upper-Volga region // Proceedings of 13th International Conference on Atmospheric Electricity, August 13-17, Beijing, China, 2007, P.644-647.

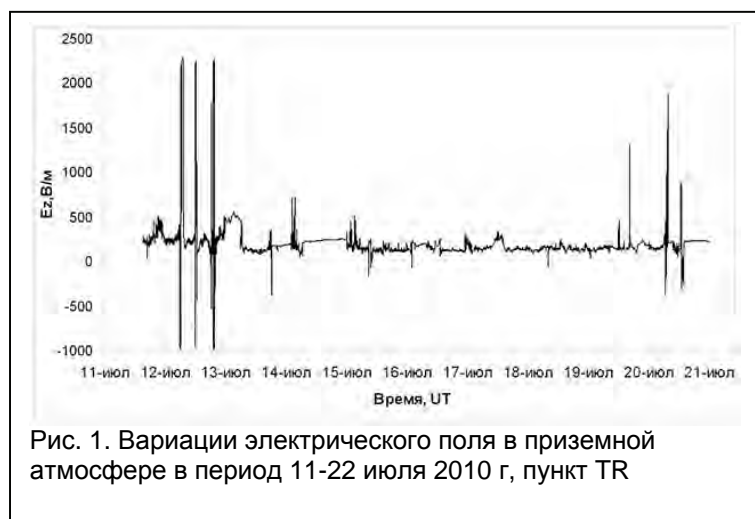
ОСОБЕННОСТИ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В РАЙОНЕ ТУНКИНСКОЙ ВПАДИНЫ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

С.П. Соловьев, Д.Н. Локтев
ИДГ РАН
soloviev@idg.chph.ras.ru

В летние месяцы 2009 и 2010 гг. были организованы комплексные геофизические экспедиции в район Тункинской рифтовой впадины. Тункинская группа рифтовых впадин, входящая в систему Байкальской рифтовой зоны юга Восточной Сибири, простирается на 200 км в субширотном направлении от юго-западного окончания Байкала. Днище Тункинской рифтовой впадины находится на высотах 700 – 900 м над уровнем моря, горное обрамление впадины достигает высот 1700 м над уровнем моря на южных склонах и 2400 м на северных склонах.

Стационарные геофизические наблюдения проводились в центральной части Тункинской впадины на территории геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН «Торы» (TR) и в районе п. Аршан (SBR). Наблюдения за напряженностью электрического поля, E_z , в приземной атмосфере велись с помощью электростатического флюксметра. Регистрация объемной активности природного радона в подпочвенной атмосфере велась с помощью автоматических радиометров PPA-01M-03 и CPA-05. Определялись фоновые характеристики электрического поля в условиях хорошей погоды, исследовались корреляционные связи между напряженностью электрического поля в атмосфере и объемной активностью радона. Для контроля метеопараметров использовались автоматические метеостанции DavisVantagePro.

На рис. 1 представлены результаты наблюдений за электрическим полем в приземном слое атмосферы в пункте TR в июле 2010 года. Погодные условия за время наблюдений характеризуется,



чередующимися периодами с «хорошей» погодой и периодами с приближающимися атмосферными фронтами, облачностью и дождями. В периоды «нарушенной» погоды наблюдалось изменение знака электрического поля, а вариации E_z с характерными временами 3-5 часов превышали 2000 В/м. Характерные максимумы 12, 19 и 20 июля можно отнести к возмущениям, вызванным атмосферными фронтами. Связь роста напряженности электрического поля с атмосферными процессами подтверждается зарегистрированными метеостанцией возмущениями атмосферного давления, а также спутниковыми снимками облачного покрова в инфракрасном диапазоне (10,5-11,5

мкм) над Прибайкальем и Восточным Саяном. Из просмотра которых видно, что в часы сильных возмущений электрического поля район наблюдений «накрыт» густой облачностью, а в периоды спокойного уровня поля в атмосфере отмечаются «просветы». Результаты измерений напряженности электрического поля, проведенные в условиях близких к условиям хорошей погоды в пунктах TR и SBR показали, что характер изменений поля течение суток зависит от местного времени - максимум наблюдается в дневные часы по местному времени, минимум в ночные. На рис. 2 приведены записи $E_z(t)$ в пункте TR за 9 и 10 июля 2010 года, временами наблюдалась облачность, осадки и другие явления отсутствовали, скорость ветра днем изменялась от 4 до 8 м/с, ночью от 0 до 2 м/с.

Анализ записей объемной активности радона показал, что в вариациях объемной активности радона отмечается влияние атмосферного давления и земного прилива, причем влияние этих факторов в пунктах наблюдений SBR и TR не одинаковое. В частности, на SBR в вариациях радона влияние прилива и изменений давления имеют более выраженный характер по сравнению с TR, что можно объяснить местоположением точек регистрации. Если пункт SBR расположен вблизи узла тектонических разломов, то пункт TR находится в центре долины и с достаточно мощным слоем осадочных пород.

Профильные наблюдения для определения пространственных неоднородностей электрического поля и эманацій радона в районе Тункинской впадины были организованы вдоль (В-З) и поперек (С-Ю) ее простираения. Расстояние между точками составляло от 3 км до 10 км в зависимости от рельефа

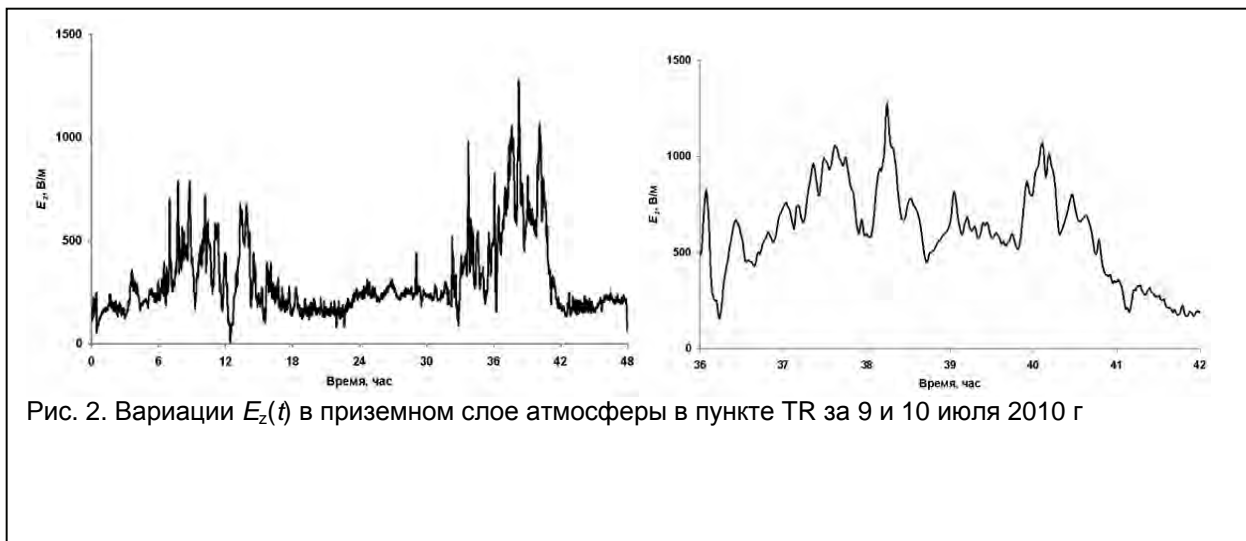


Рис. 2. Вариации $E_z(t)$ в приземном слое атмосферы в пункте TR за 9 и 10 июля 2010 г

местности; длительность регистрации на одной точке составляла 60 минут, соблюдались условия хорошей погоды. На рис. 3 приведена запись $E_z(t)$ в точке 2 на профиле С–Ю.



Рис.3. Запись $E_z(t)$ в т. 2 на профиле С–Ю

На рис. 4 представлены результаты профильных наблюдений за напряженностью электрического поля и эманациями радона в направлении С–Ю. На рисунке приведены изменения средних значений напряженности электрического поля и объемной активности радона в зависимости от расстояния по профилю. Расстояния отсчитывались от крайней северной точки профиля – пункт SBR. Как видно из рисунка, объемная активность радона и напряженность электрического поля изменяются в противофазе. При приближении к краям Тункинской

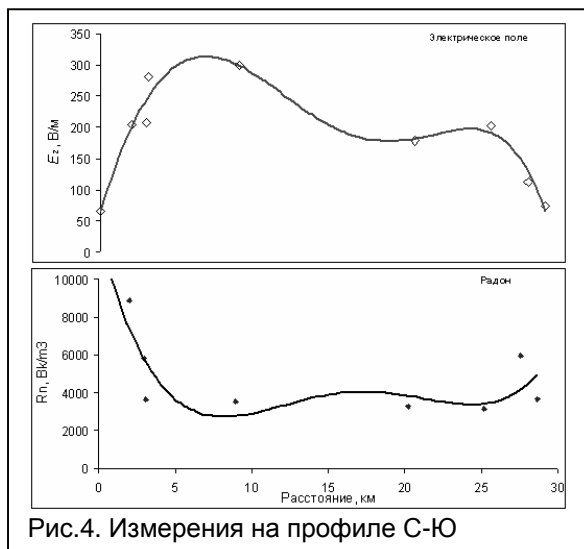


Рис.4. Измерения на профиле С–Ю

впадины, объемная активность радона возрастает, что приводит к увеличению интенсивности ионизации в приземном слое и соответственно к уменьшению напряженности электрического поля. Анализ экспериментального материала, полученного во время экспедиционных работ, позволяет сделать несколько заключений о характере вариаций наблюдавшихся полей в районе Тункинской рифтовой впадины. Вариации электрического поля в приземной атмосфере обусловлены в основном сложной орографией района и, как следствие, быстроменяющимися местными метеоусловиями: грозовой активностью и другими атмосферными явлениями мезометеорологического масштаба (с размерами в десятки километров и продолжительностью несколько часов) в прилегающих горных массивах, которые зачастую вносят определяющий фактор в вариации электрических полей в долине. Как показали профильные наблюдения, концентрация

радона в подпочвенной атмосфере увеличивается при приближении к разломным зонам, ограничивающим с севера и юга Тункинскую долину и оказывает определяющее влияние на пространственные вариации электрического поля в периоды «хорошей» погоды.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 12-05-00578

ВОЗМУЩЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И ИНФРАЗВУКОВОГО ПОЛЕЙ, ВЫЗВАННЫХ КОЛЕБАНИЯМИ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОЗЕРА БАЙКАЛ

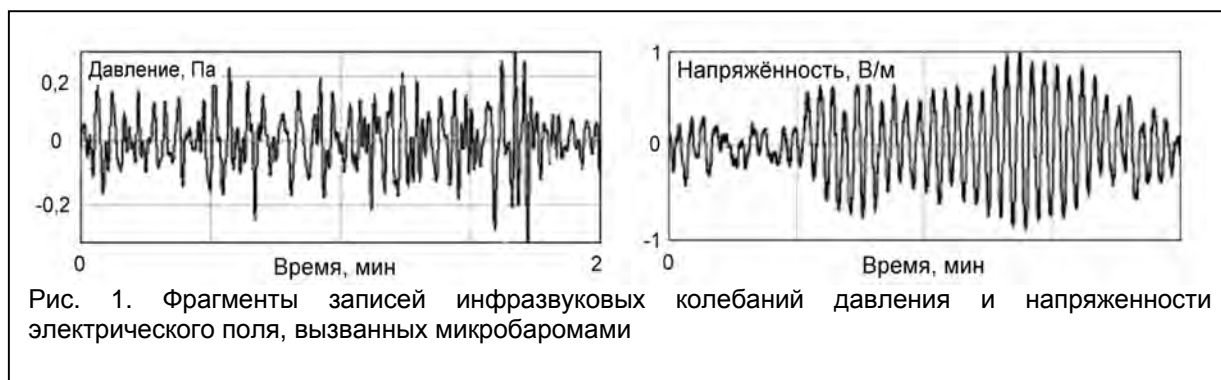
С.П. Соловьев, Ю.С. Рыбнов, В.А. Харламов
ИДГ РАН
soloviev@idg.chph.ras.ru

В ряде работ исследовались возмущения электрического и инфразвукового полей, вызванных такими природными источниками, как циклоны, грозы, солнечный терминатор, магнитные бури и т.д. [3, 5]. В данной работе приведены данные натуральных наблюдений вариаций напряженности атмосферного электрического поля и инфразвуковых колебаний давления в приземном слое атмосферы в районе озера Байкал. Измерения электрического и инфразвукового полей, а также метеопараметров проводились в августе 2009 г. на базе геофизической станции ИСЗФ «Торы», расположенной на расстоянии 50 км от оз. Байкал. Для регистрации электрического поля в приземном слое атмосферы были использованы электростатический флюксметр и электрическая антенна [4]. Регистрация колебаний давления осуществлялась инфразвуковой станцией [2].

Большие водные акватории при наличии ветра, генерируют звуковые волны, называемые микробаромами [7]. Амплитуда этих волн имеет значения от долей до единиц Паскаля, а период - от 1 до 10 секунд. На характер распространения микробаром в приземном слое значительное влияние оказывает температурная и ветровая стратификация атмосферы [1].

В условиях хорошей погоды, зарегистрированные инфразвуковые колебания давления и вариации напряженности электрического поля в пункте наблюдений имели типичный вид, в этом случае спектр мощности инфразвуковых колебаний и вариаций напряженности электрического поля можно было

аппроксимировать зависимостью вида $S_f \approx f^{-5/3}$. Записи инфразвуковых колебаний давления и вариаций напряженности электрического поля изменились 05 августа 2009 г. (рис. 1).



При этом видимые изменения условий хорошей погоды не наблюдались, отмечено лишь постепенное усиление ветра с 1 м/с до 4 – 5 м/с (позже было обнаружено, что над акваторией Байкала проходил циклон). За все время наблюдений ветер дул со стороны озера Байкал. В спектрах записей инфразвуковых колебаний давления и вариаций напряженности электрического поля появились отчетливо выраженные пики (рис.2) на частотах соответствующих диапазону микробаром. Первоначально пик в спектре мощности появился частоте около 2 Гц. В процессе продвижения циклона над акваторией оз. Байкал происходило смещение максимума спектрального пика в область более низких частот при одновременном увеличении его интенсивности. Приблизительно за 2 часа пик плавно сместился до частот 0,35 – 0,4 Гц. Следующие 4 часа наблюдалось стабильное положение пика на этих частотах. После чего на спектрограммах пик больше не наблюдался.

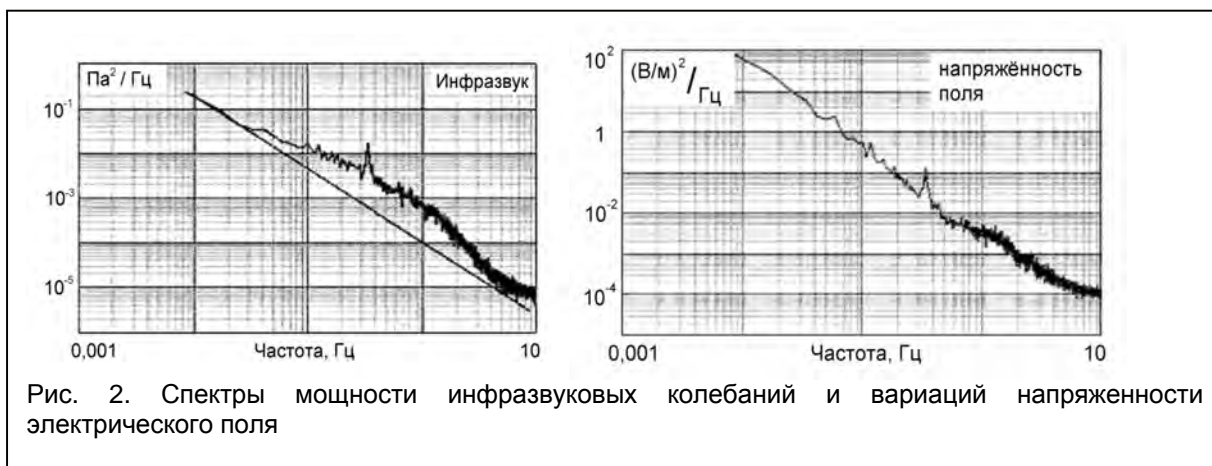


Рис. 2. Спектры мощности инфразвуковых колебаний и вариаций напряженности электрического поля

В работе [6] было показано, что наблюдается приблизительная пропорциональность амплитуды возмущений электрического поля, параметров акустической волны и концентрации заряженных частиц в приземном слое атмосферы. Оценки амплитуды возмущений напряженности электрического

$$\Delta E \approx \frac{\rho_0 l \Delta P}{\varepsilon_0 \rho_a U^2}$$

поля могут быть найдены из выражения , которое справедливо при условии $\lambda + \gg l$, т.е. длина низкочастотной акустической волны $\lambda +$ много больше характерного размера l турбулентного электродного слоя, где ρ_0 – плотность объемного электрического заряда в приземном слое атмосферы, U – скорость распространения акустической волны, ΔP – амплитуда давления в волне, ρ_a – плотность воздуха, ε_0 – электрическая постоянная. Длина инфразвуковой волны, генерируемой колебаниями водной поверхности (микробаромы), в нашем случае составляет $\lambda + \sim 800 - 1600$ м, характерный размер турбулентного электродного слоя $l \sim 10 - 100$ м. При значениях $\rho_0 = 500$ пКл/м³, амплитуде $\Delta P = 1$ Па, получаем значение возмущений электрического поля $\Delta E = 50 - 500$ мВ/м, что соответствует величинам, зафиксированным при проведении наблюдений.

Анализ полученных данных показал, что прохождение циклона привело к возникновению микробаром над акваторией озера. Были зафиксированы синхронные вариации уровней инфразвука и напряженности электрического поля в частотном диапазоне микробаром. В рассматриваемом случае вариации поля давления приводят к изменениям объемного электрического заряда в приземном слое атмосферы, и как следствие, к изменению напряженности электрического поля.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 12-05-00578

Литература

1. Бреховских Л.М. Звуковые волны под водой, обусловленные поверхностными волнами в океане. // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1966, Т. 2, №. 9, С.970-980.
2. Рыбнов Ю.С., Харламов В.А., Евменов В.Ф. Инфразвуковая система регистрации акустико-гравитационных волн // В сб.: Динамические процессы в системе внутренних и внешних взаимодействующих геосфер. М.: ИДГ РАН. 2005. с. 29-31.
3. Рыбнов Ю.С., Соловьев С.П. Исследование возмущений электрического и акустико-гравитационного полей при прохождении атмосферного фронта //Сб. трудов VI Российской конференции по атмосферному электричеству. Н.-Новгород, 2007. с.233-234.
4. Соловьев С.П., Барышев В.И., Ваг Л.Л. и др. Аппаратурный комплекс для регистрации низкочастотных электрических и магнитных полей // В сб.: Нестационарные процессы в верхних и нижних оболочках Земли. М.: ИДГ РАН. 2002. с. 609-621.
5. Соловьев С.П., Рыбнов Ю.С. Возмущения электрического поля и генерация акустико-гравитационных волн, обусловленные приближением атмосферного фронта // В сб. «Геофизика межгеосферных взаимодействий». ГЕОС, ИДГ РАН, 2008, с.95-97.
6. Соловьев С.П., Сурков В.В. Электрические возмущения в приземном слое атмосферы, обусловленные воздушной ударной волной // ФГВ. 1994. Т. 30. № 1. С. 117-121.
7. Donn W. Natural infrasound of five second period. // Nature, 1967, V. 215, N. 5109. P. 1469-1470.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗРЯДОВ МОЛНИЙ В РАЙОНАХ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ЦЕЛЯХ СНИЖЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ УЩЕРБОВ ОТ ПРИРОДНЫХ КАТАСТРОФ

Л.В. Сорокин

Российский университет дружбы народов
leonid.plasma@gmail.com

Изменение климата приводит к увеличению перепадов температур между отдельными областями на планете, что ведет к резкому росту числа неблагоприятных погодных явлений (более чем, в два раза за прошедшие 10 лет). Наводнения, засухи и лесные пожары не только увеличиваются количественно, – они расширяют свою географию в районы, ранее не свойственные им. Соответственно возрастает экономический ущерб от неблагоприятных погодных явлений.

В качестве примера можно отметить блокирующий антициклон над Россией в 2010 г. Катастрофическая засуха привела к серьезным потерям в сельском хозяйстве и создала условия для распространения лесных пожаров в России. В тоже самое время Европа была подвержена сильному наводнению; при этом особенно пострадали Польша и Австрия.

В 2011 и 2012 гг. страны Европейского Союза оказались подвержены сильной засухе и лесным пожарам, а в Краснодарском крае произошли два катастрофических наводнения (6-7 июля и 22 августа 2012 г.), повлекшие человеческие жертвы и разрушение зданий в населенных пунктах. Одной из причин этих наводнений являются интенсивные грозовые явления, приводящие к выпадению аномального объема осадков.

Факторами, существенно усиливающими объемы выпадающих осадков, является длительная подпитка грозового фронта горячим и влажным воздухом с моря, а также снижение скорости движения грозового фронта в районе населенного пункта.

Подобная метеорологическая ситуация наблюдалась в 2008 г. во Франции в районе города Авиньон и была зафиксирована инструментальными средствами наблюдения во время кампании EuroSprite-2008. Существенными отличиями данного метеорологического феномена являлись нахождение атмосферного процесса на одном месте на протяжении трех суток и наличие в данном районе сейсмической активности. Из изображения облачности в инфракрасном диапазоне (Sat24.com) на рисунке 1 хорошо видно, что место образования облачности находится на одном месте, а снос облаков происходит по направлению ветра в северо-восточном направлении. Данные радара (Meteox.com) наглядно иллюстрируют данный феномен (рис. 2), показывая как наиболее интенсивное образование облачности происходит в районе г. Авиньон, Франция. Национальная система регистрации молний Франции (Meteorage) зарегистрировала грозовое явление высокой интенсивности в данном районе.

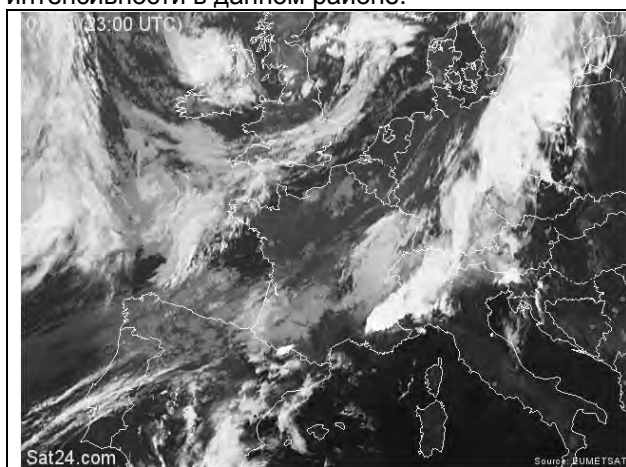


Рис. 1. Изображение облачности в инфракрасном диапазоне (Sat24.com 23:00 UTC 3 сентября, или 01:00 CET 4 сентября 2008 г.)

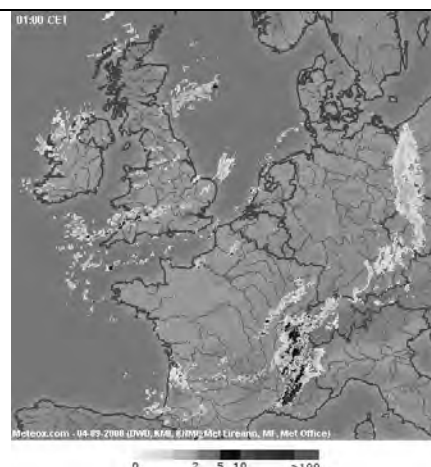


Рис. 2. Данные радара (Meteox.com 23:00 UTC 3 сентября, или 01:00 CET 4 сентября 2008)

Оптические наблюдения за грозовой активностью проводились с острова Корсика высокочувствительными камерами (Corsican System Instrument, EuroSprite-2008 Campaign). Во время всего периода наблюдения оптическая система была наведена на область с максимальным контрастом изображения радара (рис. 2; выделено красным цветом). Интенсивное грозовое явление наблюдалось со 2 по 5 сентября 2008 г. [5], и на протяжении данного интервала времени его фокус оставался практически на одном месте. За время наблюдения оптическая система зарегистрировала два Эльфа и 84 Спрайта (TLE) (рис. 3), расположенных в компактной области диаметром в три

угловых градуса с центром в координатах: Lat(mean)=45.17, Lon(mean)=5.97. Пример оптической регистрации Спрайта 3 сентября 2008 представлен на рис. 4. За двое суток до этого события в этом месте было зарегистрировано слабое землетрясение (Lat=45.982, Lon=6.165, Depth=2 km, Mw=2.5 (NEIC), 30 августа 2008 г., 2:33:06.6 U.T.) (рис. 3). Сейсмическая активность в этом районе продолжалась еще 4 месяца, а начиная с 2009 г., наступило временное затишье. Следующая группа более сильных землетрясений с магнитудой более 4 началась в этом районе 26 февраля 2012 г. (Lat=44.538, Lon=6.658, Depth=2 km, Mw=4.2 (NEIC), 22:37:55.79 U.T.) и продолжилась в марте 2012 г.

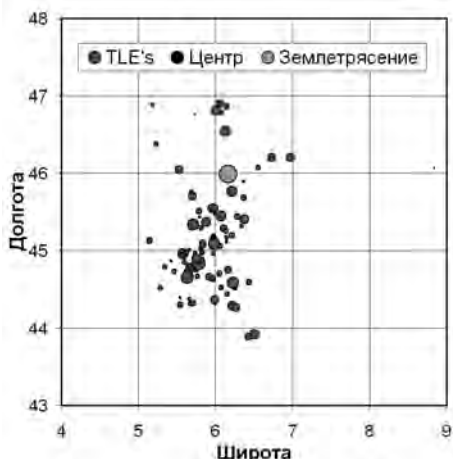


Рис. 3. Компактная группа TLE's, состоящая из двух Эльфов и 84 Спрайтов (2-5 сентября 2008, EuroSprite-2008 Campaign)



Рис. 4. Видео регистрация Спрайта (EuroSprite-2008 Campaign, Corsican System, 21:15:49.072 UTC 3 сентября 2008 г.)

Тот факт, что интенсивное грозовое явление начало развиваться сразу после землетрясения и произошло в сейсмически активном районе, подтверждает связь между сейсмической и грозовой активностями. Увеличение сейсмической активности в данном районе в декабре 2012 г. позволяет сделать вывод, что анализ плотности разрядов молний совместно с наблюдением TLE может служить индикатором наличия сейсмически активной зоны, активных разломов и напряжения в коре.

Метеорологические наблюдения за грозами совместно с регистрацией разрядов молний и наблюдением TLE могут быть использованы для выявления сейсмически активных зон и прогнозирования мест возможных землетрясений. В предыдущих работах автора [1, 2] был проведен пространственно-временной анализ связи между сейсмической активностью с разрядами молний и наблюдением TLE. Данная взаимосвязь имеет место благодаря аномальному сейсмо-электромагнитному эффекту [3]. Сейсмические волны от землетрясений способны синхронизировать отрицательные и положительные разряды молний, а также связанные с ними TLE [4, 5].

Все выше сказанное имеет большое практическое значение для поиска новых предвестников землетрясений с целью снижения экономического ущерба от природных катастроф.

Литература

1. Sorokin L.V. Earthquake Space-Time Relations with Positive Lightning and High-Altitude Atmospheric Discharges // Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series Physic, 2002, 10(1), pp. 163-169 (in Russian).
2. Sorokin L.V. Triggering of Positive Lightning and High-Altitude Atmospheric Discharges // Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on "Sprites, Elves and Intense Lightning Discharges" Edited by Martin Fullenkug, Eugene A. Mareev and Michael J. Rycroft. Corte, Corsica, France 24-31 July 2004, NATO Science Series II: Mathematics, Physics and Chemistry – Springer 2006. Vol. 225, pp. 384-385.
3. Sorokin L.V. Anomalous seismo-electromagnetic emission related with seismic waves // The proceedings of "7th International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology". Saint-Petersburg, 26-29 June 2007, pages 293-296, DOI: 10.1109/EMCECO.2007.4371715.
4. Sorokin L.V. Lightning triggering related with seismic waves // The proceedings of "7th International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology". Saint-Petersburg, 26-29 June 2007, pages 297-300, DOI: 10.1109/EMCECO.2007.4371716
5. Sorokin L. V. Seismo-electromagnetic emissions related to seismic waves can trigger TLEs // Coupling of thunderstorms and lightning discharges to Near-Earth Space. Editors Norma B. Crosby, Tai-Yin Huang, Michael J. Rycroft. Proceedings of the Workshop (Corte, France, 23-27 June 2008), Melville, New York, 2009, AIP Conference proceedings. Vol. 1118, pp. 58-67.

О ВЛИЯНИИ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАКА НА ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГРОЗ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ

Е.Н. Станкова, Н.О. Раба
Санкт-Петербургский государственный университет
lena@csa.ru

Реальные данные аэрологического зондирования и данные аэропортов СНГ о фактическом наличии и параметрах конвективных явлений были использованы для верификации нестационарной модели конвективного облака и ее настройки для прогноза предикторов, используемых в методах прогноза гроз.

Модель представляет собой полуторамерную модель конвективного облака с подробным описанием микрофизических процессов для жидкой и твердой фаз.[1-3]

Область конвективных течений моделируется двумя концентрическими цилиндрами. Внутренний цилиндр соответствует области с восходящими потоками (облачной области), внешний цилиндр — окружающей области с нисходящими потоками (безоблачная область). Все характеристики облака (скорость, температура, давление, плотность, содержание пара, облачных капель, дождевых капель, града) усредняются по сечению цилиндров.

Микрофизический блок включает в рассмотрение следующие типы частиц: аэрозольные частицы, являющиеся ядрами конденсации, градины, снежинки, крупа и 3 типа ледяных кристаллов.

Облачные частицы взаимодействуют друг с другом за счет следующих процессов: нуклеация, замерзание капелек, таяние ледяных частиц, конденсация на поверхности частиц, испарение с поверхности частиц, коагуляция. При столкновении и слиянии двух частиц друг с другом образуется частица, тип которой зависит от типов столкнувшихся частиц, их масс, температуры.

Результаты численных экспериментов показали, что модель в состоянии описать эволюцию смешанного конвективного облака, развивающегося при различных вертикальных стратификациях температуры и влажности во внешней атмосфере. Примеры пространственно-временных изменений вертикальной скорости и спектра облачных капель представлены на рис.1,2.

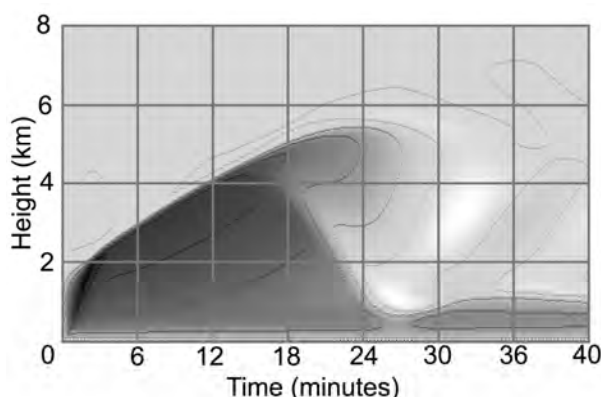


Рис.1. Пример пространственно-временного распределения вертикальной скорости (м/с, максимальное значение равно 12 м/с)

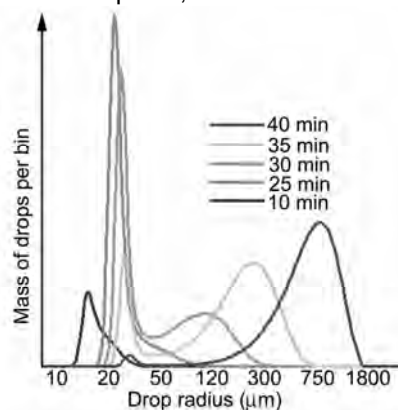


Рис.2 Пример эволюции спектра капель во времени

Для использования модели в целях прогноза опасных конвективных явлений, прежде всего гроз, ее было необходимо верифицировать, используя реальные данные аэрологического зондирования и данные аэропортов СНГ о фактическом наличии и параметрах конкретных конвективных явлений. При сопоставлении реальных и модельных данных оказалось, что результаты сильно зависят от высоты уровня конденсации, поскольку знание этого параметра необходимо для корректного задания начальных данных модели. Было проанализировано, как решалась данная проблема при оперативном прогнозировании гроз в аэропортах стран СНГ.

Оказалось, что вплоть до настоящего времени прогноз опасных явлений, связанных с развитием конвекции (гроза, град, шквал) осуществляется с помощью полуэмпирических методов Пескова, Ягудина, Решетова, Лебедевой и др.. Они основаны на расчете комплексных коэффициентов, которые являются функциями некоторых параметров облака, таких как, например, температура и высота верхней границы облака, значение температуры на уровне определенной изобары и др. Такого рода параметры определяются либо с помощью синоптической карты, либо с помощью аэрологической диаграммы, по которой можно определить возможное развитие облака, начиная от уровня конденсации. Небольшое изменение высоты уровня конденсации достаточно часто приводит

к значительному изменению высоты верхней границы облака и, соответственно, к значительному изменению остальных его (облака) параметров.

Был проведен анализ оправдываемости прогноза гроз с помощью нескольких методов, использующих различные алгоритмы определения нижней границы конвективного облака. Было показано, что наилучшие результаты получаются при использовании метода Лебедевой, где высота уровня конденсации определялась по-разному в зависимости от типа конвекции, каждый из которых характеризуется особым видом кривых стратификации температуры и влажности.

Литература

1. Раба Н.О., Станкова Е.Н. Исследование влияния компенсирующего нисходящего потока, сопутствующего конвективным течениям, на жизненный цикл облака с помощью полуторомерной модели с двумя цилиндрами. Труды ГГО. 2009, Вып.559. С. 192-209
2. N. Raba, E. Stankova On the Possibilities of Multi-Core Processor Use for Real-Time Forecast of Dangerous Convective Phenomena. Taniar et al. (Eds.): ICCSA 2010, LNCS 6017, pp. 130 – 138, 2010.
3. N. Raba, E. Stankova On the Problem of Numerical Modeling of Dangerous Convective Phenomena: Possibilities of Real-Time Forecast with the Help of Multi-core Processors. Murgante et al. (Eds.): ICCSA 2011, LNCS 6786, pp. 633 – 642, 2011.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ АСПЕКТОВ МОЛНИЕВОЙ АКТИВНОСТИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ С ИЗМЕНЕНИЯМИ КЛИМАТА И ГАЗОВОГО СОСТАВА АТМОСФЕРЫ

Т.В. Суходолов¹, С.П. Смышляев¹, Е.А. Мареев²

1 - РГГМУ

2 - ИГФ РАН

timon_stv@rambler.ru

Исследованию поведения молниевой активности в будущем более теплом климате посвящен ряд работ, однако, возникающие при этом, обратные связи, как правило, не рассматриваются и плохо изучены. Изменение интенсивности молниевой активности влечет за собой изменение выбросов продуктов реакций, проходящих в разогретом канале молнии. В частности, окислов азота, которые в стратосфере способствуют разрушению озона, а в тропосфере, где озон имеет парниковые свойства – его образованию [1, 2]. Изменение газового состава тропосферы и нижней стратосферы приведет к изменению нагрева атмосферы и, соответственно, изменению переноса тепла и массы, что, в свою очередь, скажется на условиях развития конвективных облаков. Таким образом, образуется нелинейная обратная связь между изменением климата и изменением молниевой активности.

В работе используется совместная глобальная трехмерная химико-климатическая модель, разработанная в ИВМ РАН и РГГМУ. Особенность данной модели состоит в интерактивном обмене расчетных данных модели общей циркуляции атмосферы и модели газового состава атмосферы, что позволяет учитывать взаимодействия фотохимических и динамических процессов в атмосфере на каждом модельном шаге по времени (обратные связи между содержанием радиационно-активных малых газов и атмосферным переносом) [3].

Грозовая продукция окислов азота является единственным крупным, удаленным от быстрого приповерхностного разрушения, источником [9]. На данный момент глобальная продукция оценивается в 2-8 ТгN/г. В данной модели грозовая продукция окислов азота учитывается на основе климатологических оценок [7]. Это распределение долгое время использовалось в химико-климатических моделях, однако результаты последних исследований и появление глобальной спутниковой информации о молниевой активности показали, что необходимо пересмотреть эти оценки и использовать в модели не климатологические данные, а физические параметризации, позволяющие учесть локальные особенности протекания молниевых эффектов и возникающие при этом обратные связи [9].

Для этой цели был проведен обзор существующих методов учета продуктов молниевых эффектов (LNO_x). Поскольку молниевая активность является следствием конвективных процессов, то успешность параметризации LNO_x напрямую зависит от способности модели описывать конвекцию. Были проведены расчеты с тремя параметризациями: на основе высоты верхней границы [8], толщины слоя холодного облака [6] и конвективных осадков [4]. Во всех трех случаях были отмечены схожие отклонения по сравнению со спутниковыми данными, использовать в дальнейшем было решено параметризацию на основе высоты верхней границы облака, как имеющую наименьшие отклонения.

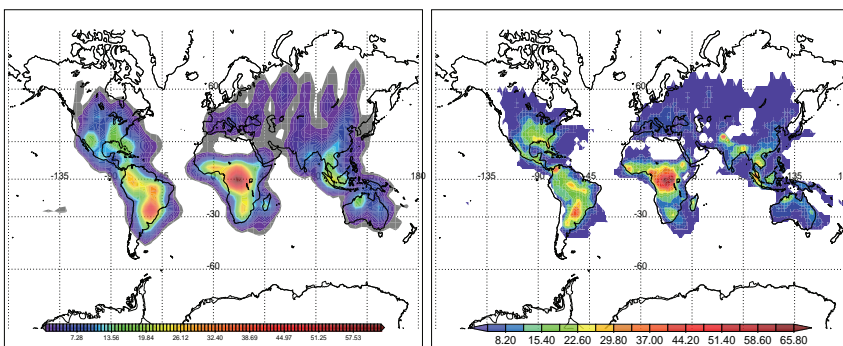


Рис. 1. Молниевая активность (количество вспышек/км²/с).
Результаты моделирования (слева) и спутниковые данные [5] (справа).

Поскольку расхождения наблюдались каждый модельный год, для лучшего соответствия были рассчитаны на основе спутниковой информации корректировочные коэффициенты для каждой модельной точки каждого месяца. В результате получилось хорошее приближение к наблюдениям, позволяющее, вдобавок, учесть и обратные связи (рис. 1).

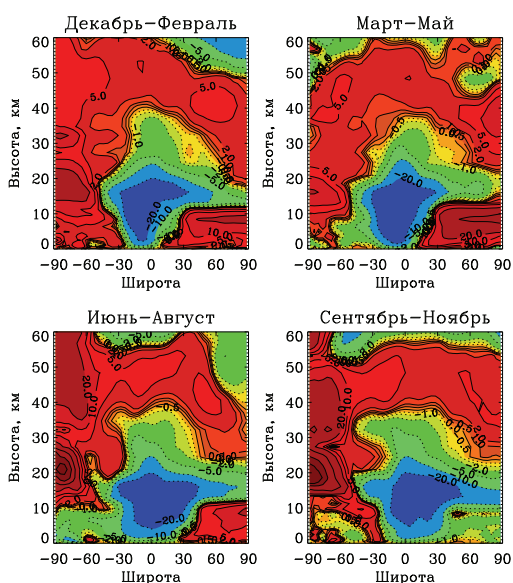


Рис. 2. Процентное изменение NO_x при изменении горизонтального распределения LNO_x.

При определении количества образовавшихся окислов азота принималось предположение, что все молниевые вспышки имеют одинаковую структуру и производят фиксированное количество LNO_x, оцененное в результате обзора экспериментальных исследований [9] и равное 250 моль за вспышку. Считалось, что вспышки облако-земля производят такое же количество LNO_x, как и внутриоблачные вспышки, а среднеширотные вспышки в 4 раза более продуктивнее экваториальных [9]. Таким образом, было получено новое распределение LNO_x, основным отличием которого от старого являются перераспределение по очагам молниевой активности в Африке, Южной Америке и Юго-Восточной Азии и смещение значительной части выбросов в верхние широты.

Для исследования обратных связей в атмосфере были проведены эксперименты для периода 1979-2003 г. с фиксированным на уровне 5 TgN/год распределением LNO_x и с нефиксированным, т.е. с учетом обратной связи.

Результаты показали, что только лишь за счет изменения горизонтального распределения LNO_x, вариации в концентрациях озона могут составлять 10-20%, а вариации температуры – 2-4°C. Причем если в тропосфере, как и предполагалось, наблюдается положительная обратная связь озона и окислов азота, то в стратосфере предполагаемая отрицательная обратная связь не наблюдается. При накоплении окислов азота в стратосфере происходит либо совсем слабое уменьшение, либо увеличение содержания озона.

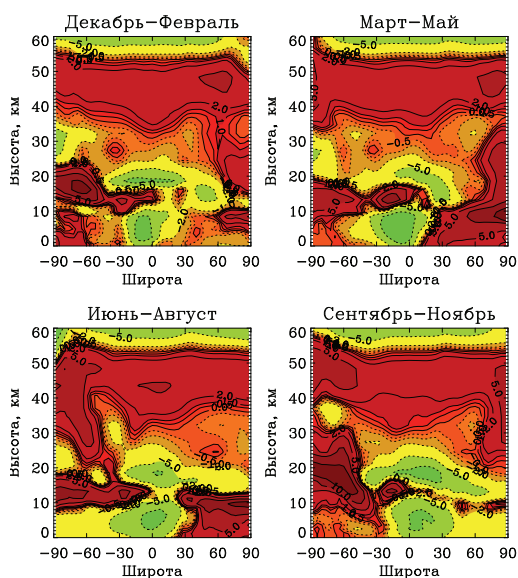


Рис. 3. Процентное изменение озона при изменении горизонтального распределения LNO_x.

Дополнительные расчеты позволили определить, что в стратосфере реакция озона на изменение LNO_x обуславливается взаимодействием окислов азота с другими озоноразрушающими компонентами, такими как ClO и OH. Поэтому эффект сильно различается в зависимости от того, какой каталитический цикл разрушения озона доминирует на данной высоте. Сравнение результатов моделирования с фиксированными оценками и с обратными связями показало, что включение обратных связей с молниевой активностью вносит существенные поправки в локальное изменение полей МГС и температуры, однако сильное изменение трендов концентраций МГС, температуры и грозовой активности не наблюдается.

Работа выполнена в РГГМУ при поддержке лаборатории спутниковой океанографии РГГМУ, федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» и грантов Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ).

Литература

1. Александров Э.Л., Израэль Ю.А., Кароль И.Л. и др. Озонный щит Земли и его изменения. СПб: Гидрометеиздат, 1992. 288 с.
2. Брасье Г., Соломон С. Аэрономия средней атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 291 с.
3. Галин В.Я., Смышляев С.П., Володин Е.М. Совместная химико-климатическая модель атмосферы // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43. № 4. С. 437–452.
4. Allen, D.J., Pickering, K.E.: Evaluation of lightning flash rate parameterizations for use in a global chemical transport model. J. Geophys. Res. 107, 4711 (2002). doi:10.1029/2002JD002066.
5. Christian, H. J., Blakeslee, R. J., Boccippio, D. J., et al.: Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector, J. Geophys. Res., 108, 4005, doi:10.1029/2002JD002347, 2003.
6. Fulyan, J.M., Del Genio, A.D.: Relationships between lightning and properties of convective cloud clusters. Geophys. Res. Lett. 34, L15705 (2007). doi:10.1029/2007GL030227
7. Price, C., Penner, J., and Prather, M.: NOx from lightning. 1. Global distribution based on lightning physics, J. Geophys. Res., 102, 5929–5941, doi:10.1029/96JD03504, 1997b.
8. Price, C., Rind, D.: A simple lightning parameterization for calculating global lightning distributions. J. Geophys. Res. 97, 9919–9933 (1992). doi:10.1029/92JD00719
9. Schumann U., Huntrieser H. The global lightning-induced nitrogen oxides source // Atmos. Chem. Phys. 2007. V. 7. № 14. P. 3823–3907.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА УНИПОЛЯРНОГО ОБЛАКА

В.С. Сысоев¹, А.Ю. Костинский², В.Ю. Климашев³, А.А. Емельянов³, Д.И. Иудин⁴

1 - Всероссийский электротехнический институт, Москва, Россия

2 - Российская венчурная компания, Москва, Россия

3 - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной физики Российской академии наук, Нижний Новгород

4 - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной физики Российской академии наук, Нижний Новгород; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород; Российский новый университет, Москва, Россия
iudin_di@nirfi.sci-nnov.ru

Введение.

На площадке Комплексного высоковольтного стенда ВНИЦ ВЭИ (г. Истра) [1] (см. рис. 1) удалось создать установку генерирующую униполярное облако. Для этого была разработана и создана система (на основе высоковольтного знакопеременного питания генератора гидратированных ионов) создания областей униполярного заряженного аэрозоля и системы регистрации параметров возникающих разрядов [1,2]. Основные усилия направлены здесь на поиск возможных механизмов усиления локальных электрических полей и инициации искровых разрядов между униполярным облаком и землей [3,4].

Модель.

Было развито квазистатическое описание ансамбля униполярного заряженного аэрозоля, основанное на выполнении следующих условий:

$$Q \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)^{-1} \gg \frac{L}{c} \quad \text{и} \quad \frac{n^{-1/3}}{u} \gg \frac{L}{c}, \quad (1)$$

где L - линейные размеры грозовой ячейки, u - характерная скорость частиц и c - скорость света.

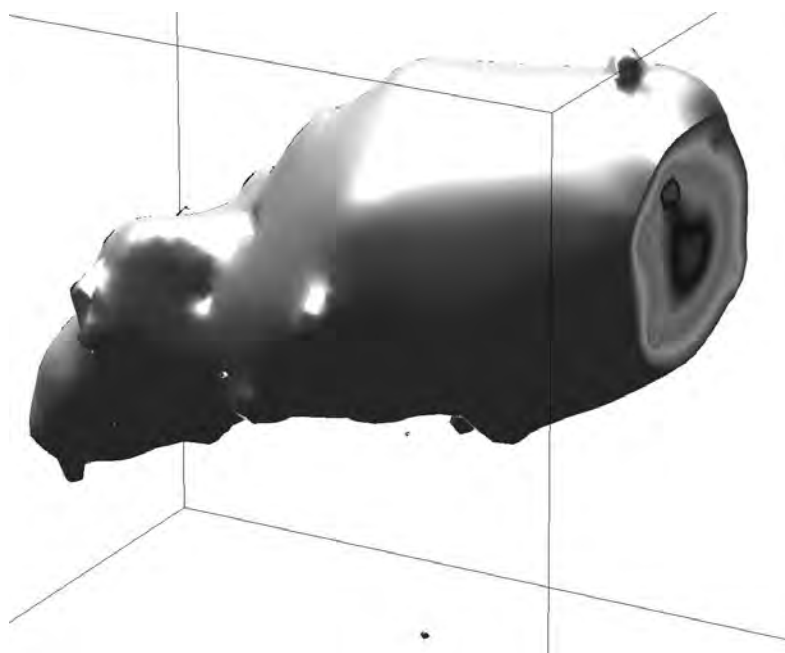


Рис. 1. Распределение потенциала модельного униполярного облака

квазиэлектростатическое поле, создаваемое заряженным аэрозолем, характеризуется значительными пространственными флуктуациями и обладает свойством масштабной инвариантности. При этом среднеквадратичные флуктуации разности потенциалов между пространственно разнесенными областями системы пропорциональны корню квадратному из ее линейных размеров и могут достигать значительных величин даже в отсутствие регулярного поля. При этом интенсивность флуктуаций пропорциональна концентрации аэрозоля и квадрату характерной абсолютной величины заряда составляющих его частиц.

Результаты численного моделирования.

На основе квазиэлектростатического подхода было проведено численное моделирование электрической структуры униполярного облака. На рис. 1 представлено распределение электрического потенциала униполярного облака. На рис. 2 отображены уровни равной электростатической энергии униполярного облака с учетом отражения от Земли.

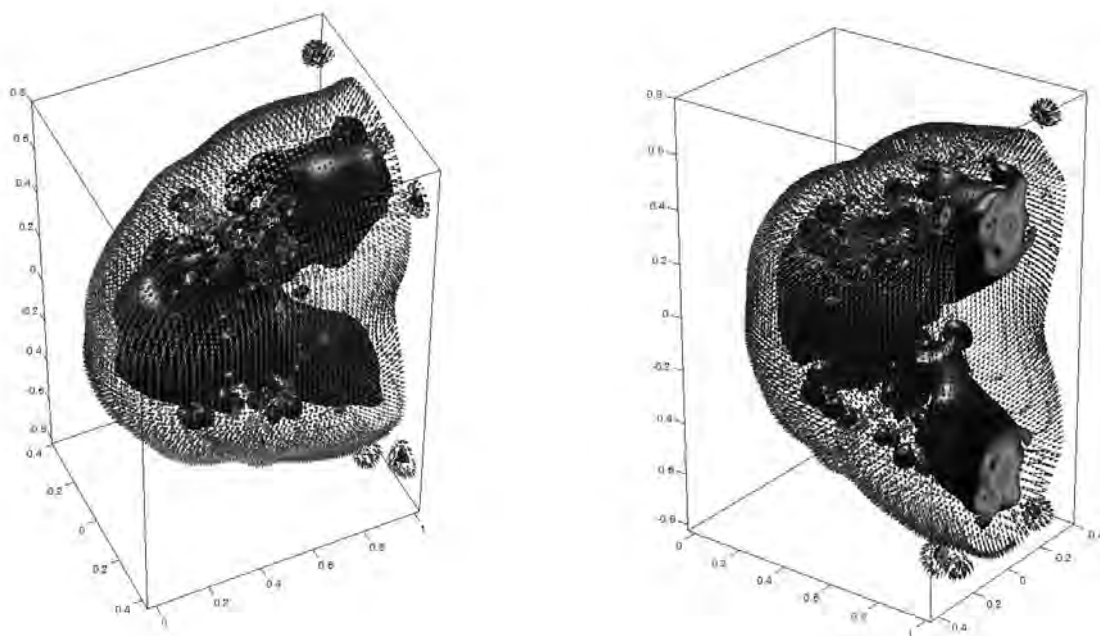


Рис. 2. Структура электрического поля униполярного облака с учетом отражения от Земли

Хорошо видны сгустки силовых линий, которые отражают исключительную нерегулярность поля униполярного облака и приурочены к зонам инициации стримеров [5].

Настоящая работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 11-01-97028; при поддержке Министерства образования и науки РФ (ГК № 16.740.11.0488, ГК № 11.519.11.5017 и ГК № 16.518.11.7006) и гранта РФФИ № 10-05-01045.

ЛИТЕРАТУРА

[1] WWW.VEI-ISTRA.RU

[2] К.В.Анцупов, И.П.Верещагин, Л.М.Макальский, Н.И.Петров В.С.Сысоев. Исследование положительной стримерной короны, возникающей между заземленной плоскостью и заряженным аэрозольным облаком. *Письма в ЖТФ, том 17, вып. 18, 1991, с.80-81.*

[3] Iudin D.I. Fractal dynamics of electric discharges in a thundercloud / D. I. Iudin, V. Yu. Trakhtengerts, and M. Hayakawa // 2003, Phys. Rev. E 68, 016601.

[4] Мареев Е. А. Современные проблемы исследования грозового электричества. / Е. А. Мареев, Иудин Д.И., Трахтенгерц В.Ю., Сорокин А.Е., Шаталина М.С. // Проектирование и технология электронных средств, с.7 - 16, 2004.

[5] Petersen D. A brief review of the problem of lightning initiation and a hypothesis of initial lightning leader formation / Petersen D., Bailey M., Beasley W. H., and Hallett J. // JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 113, D17205, doi:10.1029/2007JD009036, 2008.

ОГНИ СВЯТОГО ЭЛЬМА: ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

В.С. Сысоев¹, А.Ю. Костинский², Л.М. Макальский¹, М.Г. Андреев¹, М.У. Булатов¹, Д.И. Сухаревский¹,
Е.А. Мареев³

1 - Всероссийский электротехнический институт, Москва, Россия

2 - Российская венчурная компания, Москва, Россия

*3 - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной физики
Российской академии наук, Нижний Новгород
syssoev467@mail.ru*

Одно из наиболее известных и редко встречающихся явлений атмосферного электричества носит название огней святого Эльма (ОСЭ). До сих пор его природа требует дополнительного изучения. Традиционно возникновение и существование ОСЭ, наиболее выразительных на море и в горах, связывают с положительным коронным разрядом, возникающим с возвышающихся над землей предметов под действием электрического поля грозового облака [1], однако, развивается направление, которое предполагает значительную роль заряженных капель в свечении ОСЭ [2]. Первой отличительной особенностью ОСЭ является наличие достаточно протяженных областей свечения, достигающих десятков сантиметров в длину и существующих минуты. Второй особенностью ОСЭ является относительно медленно спадающее внешнее облачное электрическое поле (10-1000 В/см, [4]), в котором распространяются разряды, развивающиеся с предметов. Эта конфигурация значительно отличается от резко уменьшающегося при удалении от электрода поля, возникающего обычно при подаче напряжения на заостренный электрод в лабораторных условиях.

На установке модель грозовой ячейки Комплексного высоковольтного стенда ВНИЦ ВЭИ (г. Истра) [3, 5] удалось создать с помощью облака заряженного аэрозоля (ОЗА) медленно спадающее электрическое поле (индуцирующее разряды с окружающих предметов), моделирующее поле, в котором возникают в природных условиях ОСЭ. Разряды горели стабильно минуты на разных расстояниях.

При эксперименте в область под отрицательно заряженный аэрозоль на заземленную плоскость через измерительный омический шунт помещался проводящий стержень с полусферическим окончанием радиусом 7,5 мм (рис.1), характерным для снастей парусных судов, где ОСЭ проявлялись наиболее ярко: флюгеров, флагштоков, металлических втулок шкивов клотика, шкивов блоков, расположенных на ноках рей и т.д. При этом, зарядка аэрозоля осуществлялась до значений, исключающих возникновение искрового разряда с ОЗА, но близкого к ним и составляло значение около 1 кВ/см у земли на расстоянии 50 см от стержня высотой 10 см и диаметром 1,5 см.

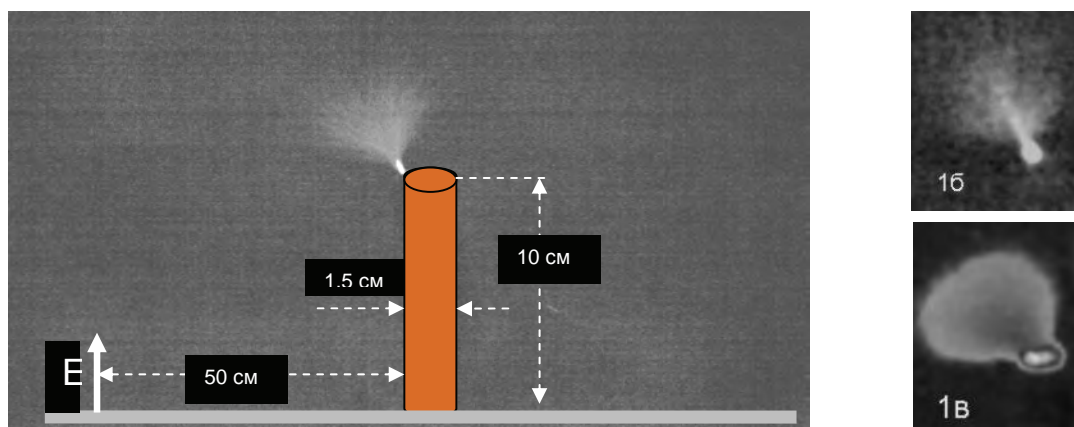


Рис.1а. Схема проведения эксперимента. Е – измеритель напряженности электрического поля (флюксметр), 1б – необработанная фотография ОСЭ, 1в – обработанная фотография ОСЭ.

При эксперименте фиксировались значения электрического поля в окрестности стержня и токи, протекающие через него. Фотографирование ОСЭ осуществлялось с помощью цифрового фотоаппарата с высокой чувствительностью и пространственным разрешением.

Результаты измерений

При включении установки и по мере повышения степени зарядки ОЗА с конца стержня возникало устойчивое свечение, с характерными размерами 3-7 см. Электрическое поле в окрестности стержня в момент проведения измерений составляло 1 кВ/см (рис.1).

По внешнему виду корона не зависела от расстояния до ОЗА. На фотографиях рис.1 хорошо виден стебель короны. Пространственное распределение разряда находилось в конусе с углом при вершине 70-80°, что больше, чем у короны со стержня в лабораторных условиях.

Обработка осциллограмм показывает, что ОСЭ представляют собой последовательность положительных стримеров, развивающихся в сторону отрицательно заряженного ОЗА. Частота возникновения стримеров составляет 400-500 Гц. Средний ток через стержень ~ 20 мкА. На рис.2 представлена характерная осциллограмма тока одиночного стримера ОСЭ, зафиксированного с помощью цифрового осциллографа Tektronix с полосой 500 МГц.

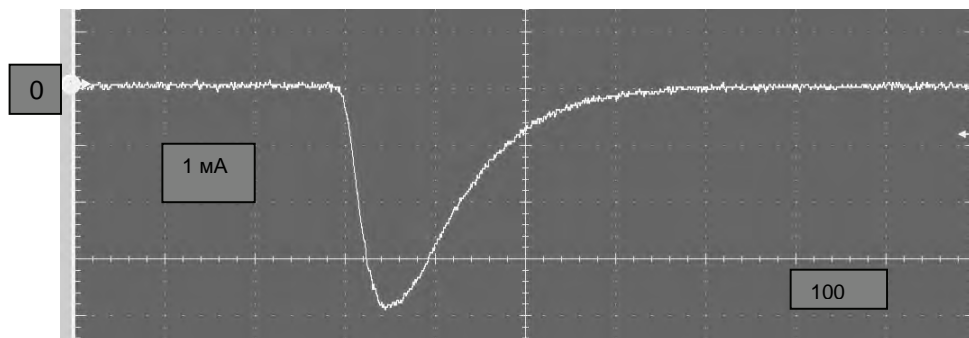


Рис. 2. Осциллограммы токов ОСЭ при различных скоростях развертки

Характерные параметры максимума тока стримера ~ 4 мА с фронтом ~ 45 нс, длительностью на полуспаде ~ 140 нс.

С учётом результатов эксперимента разрабатывается численная динамическая модель коронного разряда (ОСЭ), обобщающая модель фрактального дерева разряда [6,7] на случай стримерной короны.

Выводы

В работе впервые установлена стримерная природа ОСЭ. Таким образом, можно сделать вывод в пользу стримерной короны, как наиболее адекватной модели ОСЭ, т.к. зафиксированные одиночные разряды по форме импульса, свечению, частоте следования близки к параметрам стримерной короны. Наличие «стебля» свечения разряда также говорит в пользу того, что ОСЭ являются стримерной короной.

Работа подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках госконтракта по мероприятию 5.2/1.8 ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2007-2013 годы», в рамках госконтракта № 16.740.11.0488 ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» и РФФИ в рамках проекта № 11-01-97028.

Литература

1. Стекольников, И.С. Физика молнии и грозозащита – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1943.
2. Б.В. Войцеховский, Б.Б. Войцеховский, Свечение в потоке заряженных капель. Письма в ЖЭТФ, т.23, вып.1, с.37-39, 05.01.1976 г.
3. WWW.VEI-ISTRA.RU
4. И.М. Имянитов, Атмосферное электричество (статья), Физическая энциклопедия, т.1, стр.146, Наука,
5. К.В.Анцупов, И.П.Верещагин, Л.М.Макальский, Н.И.Петров, В.С.Сысоев. Исследование положительной стримерной короны, возникающей между заземленной плоскостью и заряженным аэрозольным облаком. Письма в ЖТФ, том 17, вып. 18, 1991, с.80-81.
6. Iudin D. I., Trakhtengerts V. Yu., and Hayakawa M., Fractal dynamics of electric discharges in a thundercloud, 2003, Phys. Rev. E 68, 016601 (2003)
7. Hayakawa, M., D. I. Iudin, and V. Y. Trakhtengerts (2008), Modeling of thundercloud VHF/UHF radiation on the lightning preliminary break-down stage, J. Atmos. Sol. Terr. Phys., 70,1660–1668, doi:10.1016/j.jastp.2008.06.011.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВСТРЕЧНОГО ЛИДЕРА И ЕГО ВЛИЯНИЯ НА МОЛНИЕЗАЩИЩЕННОСТЬ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ЛАБОРАТОРНОГО ФИЗИЧЕСКОГО КРУПНОМАСШТАБНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.С. Сысоев¹, А.Ю. Костинский², Л.М. Макальский¹, М.Г. Андреев¹, М.У. Булатов¹, Д.И. Сухаревский¹, М.Ю. Наумова¹

1 - Всероссийский электротехнический институт, Москва

*2 - Российская венчурная компания, Москва
syssoev467@mail.ru*

Современные системы молниезащиты как наземных объектов, так и летательных аппаратов не вполне удовлетворяет возросшим требованиям по надежности. Как показывает российский и мировой опыт эксплуатации линий сверхвысокого напряжений (1000 кВ и выше), существенным фактором их выхода из режима работы являются грозовые отключения. Прежде всего, отключения обусловлены прорывом молнии через тросовую защиту, в связи с недостаточной молниезащищенностью проводов. При этом доля грозовых отключений для линий сверхвысокого напряжения может составлять порядка 90 процентов от общего числа отключений.

Современные данные о развитии разряда молнии показывают, что ключевые для молниезащиты сегменты траектории лидера молнии (в частности, «выбор» точки поражения) существенным образом зависят от конкуренции встречных восходящих лидеров, стартующих как от защищаемого объекта, так и от молниеприемников [1,2]. Поэтому знание условий возникновения встречного лидера и его параметров важны при совершенствовании методик расчета эффективности молниезащитных систем. Это связано с тем, что встречный лидер, как правило, предопределяет точки поражения молнией объекта и влияет на такие значимые параметры, как радиус поражения и высоту ее ориентировки. Поэтому, учёт процессов встречного лидера становится необходимым при совершенствовании стандартов по молниезащите, как для заземленных, так и для изолированных объектов (летательных аппаратов).

В настоящее время много данных о встречных лидерах получено при проведении экспериментов с триггерными молниями [1]. Однако в натуральных условиях получение всесторонних данных о встречном лидере, в силу технических трудностей при измерениях и относительной малочисленности событий сильно затруднено. Поэтому получение новых данных о встречном лидере при экспериментах с длинной искрой, как аналоге некоторых стадий молниевоего разряда в лабораторных условиях, является важным дополнением к натурным наблюдениям молнии.

В работе приводятся результаты экспериментов по измерениям параметров разряда при инициации восходящих и нисходящих лидеров при образовании длинной искры. В одном случае восходящий отрицательный лидер инициируется положительным нисходящим лидером, который распространяется с высоковольтного электрода генератора Маркса в промежутке стержень-стержень и стержень – провод длиной 9 м. Импульс напряжения длиной 7500 мкс формировался с амплитудой $2 \div 4$ МВ. Во втором случае инициация положительного восходящего лидера осуществлялась в

электрическом поле, созданном облаком отрицательно заряженного аэрозоля. В этом случае положительный восходящий лидер инициируется отрицательным нисходящим лидером, стартующим из внутренней области заряженного аэрозоля.

Результаты экспериментов

В проведенных экспериментах исследовались параметры встречных лидеров, возникающих с заземленных и изолированных объектов при исследованиях молниепоражаемости объектов на крупномасштабных моделях с помощью генератора Маркса с напряжением до 4 МВ. На рис.1 приведены фото искровых разрядов с встречными лидерами, полученные с помощью высокочувствительных цифровых фотокамер. Обработка осциллограммы токов встречного лидера (рис.2), с учетом его длины, полученной из фотографии разряда, позволила получить величину его удельного заряда, который составил ~ 30 мкКл/м.

Выводы

Проведенные эксперименты показали, что в лабораторных условиях (с использованием специальных испытательных установок) возможно моделирование процессов возникновения и развития встречных лидеров, как с заземленных объектов, так и с изолированных. При этом наблюдаются все наиболее характерные фазы развития встречных лидеров, возникающих при экспериментах с инициацией молний высотными сооружениями и ракетами с заземлённым проводом. Получены важные параметры встречных лидеров (ток, заряд на единицу длины, напряженность электрического поля) при лабораторных экспериментах с использованием высоковольтного генератора Маркса (длинная искра) и модели грозовой ячейки (с использованием заряженного аэрозоля). Эти данные позволяют приблизиться к пониманию лидерных процессов в реальных грозовых облаках.

Получены новые результаты по исследованию зон защиты стержневого и тросового молниеприемников на крупномасштабных моделях. Показано влияние встречного лидера на этот процесс. Экспериментальные результаты по зонам защиты сравниваются с расчетными по стандартам молниезащиты, принятыми в России.

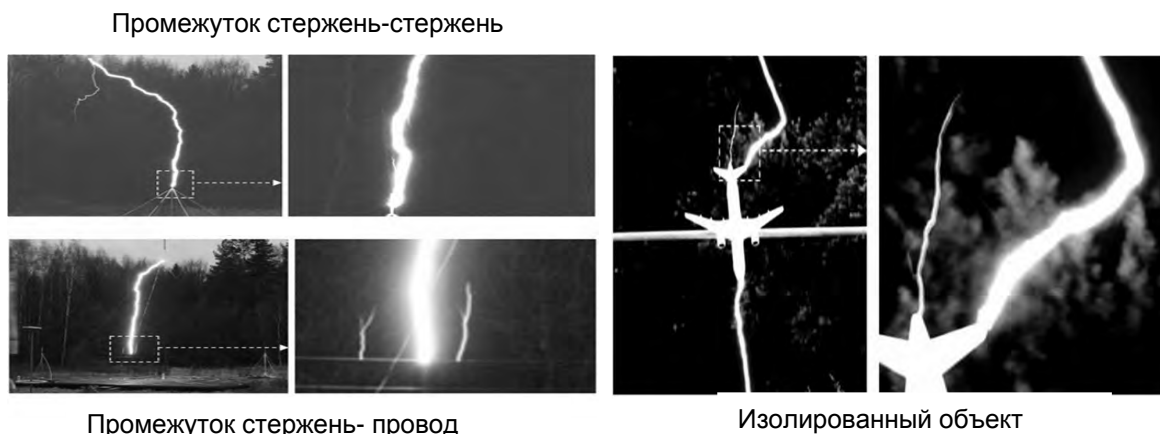


Рис.1. Фото встречных лидеров, зафиксированных при разрядах от генератора Маркса

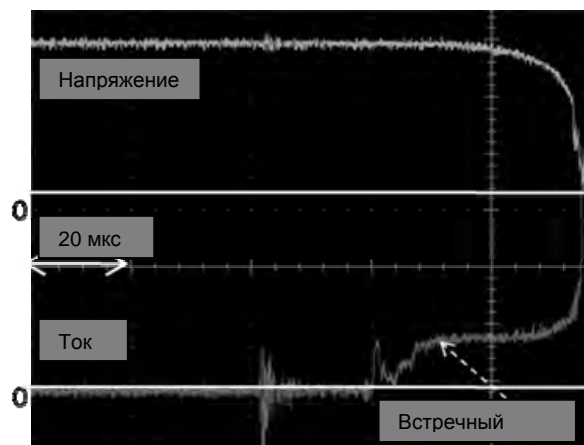


Рис.2. Осциллограмма тока встречного лидера в промежутке стержень-стержень.

Работа подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках госконтрактов по мероприятию 5.2/1.8 и мероприятию 1.9 ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2007-2013 годы».

Литература

V. Rakov, M. Uman. Lightning: physics and effects. 2003, Cambridge University Press, 698pp
V.S.Syssoev, A.Ju.Kostinsky, M.U.Bulatov, D.I.Suharevsky, M.G.Andreev, A.V.Kuhno, L.M.Makalsky, E.A.Mareev. An upward connecting leader at tests of large-scale lightning-rod models. 7th Asia-Pacific International Conference on Lightning, November 1-4, 2011, Chengdu, China p.297

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЖОБЛАЧНОГО РАЗРЯДА В ЛАБОРАТОРНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

В.С. Сысоев¹, Л.М. Макальский¹, М.Г. Андреев¹, М.У. Булатов¹, Д.И. Сухаревский¹, Д.И. Иудин²,
А.Ю. Костинский³

1 - Всероссийский электротехнический институт, Москва, Россия

*2 - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной физики
Российской академии наук, Нижний Новгород*

*3 - Российская венчурная компания, Москва, Россия
syssoev467@mail.ru*

Введение.

Среди всех типов разрядов молнии межоблачные составляют наибольшую часть по количеству. В силу того, что в этом случае разряд происходит между двумя заряженными аэрозольными образованиями (фактически безэлектродный разряд), его моделирование в лабораторных условиях сильно затруднено. Для моделирования таких разрядов необходимо создание в открытом пространстве как минимум двух зон с заряженным аэрозолем разного знака, разделенных в пространстве.

Лабораторный стенд.

На Комплексном высоковольтном стенде ВЭИ (г. Истра) была модернизирована установка модели грозовой ячейки с целью моделирования таких разрядов [1,2]. Для этого разработана и создана система (на основе высоковольтного знакопеременного питания генератора гидратированных ионов) создания биполярных областей заряженного аэрозоля и системы регистрации параметров разряда между областями разноименно заряженного аэрозоля. Созданная система показала, что при определенных условиях (по режиму работы генератора гидратированных ионов) удается реализовать безэлектродные разряды между областями с разноименно заряженными дисперсными (водными) фазами. Летом 2012 года была проведена серия предварительных экспериментов по определению параметров таких разрядов.

Численное моделирование.

Разработана численная модель межоблачного разряда [3,4]. Характерная конфигурация проводящего дерева, толщина ребер которого пропорциональна величине проходящего по ним тока показана на рис. 1.



Рис. 1. Характерная конфигурация модельного межоблачного разряда

В рамках развиваемой модели можно определить характеристики высокочастотного радиоизлучения межоблачного разряда. Поле излучения формируется совокупностью микроразрядов, возникающих в процессе межоблачной металлизации. В рассматриваемой модели каждая металлизированная связь представляет собой линейный ток, текущий от большего потенциала к меньшему. Поскольку в исследуемой модели знак разности потенциалов фиксируется, то, следовательно, известно и направление возникающих токов. Используя пространственно-временные характеристики процесса металлизации, нетрудно найти высокочастотное поле излучения в каждый момент модельного времени. На рисунке 2 показана характерная волновая форма высокочастотного радиосигнала. Методы широкополосной индикации обнаруживают удивительную универсальность эмитируемого грозой электромагнитного шума. Универсальность эта связана с пространственно-временным скейлингом возникающих в грозовом облаке иерархических токовых конструкций. Короткоживущие стримерные токи сливаясь обеспечивают существование более протяженных во времени и пространстве токовых элементов. Последние, в свою очередь, поддерживают жизнь следующих этажей иерархии и т.д. вплоть до формирования пронизывающей все облако крупномасштабной токовой системы. Построенная в модели иерархия системы токов позволяет моделировать широкополосное радиоизлучение грозы. При этом амплитуда элементарного тока существенным образом зависит от уровня иерархии ребра. Характерный вид модельного широкополосного сигнала генерируемого внутриоблачным разрядом представлен на рис. 3.

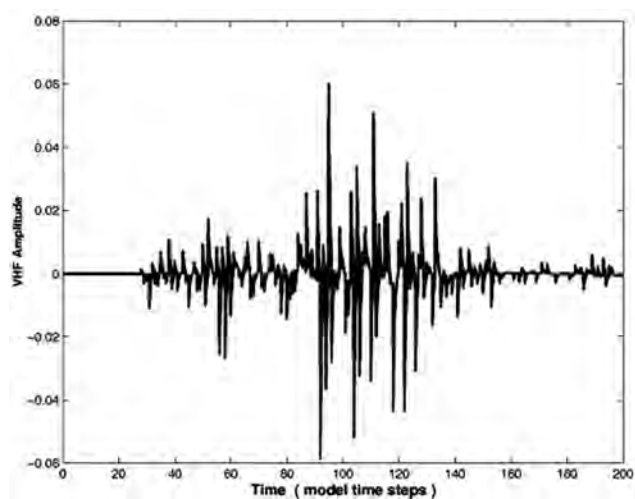


Рис. 2. Волновая форма модельного высокочастотного радиосигнала

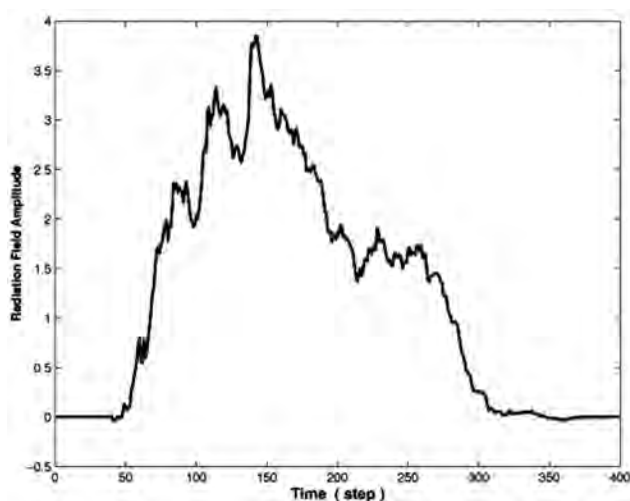


Рис. 3. Волновая форма модельного широкополосного сигнала генерируемого внутриоблачным разрядом

Настоящая работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 11-01-97028; при поддержке Министерства образования и науки РФ (ГК № 16.740.11.0488, ГК № 11.519.11.5017 и ГК № 16.518.11.7006).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] WWW.VEI-ISTRA.RU
- [2] К.В.Анцупов, И.П.Верещагин, Л.М.Макальский, Н.И.Петров В.С.Сысоев. Исследование положительной стримерной короны, возникающей между заземленной плоскостью и заряженным аэрозольным облаком. *Письма в ЖТФ, том 17, вып. 18, 1991, с.80-81.*
- [3] Iudin D. I., Trakhtengerts V. Yu., and Hayakawa M., Fractal dynamics of electric discharges in a thundercloud, 2003, *Phys. Rev. E* 68, 016601 (2003)
- [4] Hayakawa, M., D. I. Iudin, and V. Y. Trakhtengerts (2008), Modeling of thundercloud VHF/UHF radiation on the lightning preliminary break-down stage, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 70,1660–1668, doi:10.1016/j.jastp.2008.06.011.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ФИНАЛЬНОЙ СТАДИИ РАЗРЯДА ИЗ ИСКУССТВЕННОГО ОБЛАКА ЗАРЯЖЕННОГО ВОДНОГО АЭРОЗОЛЯ

А.Г. Темников, А.В. Орлов, Л.Л. Черненский, О.С. Белова, Т.К. Герастенок
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
TemnikovAG@mpei.ru

Представляются результаты экспериментальных исследований формирования финальной (главной) стадии разряда между искусственным облаком заряженного водного аэрозоля отрицательной полярности и землей. Существенное влияние на характер формирования и параметры финальной стадии разряда из облака существенное влияние оказывает формирование восходящих положительных лидеров с заземленного электрода на плоскости под облаком и/или направленных навстречу ним лидерных разрядов из облака заряженного аэрозоля [1].

Несмотря на небольшую длину промежутка «заряженное аэрозольное облако – заземленный электрод на плоскости» есть два основных варианта формирования финальной стадии (в зависимости от места начала и направления развития): I – от вершины заземленного электрода к заряженному аэрозольному облаку; II – от плазменной перемычки (возникающей в промежутке или формирующейся в результате взаимодействия восходящего и нисходящего лидера) вверх к облаку и вниз к заземленному электроду.

Первый вариант характеризуется тремя возможными последовательностями развития, которые связаны с деятельностью предшествующего лидерного разряда.

В первой последовательности финальная стадия разряда стартует с вершины заземленного стержня и движется вверх к облаку. При этом, отсутствует какая-либо разрядная активность перед началом возникновения финальной стадии, так как предшествовавший восходящий лидер с заземленного стержня практически полностью затухает, и в течение 5-15 мкс перед началом финальной стадии разряда в промежутке не наблюдается никакой оптической активности.

Во второй последовательности восходящий лидер почти постоянно движется вверх, не теряет связи с заземленным электродом и переходит в финальную стадию без какой-либо задержки. При обеих последовательностях наблюдается резкое увеличение интенсивности разряда вблизи границы облака, которое может быть связано с существенным усилением поля вблизи границы облака.

Обе эти последовательности первого варианта формирования финальной стадии разряда между искусственным облаком заряженного водного аэрозоля и заземленным электродом могли сопровождаться формированием последующего удара, и в этом случае похожи на характерную картину «восходящий лидер – последующий удар» для восходящей или триггерной молнии [2, 3].

В третьей последовательности первого варианта финальной стадии разряда между искусственным облаком заряженного водного аэрозоля и заземленным электродом реализуется ситуация типичного обратного разряда, характерная для отрицательной нисходящей молнии.

Второй вариант формирования финальной стадии связан с формированием в промежутке плазменной «перемычки» и, в общем случае, распространяется вверх к облаку и вниз к заземленному электроду.

В первой последовательности этого варианта взаимодействие восходящего и нисходящего лидеров приводит к образованию яркой плазменной «перемычки», после чего формируется мощная финальная стадия разряда из искусственного облака заряженного водного аэрозоля.

Во второй последовательности в промежутке сначала из плазменного стебля формируется объемный лидер, который может распространяться как вверх к заряженному аэрозольному облаку, так и вниз к заземленному электроду. Место возникновения такого плазменного стебля находится в большинстве случаев на той высоте над заземленным стержнем, где остановилась головка предшествующего восходящего лидера. Формирующаяся в этом случае финальная стадия разряда обычно характеризуется относительно малыми амплитудами тока (4-8 А) и проявляет двухпиковую структуру осциллограмм тока и светимости в области вблизи вершины электрода.

Результаты обработки данных для пятисот экспериментальных случаев различных вариантов формирования финальной стадии разряда между отрицательно заряженным аэрозольным облаком и заземленным электродом обобщены в таблице 1.

Выявлено, что при финальной стадии разряда нейтрализуется относительно небольшая часть аэрозольного облачного заряда искусственного облака. В среднем она составляет от 1-2 % (для последовательности формирования II.2) до 5-11 % (для последовательностей формирования I.1, I.3 и II.1). В последних случаях наблюдается формирование радиальной стримерной короны с участков канала финальной стадии разряда, находящихся вблизи границ облака заряженного аэрозоля.

Таблица 1. Параметры финальной стадии разряда из искусственного облака заряженного водного аэрозоля (диапазон)

Параметры	I_{max} , А	a_{max} , А/нс	Q, мкКл	v , см/нс
Вариант I.1	15-28	0,34-1,96	1,32-4,13	0,3-1,7
Вариант I.2	11-20	0,29-1,78	1,02-3,24	0,3-4,7
Вариант I.3	23-78	1,32-7,04	1,54-10,54	1,3-7,6
Вариант II.1	10-33	0,59-2,68	1,36-3,68	0,4-2,5
Вариант II.2	4-8	0,16-1,24	0,68-2,89	0,2-0,7

Показано влияние второй, более высоко расположенной искусственной грозовой ячейки на характеристики финальной стадии разряда из нижней ячейки в землю. В этом случае увеличиваются амплитуда тока (~ в 1,4 раза), максимальная крутизна тока (~ в 2,4 раза) и протекший в течение финальной заряд (~ в 1,3 раза).

Полученные результаты указывают на возможно существенное влияние восходящего встречного лидера с заземленного объекта на параметры (например, максимальную крутизну тока) обратного удара разряда молнии, поражающего объект. Об этом свидетельствуют и установленные некоторые корреляционные зависимости между параметрами финальной стадии разряда и предшествующей ей лидерного процесса [4]. Экспериментальные исследования процессов формирования и распространения главной (финальной) стадии разряда из облака заряженного водного аэрозоля показали явно выраженную тенденцию роста амплитуда тока финальной стадии разряда с возрастанием средней скорости продвижения предшествующего ей лидерного процесса. Также необходимо отметить выраженную тенденцию увеличения величины заряда, протекшего (нейтрализованного) в течение финальной стадии разряда из облака заряженного аэрозоля, с ростом среднего тока предшествующего лидера.

Установлены зависимости между максимальной крутизной тока a_{max} (измеренной на уровнях $0,3I_{max}$ и $0,9I_{max}$) и амплитудой тока I_{max} и между зарядом Q финальной стадии разряда и амплитудой тока I_{max} . Наблюдается ясно выраженная зависимость между зарядом, протекшим в течение финальной стадии разряда, и амплитудой тока (коэффициент корреляции 0,67).

Найдена пропорциональная зависимость между крутизной тока и амплитудой тока (коэффициент корреляции 0,65) для «сильноточных» вариантов I.1 и I.3 формирования финальной стадии разряда, когда восходящий лидер с заземленного электрода практически отсутствует (вариант I.3) или прекращает свою активность в промежутке до начала возникновения финальной стадии, включая область вблизи вершины заземленного электрода (вариант I.1).

Сравнение зависимостей, выявленных для финальной стадии разряда из искусственного облака заряженного водного аэрозоля, с аналогичными зависимостями между параметрами разряда молнии показало достаточно близкие корреляционные коэффициенты [3, 5, 6].

Для определенного массива экспериментальных данных по финальной стадии разрядов между заряженным аэрозольным облаком и землей (для разрядов с амплитудой тока до 35 А), которые развиваются вверх, найдена зависимость между их восходящей скоростью продвижения и амплитудой тока. Характер этой зависимости ближе не к формуле Лундхольма [7], а к зависимости, предложенной в [5].

Таким образом, использование искусственных облаков заряженного водного аэрозоля дает уникальную возможность исследовать процессы и возможные механизмы формирования и распространения главного разряда как вблизи заземленного электрода, так и внутри облака.

Литература

1. Темников А.Г., Черненский Л.Л., Орлов А.В. Использование искусственных заряженных аэрозольных облаков отрицательной полярности для исследования физических проблем молнии и молниезащиты. Труды Третьей Российской конференции по молниезащите, Санкт-Петербург, 2012, доклад 05.
2. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. – М.: Физматлит, 2001.
3. V.A. Rakov, M.A. Uman. Lightning: physics and effects. Cambridge University Press, 2003.
4. А.Г. Темников, А.В. Орлов, Л.Л. Черненский, В.П. Писарев, В.А. Ермаков, Н.Ю. Лысов. Характеристики финальной стадии разряда из искусственного облака заряженного аэрозоля отрицательной полярности. Труды VI Российской конференции по атмосферному электричеству, Нижний Новгород, 2007, с. 153-154.
5. "Lightning and Insulator Subcommittee of the T&D Committee. Parameters of Lightning Strokes: A Review", IEEE transactions on power delivery, vol. 20, no. 1, pp. 346-358, 2005.
6. R.B. Anderson and A.J. Eriksson, "Lightning parameters for engineering applications," Electra, no. 69, pp. 65-102, 1980.
7. Uman M. The lightning discharge. Academic Press, 1987.

ВАРИАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ОБСЕРВАТОРИИ "ПАРАТУНКА" (КАМЧАТКА), ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ПРИРОДНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

П.П. Фирстов, Н.В. Чернева
ИКИР ДВО РАН
firstov@emsd.ru

В работе Н.В. Чернева и др. (2007) рассчитан отклик в напряженности атмосферного электрического поля E_z АЭП от объемных зарядов с простой конфигурацией, транспортируемых ветром и расположенных над проводящей поверхностью. В натуральных наблюдениях на обсерватории «Паратунка» (Камчатка) четкое проявление конфигурации базовых источников вариаций E_z АЭП наблюдалось в двух случаях.

1. Перед землетрясением с магнитудой $m_b = 7,3$, произошедшим 13 ч 57 мин. 21 июня 1996 г. за 16 часов на двух станциях (Паратунка, Карымшина) начала формироваться хорошо выраженная аномалия с амплитудой 300 В/м, по форме напоминающая изменение напряженности E_z при прохождении вертикального диполя, проходящего далеко от начала координат. Предположительно, вертикальный диполь сформировался в условиях хорошей погоды в результате стока радона из активной дизъюнктивной структуры, в пределах которой расположены пункты наблюдений.

2. Нестандартная метеорологическая ситуация, приведшая к столкновению двух циклонов на расстоянии ~100 км от обсерватории, привела к возникновению горизонтального диполя. Этот значительный по размерам диполь с расстояниями между зарядами более 50 км привел к формированию на расстоянии ~100 км сигнала импульсной формы длительностью около суток и с двойной амплитудой ~ 800 В/м.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВАРИАЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВО ВРЕМЯ ГРОЗ

Н.С. Хаердинов, А.С. Лидванский
Институт ядерных исследований РАН, Москва
khaerdinovns@yandex.ru

Согласно гипотезе Вильсона грозовые процессы обеспечивают зарядку сферического конденсатора Земля – ионосфера и соответственно поддерживают стационарное электрическое состояние невозмущенных атмосферных областей. Но, нижняя граница ионосферы находится на высоте $H_c = 50$ км. Вместе с тем, обычная высота грозовых облаков около 10 км и редко превышает 20 км. Считается, что состояние высотного профиля проводимости атмосферы, от 60 км и ниже, формируется процессами ионизации нейтральной атмосферы галактическими космическими лучами [1] и лишь вблизи земной поверхности дополнительным источником ионизации служат радиоактивные газы. Но космические малоэнергичные частицы, которых много, из-за магнитного поля Земли не могут попасть в атмосферу. А тех, чья энергия достаточна (порядка несколько ГэВ) - мало. Но эти энергичные частицы, попав в атмосферу, взаимодействуя с ядрами воздуха, лавинообразно, порождают массу менее энергичных вторичных частиц космического излучения. Таким образом частиц становится много, но лишь на высоте около 15 км, соответствующей сумме характерных пробегов для ядерного взаимодействия первичных нуклонов и пробега энергичных фотонов ($\lambda_a = (95+37) \text{ г/см}^2 = 132 \text{ г/см}^2$ ($H_a = 14.5 \text{ км}$)) [2, стр. 531]. Поэтому причин для ионизации атмосферы от 60 до 15 км мало. Во время грозы этот слой, с точки зрения глобальной электрической цепи, представляется тонким слоем изолятора между зарядом грозового облака, постоянно подпитываемым восходящими потоками воздуха и проводником - ионосферой. Из объяснений наблюдаемых вариаций мюонов следует что во время активной фазы грозы между уровнем генерации мюонов (~14 км) и уровнем земли часто возникает значительная разность потенциалов вызванная обычными грозовыми процессами, что с необходимостью, в следствии действия глобальной электрической цепи, приводит к аналогичной разности потенциалов между уровнем генерации мюонов и ионосферой - в области пониженной концентрации ионов. Рост заряда в верхней части грозового облака должен ограничиваться созданием критической напряженности поля в этой области и возникновением медленно текущего пробоя на убегающих электронах ионизирующего стратосферный слой. Созданная проводимость замыкает глобальную цепь. Аналогичные процессы, постоянно, случайным образом, возникающие по всей поверхности Земли, в целом, образуют непрерывно - замкнутую глобальную цепь. Их общие черты: Установление критической напряженности в слое средней атмосферы толщиной ~ 130 г/см². Характерная разность потенциалов $\Phi_n = 1.25 \cdot \beta_c \lambda_a = 275 \text{ МВ/(г/см}^2)$, $\beta_c = 1.67 \text{ МэВ/(г/см}^2)$ – минимальное значение тормозных потерь для электрона в воздухе. Ионизация этого слоя лавинами релятивистских убегающих электронов,

излучающих тормозные гамма - кванты. При этом, спектр фотонов имеет характерную форму, черты которой приведены в [3]. Нужны экспериментальные свидетельства проявления этого механизма. На установке «Ковёр» Баксанской Нейтринной обсерватории в течении многих лет ведутся наблюдения вариаций вторичных частиц космических лучей во время гроз. Помимо помех аппаратурного происхождения, обнаруживается и влияние электрического поля на интенсивность регистрируемых частиц. Влияние представляется, в основном, двумя типами – коррелирующее с приземным полем и коррелирующее с активным периодом грозы, проявляющимся в частых молниевых разрядах. Вариации второго типа явно не связаны с измеряемым полем. Поэтому, была предпринята попытка выделить два независимых параметра, ответственных за вариации мюонов во время гроз. В решении кинетического уравнения для мюонов в электрическом поле, выражено его влияние, меняющее энергию частиц, через два главных члена, это разность потенциалов между уровнем генерации и местом регистрации (Φ) и, напряжённость приземного поля (β). Такая модель, позволяет выработать метод слежения за электрическим состоянием стратосферы. В процессе построения модели, учтено расположение значительного плоского заряда на уровне нулевой изотермы, формируемого таянием осадков – необходимый атрибут активной фазы грозы. Расчётные коэффициенты для обоих параметров, полученные в рамках единого подхода, имеют свои характерные общие методические ошибки – ошибки модели. Калибруя расчёт на результатах эксперимента по исследованию регрессии с приземным полем, повышает точность всех расчётных параметров. Появляется возможность количественной оценки разности потенциалов в стратосфере. Ниже, приводятся рассчитанные и откалиброванные интегральные по углу некоторые коэффициенты регрессии мюонов с энергией более 100 МэВ с электрическими параметрами атмосферы: Коэффициент линейной регрессии с приземной напряжённостью поля $-7.94(1\pm.23)10^{-3} \text{ \%}/(\text{kV}/\text{м})$. Коэффициент линейной регрессии с разностью потенциалов в стратосфере $-1.15(1\pm.20)10^{-2} \text{ \%}/\text{МВ}$. Коэффициент квадратичной регрессии с разностью потенциалов в стратосфере $-2.70(1\pm.10)10^{-5} \text{ \%}/(\text{МВ})^2$. Приведём оценки стабильных параметров потока мюонов и приземной атмосферы полученные в рамках модели из анализа вариаций мюонов (2000 – 2003 гг, летнее – осенний период), характеризующие корректность модели: Эффективная высота расположения локального заряда в атмосфере (от уровня моря) 3.4 км. Отношение интенсивностей мюонов разного знака в области энергий 100-1000 МэВ $1.173(1\pm.04)$. Из оценок коэффициентов связи следует, что для вариаций жесткой компоненты $\sim 1\%$ требуется разность потенциалов в стратосфере $\sim 100 \text{ МВ}$, что возможно в случае образования большого электрического заряда в верхней части грозового облака. Поскольку характерный конус регистрации мюонов $\sim 30^\circ$, то критическая напряжённость, создаваемая над установкой в стратосфере, в области с площадью $\sim 10 \text{ км}^2$, может отметиться на установке регистрацией возмущения $\sim 1\%$. Причём, если вариация мюонов отрицательная, то поле в стратосфере генерирует фотоны в ионосферу, а если положительная, то электроны ускоряются вниз и поток тормозных фотонов можно регистрировать на земле. Зная характерные черты спектра излучения в источнике, эффективность регистрации фотонов установкой, однозначно восстанавливается высота их генерации по спектру регистрации. В таблице представлены измеренные превышения мягкой компоненты над фоновым значением во время грозовых событий в разных энергетических диапазонах (10 – 17 МэВ и 17 – 30 МэВ), соответствующий им характерный степенной показатель спектра фотонов в месте регистрации и, восстановленные параметры - высота генерации над уровнем моря и интегральная интенсивность убегающих электронов в источнике. Приведены и значения максимального перепада интенсивности мюонов в период аномального возмущения, указывающие на значительные вариации средней разности потенциалов в стратосфере.

Дата	N1 ($\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$) ($10 < E < 17$)	N2 ($\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$) ($17 < E < 30$)	β	h (г/см ²)	H (км)	N_e ($\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$)	$m_{\text{max}}-m_{\text{min}}$ (%)
1) 11.10.2003	12.17 ± .08	3.70 ± .08	3.48 ± .05	699 ± 33	3.15	$10^{(3.8 \pm .2)}$	0.93± .09
2) 11.09.2005	4.97 ± .05	2.20 ± .05	2.73 ± .05	471 ± 28	6.11	$10^{(5.2 \pm .2)}$	1.36± .14
3) 3.09.2006	5.06 ± .09	2.02 ± .09	2.94 ± .10	533 ± 33	5.20	$10^{(4.8 \pm .2)}$	0.65± .04
4) 14.10.2007	1.77 ± .08	1.04 ± .08	2.15 ± .20	288 ± 94	9.54	$10^{(6.2 \pm .7)}$	0.69± .04
5) 15.10.2007	1.42 ± .04	0.73 ± .04	2.42 ± .13	384 ± 74	7.57	$10^{(5.4 \pm .5)}$	0.86± .05
6) 18.06.2008	1.31 ± .05	0.85 ± .05	1.95 ± .16	206 ± 73	11.74	$10^{(6.7 \pm .5)}$	1.36± .18
7) 18.07.2008	1.24 ± .04	1.12 ± .04	1.28 ± .11	- 49± 59	> 60	$10^{(8.6 \pm .4)}$	1.42± .13
8) 31.07.2008a	1.01 ± .07	0.58 ± .07	2.20 ± .33	298 ± 123	9.32	$10^{(5.9 \pm .9)}$	1.05± .14
9) 31.07.2008б	1.16 ± .08	0.90 ± .08	1.59 ± .28	67 ± 100	18.29	$10^{(7.7 \pm .7)}$	1.36± .18
10) 1.08.2008a	0.40 ± .06	0.29 ± .06	1.73 ± .77	123 ± 203	14.87	$10^{(6.8 \pm 1.5)}$	1.07± .14
11) 1.08.2008б	0.55 ± .04	0.47 ± .04	1.40 ± .28	- 9 ± 100	>20	$10^{(7.9 \pm .7)}$	1.01± .13
12) 1.08.2008в	2.55 ± .10	2.00 ± .10	1.57 ± .15	59 ± 65	18.94	$10^{(8.1 \pm .5)}$	0.89± .12
13) 1.08.2008г	1.53 ± .10	0.89 ± .10	2.17 ± .30	294 ± 123	9.40	$10^{(6.1 \pm .9)}$	0.50± .06

N1 и N2 – превышения темпа регистрации над фоном. β – показатель степенной аппроксимации спектра фотонов в месте регистрации. h – восстановленный расчётным путём уровень генерации фотонов (от границы атмосферы). Отложена статистическая и методическая ошибки определения.

H – соответствующая высота выраженная в километрах от уровня моря. N_e – интегральная интенсивность убегающих электронов на высоте генерации фотонов (с соответствующими ошибками). $m_{\max}-m_{\min}$ – максимальный размах вариаций мюонов с энергией 100 МэВ в период аномального возмущения. Из оценок высоты нижней границы для каждого события генерации фотонов следует, что генерация электронов, в реальности, происходит по глубине всей атмосферы, начиная с уровня нулевой изотермы. Причём половина происходит в стратосфере. Процесс генерации, в каждом случае, сопровождается вариациями разности потенциалов в стратосфере порядка 100 МВ. Характерная интенсивность убегающих электронов в стратосфере $10^7 \text{ м}^{-2}\text{с}^{-1}$, чего не случается в тропосфере. Это можно объяснить тем, что тропосферные слои напряжённости всегда тоньше стратосферы (в ед. $\text{г}/\text{см}^2$). Для двух событий оценка расстояния не уложилась в вертикальную толщину атмосферы. Возможно, это свидетельство того, что на больших высотах ускорение электронов происходит под влиянием магнитного поля. И фотоны от них приходят под углом к вертикали. Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, грант 12-02-01028-а и грант 11-02-00202-а

Литература

1. С.В. Анисимов. Геофизические аспекты исследования глобальной электрической цепи. VI Российская конференция по атмосферному электричеству, Нижний Новгород, 1-7 октября 2007 г., Сборник научных трудов, стр. 7-10.
2. Хаякава С., Физика космических лучей, М., Мир. 1974.
3. Л.П. Бабич, Е. Н. Донской, И.М. Куцык. Тормозное излучение лавины релятивистских электронов в атмосфере. VI Российская конференция по атмосферному электричеству, Нижний Новгород, 1-7 октября 2007 г., Сборник научных трудов, стр. 186-187

О ВОЗМОЖНОСТИ ИОНОСФЕРНОГО МОНИТОРИНГА УРОВНЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТРОПОСФЕРЫ В РЕГИОНЕ ФРАНЦУЗСКИХ АЛЬП, ВЫЗВАННОГО МНОГОЛЕТНЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ФРАНЦУЗСКИХ АЭС, РАСПОЛОЖЕННЫХ В БАССЕЙНЕ РЕКИ РОНЫ

В.В. Херай¹, В.П. Ким², А.В. Карелин³

1 - ИЗМИРАН, г. Москва, Городской округ Троицк, Россия

2 - ИЗМИРАН, г. Москва, Городской округ Троицк, Россия, Россия

3 - ЦНИИмаш, г. Королев, Московская область, Россия

hegai@izmiran.rssi.ru

В связи с расширением строительства атомных электрических станций (АЭС) и наращиванием их мощностей угроза радиоактивного загрязнения окружающей среды, связанная с их эксплуатацией, активно обсуждается в средствах массовой информации и научной печати (см., например [1]). При этом основное внимание уделяется аварийным ситуациям, когда происходит одномоментный выброс в окружающую среду большого количества (сотни килограмм и выше) радиоактивных веществ. В то же время экологические последствия повседневных радиоактивных утечек из реакторов АЭС в результате длительной штатной эксплуатации АЭС до сих пор далеко еще не изучены. В настоящей работе обсуждается принципиальная возможность дистанционного ионосферного мониторинга радиоактивного загрязнения тропосферы над бассейном реки Роны (Франция), обусловленного долговременной эксплуатацией расположенных в данном районе АЭС.

В реакторе любой АЭС образуются более 30 различных радионуклидов, которые могут попасть в атмосферу. Среди них относительно долгоживущими являются газы тритий (период полураспада 12,3 года) и криптон-85 (период полураспада 10,6 лет). Обычный режим контроля радиационного фона осуществляется путем измерения на поверхности земли интенсивности радиации вблизи АЭС и на удалении от нее на несколько десятков километров. Однако, такой подход не позволяет оценить степень радиоактивного загрязнения тропосферы на расстояниях порядка 100 и более километров от АЭС в результате кумулятивного эффекта за 15-20 лет непрерывной утечки в атмосферу из атомных реакторов радиоактивных газовых и аэрозольных компонент. При этом большую роль могут играть орографические и климатические факторы. В этом плане представляет особый интерес цепочка из 6 крупных французских АЭС (Bugey, Creys-Malville, St-Alban, Cruas, Tricastin, Marcoule), расположенных вдоль реки Роны на отрезке длиной порядка 200 км между городами Лион и Авиньон (см. рис. 1).

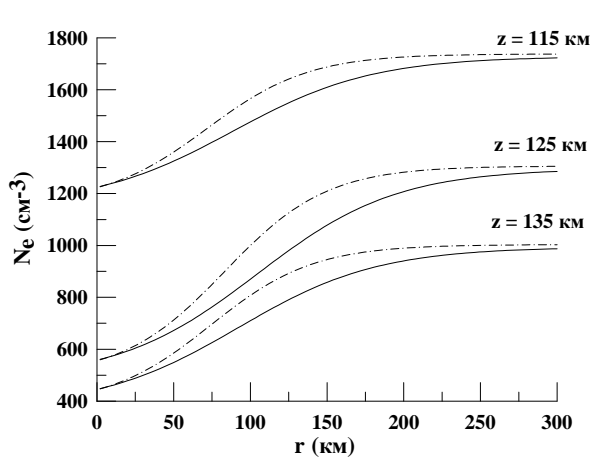


Рис. 1. Географическое положение АЭС на территории Франции (взято с сайта http://www.200stran.ru/maps_group2_item2668.html).

Эти АЭС расположены в области, которая лежит между нагорьем Центрального массива и Альпами, что создает благоприятные возможности для накопления над ней радиоактивных выделений в тропосфере. Радиоактивные эманации попадают в приповерхностный слой атмосферы и посредством турбулентного вертикального переноса выносятся в более высокие слои атмосферы [2]. Поскольку рассматриваемые АЭС расположены в виде линейной цепочки, вытянутой вдоль реки Роны, то радиоактивное загрязнение тропосферы естественно аппроксимировать пролонгированной структурой, представляющей собой полосу длиной 200-250 км. Ширина полосы определяется расстоянием между Альпами и нагорьем Центрального массива, которое составляет в среднем 50 км.

В результате вертикального переноса радиоактивных эманаций образуются облака с повышенным содержанием радиоактивных частиц, которые вызывают дополнительную ионизацию воздуха. Кучевые облака с повышенным содержанием ионизованных частиц хорошо трансформируются в грозовые облака, так как одним из условий превращения облака в грозовое является наличие в нем достаточного количества заряженных частиц [3]. Следовательно, в зоне полосы радиоактивного загрязнения тропосферы можно ожидать усиления грозовой активности.

Как показывают наши расчеты, под воздействием электрического поля линейной системы грозовых облаков, формирующихся в тропосферной полосе радиоактивного загрязнения, в Е-области ионосферы может происходить существенное уменьшение электронной концентрации (N_e). Характерные горизонтальные размеры возмущенной области составляют несколько сот километров (см. рис. 2). Таким образом, на высотах Е-области ионосферы над полосой радиоактивного



загрязнения в тропосфере может образовываться крупномасштабная зона депрессии электронной концентрации. Такую ионосферную неоднородность можно зарегистрировать посредством дистанционного радиофизического зондирования ионосферы и тем самым получить косвенную оценку степени радиоактивного загрязнения тропосферы.

Рис. 2. Горизонтальное распределение электронной концентрации на высотах 115, 125 и 135 км параллельно (сплошные линии) и поперек (штрих-пунктир) полосы вдоль положительного направления осей x (север) и y (восток) соответственно.

Работа выполнена при частичной поддержке Программы фундаментальных исследований РАН "Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследований атмосферных процессов".

Литература

1. Израэль Ю. А. Радиоактивные выпадения после ядерных взрывов и аварий. - Санкт-Петербург: ПРОГРЕСС-ПОГОДА, 1996.- 356 с.
2. Матвеев Л. Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. Ленинград: Гидрометеиздат, 1965. - 876 с.
3. Boyarchuk K. A., Lomonosov A. M., Pulinets S. A., Hegai V. V. Impact of radioactive contamination on electric characteristics of the atmosphere. New remote monitoring technique. // BRAS Physics/Supplement Physics of Vibrations 1997. V. 61. No. 4. P. 260-266.

ДИФфуЗИЯ ПЛАЗМЫ ЭЛЕКТРООТРИЦАТЕЛЬНЫХ ГАЗОВ

Л.Д. Цендин, А.П. Головицкий
СПбГПУ, Санкт-Петербург, Россия
alexandergolovitski@yahoo.com

Ввиду наличия в атмосфере электроотрицательных (ЭО) компонентов — кислород, пары воды, различные аэрозоли — плазма любого атмосферного разряда, помимо электронов и положительных ионов, содержит в значительном количестве отрицательные ионы. Перенос заряженных частиц в такой плазме обладает принципиальными особенностями. Самосогласованное электрическое поле, определяемое при $T_e > T_i$ электронами, втягивает отрицательные ионы вглубь плазмы и удерживает их там. Плазма расслаивается на области с существенно разным составом и свойствами: периферийная область состоит из электрон-ионной плазмы и практически не содержит отрицательных ионов, тогда как центральная — представляет собой ион-ионную плазму с относительно малой долей электронов [1, 2]. Стационарные распределения концентраций заряженных частиц неоднородны по сечению плазмы и не совпадают между собой, а в узкой области перехода от $e-i$ к $i-i$ плазме имеют место сильные скачкообразные изменения концентраций ионов. Это существенно осложняет описание процессов переноса, ибо невозможно ввести единый коэффициент диффузии ЭО плазмы в целом (по аналогии с коэффициентом амбиполярной диффузии электроположительной (ЭП) плазмы). «Глобальное» численное моделирование сталкивается с недостатком данных о сечениях многочисленных элементарных процессов, а главное — с проблемой составления самих модельных уравнений, т.е. определения степени важности различных процессов и достаточной полноты их учёта без априорного знания параметров плазмы, собственно, и подлежащих вычислению в разрабатываемой модели.

Целью работы является получение максимально простых, но и приемлемо точных аналитических выражений, отражающих основные свойства плазмы положительного столба (ПС) ЭО разрядов и позволяющих быстро и просто оценить как энергетические параметры, так и параметры пространственных распределений концентраций заряженных частиц. В простейшем предположении о постоянстве скоростей плазмохимических процессов на 1D примере ПС ЭО разряда приведена классификация различных сценариев формирования поперечных профилей концентрации ЭО плазмы и показано, что её поперечное расслоение на области с резкой границей вызвано неизотермичностью плазмы.

Основным механизмом гибели отрицательных ионов полагаем отлипание электронов — как для разрядов в присутствии кислорода. Исходная стационарная система для потоков заряженных частиц:

$$\begin{cases} \nabla \bar{\Gamma}_e = (v_i - v_a)n_e + v_d n_n \\ \nabla \bar{\Gamma}_p = v_i n_e \\ \nabla \bar{\Gamma}_n = v_a n_e - v_d n_n \end{cases}; \quad (1)$$

$$\bar{\Gamma}_j = -D_j \nabla n_j + z_j n_j \mu_j \bar{E}_x; \quad \bar{\Gamma}_p - \bar{\Gamma}_n - \bar{\Gamma}_e = 0. \quad (2)$$

Здесь x_W — координата выполнения граничных условий (для цилиндрической или сферической геометрии она равна радиусу плазмы): $n_e(x_W) = n_p(x_W) = n_n(x_W) = 0$; $\Gamma_n(x_W) = 0$; D_j, μ_j — коэффициенты диффузии и подвижности заряженных частиц j -го сорта; индексы e, p, n соответствуют электронам, положительным и отрицательным ионам; E_x — поперечное к протеканию тока поле, вызванное пространственным зарядом; z_j — знак заряда; v_i, v_a, v_d — частоты ионизации, прилипания и отлипания. В реальности все плазмохимические константы определяются функцией распределения электронов, которая формируется продольным электрическим полем столба E_z , являющимся одним из собственных чисел задачи. В нашей простой модели мы принимаем, что v_a, v_d, D_j, μ_j являются заданными константами, а собственными числами являются частота ионизации v_i и $n_n(0)$.

Введём безразмерную координату $X = x/x_W$, диффузионные частоты $D_{aj} = \mu_j T_e / (ex_W^2)$, а также приведённые безразмерные частоты ионизации: $v = v_i / D_{ap}$, прилипания: $\alpha = v_a / D_{an}$ и отлипания: $\beta = v_d / D_{an}$. Нормируем концентрации всех заряженных частиц на n_{e0} (электронную концентрацию в центре плазмы при $X = 0$) и введём обозначения: $N = n_e / n_{e0}$, $n = n_n / n_{e0}$, $p = n_p / n_{e0}$; $\tau_j = T_j / T_e$. С учётом квазинейтральности ($p = n + N$) систему (1) и (2) можно свести к системе из 2-х уравнений:

$$-\Delta n \tau_n + \nabla \left(\frac{n}{N} \nabla N \right) = \alpha N - \beta n, \quad (3)$$

$$-\Delta p \tau_p - \nabla \left(\frac{p}{N} \nabla N \right) = \nu N. \quad (4)$$

При $T_p, T_n \ll T_e$ можно пренебречь первыми членами (3) и (4), т.е. пренебречь ионной диффузией.

Хотя (1) – (4) описывают профили концентраций при всех $X \in [0, 1]$, но их можно решить только численно, что затрудняет анализ. Поэтому далее периферийная область и объём плазмы рассматривались по отдельности при разумных предположениях о конкретных свойствах этих областей. Правомерность этих предположений, а также точность полученных в итоге соотношений продемонстрированы в табл. 1 и 2 путем сравнения полученных аналитических результатов с результатами численного решения (1) – (2). При анализе ограничились случаем сильной электроотрицательности: $\alpha \gg 1$.

Полученные в работе простые аналитические выражения (см. табл. 1 и 2) обеспечивают погрешность оценок ν и форм профилей не более 20 – 25%. Погрешность оценки $n_0 = n(0)$ не превышает 6% (см. табл.1; принято $\mu_p = \mu_n$; жирным выделены значения, долженствующие соответствовать).

Таблица 1.

α	β	ν [1]	$\nu = \sqrt{\alpha}$	$\nu = \frac{\pi^2 \alpha}{4 \beta}$	n_0 [2]	$n_0 = \frac{\sqrt{\alpha + \alpha}}{\beta}$	$n_0 = \frac{\pi^2 \alpha}{4 \beta^2} + \frac{\alpha}{\beta}$
10	1	4,3	3,16	25	14,05	13,2	35
15	0,6	5,17	3,87	62	33,35	31,5	128
25	1	6,16	5	62	30,95	30,0	87
25	7	4,99	5	8,8	4,15	4,3	4,8
25	10	4,67	5	6,2	2,85	3,0	3,1
90	3	10,15	9,49	13,5	33,28	33,2	10,0
90	30	6,45	9,49	7,4	3,16	3,3	3,2
256	64	8,86	16	9,9	4,11	4,25	4,2

В табл. 2 сопоставлены основные характеристики плазм ПС ЭП и ЭО разрядов (последние получены в данной работе) для случая плоской геометрии, сильной электроотрицательности и малости ионной диффузии.

Таблица 2.

Характеристики	ПС ЭП разряда	ПС ЭО разряда (при $\alpha \gg 1$)
Приведенная частота ионизации	$\nu = \pi^2 / 4$ (формула Шоттки)	$\nu \approx \frac{\mu_n}{\mu_p} \sqrt{\alpha}$ (при $\beta \ll \alpha$); $\nu \approx \frac{\pi^2 \alpha}{4 \beta}$ (при $1 \ll \beta < \alpha$).
Поперечное расслоение плазмы	Отсутствует	<i>i-i</i> -плазма при $0 \leq X < 1 - \delta$ (объём разряда); $\delta \approx \pi / (2\sqrt{\alpha}) \ll 1$.
		<i>e-i</i> -плазма при $1 - \delta < X \leq 1$ (периферия разряда).
Отношения концентраций ионов и электронов	$\frac{n_p}{n_e} \cong 1$	$\frac{n_p}{n_e} \approx \frac{n_n}{n_e} \cong \frac{\nu + \alpha}{\beta} \gg 1$ (объём).
		$n_p / n_e \approx 1, n_n / n_e \rightarrow 0$ (периферия).
Формы профилей концентраций	$N(X) \approx \cos(\sqrt{\nu} X)$; $p(X) = N(X)$.	$N_{об}(X) \approx \cos\left(\sqrt{\frac{\nu\beta}{\nu+\alpha}} X\right)$; $n(X) \approx \frac{\nu+\alpha}{\beta} \cos\left(\sqrt{\frac{\nu\beta}{\nu+\alpha}} X\right)$; $p(X) \approx n(X) \gg N(X)$ (объём).
		$N(X) \approx N_{об}(1 - \delta) \sin[\sqrt{\nu + \alpha}(1 - X)]$; $p(X) \approx N(X)$; $n(X) \approx 0$ (периферия).

Полученные простые формулы можно использовать и для априорных оценок величин скоростей плазмохимических процессов, в частности, при составлении сложных численных моделей плазм разрядов в ЭО газах — на предмет необходимости учёта тех или иных процессов в модели.

Литература

1. Цендин Л.Д. // ЖТФ. 1989. Т. 59. Вып. 1. С. 21 – 28.
2. Franklin R.N., Snell J. // J.Phys. D: Appl. Phys. 1994. V. 27. P. 2102 – 2106.

[1] Величина ν , полученная при численном решении (1 – 2).

[2] Величина n_0 , полученная при численном решении (1 – 2).

ОБЪЕДИНЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ И ГРОЗОРЕГИСТРАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЮФО И СКФО

Х.Х. Чочаев¹, А.И. Рогозина¹, М.Н. Бейтуганов¹, А.А. Аджиева², В.А. Шаповалов², И.Х. Машуков²,
К.А. Продан²

1 - Северо-Кавказская военизированная служба по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы Росгидромета

2 - Высочегорный геофизический институт Росгидромета
atajuk@mail.ru

Образование и развитие грозовых облаков связано с многообразием и сложным взаимодействием разномасштабных атмосферных процессов.

Относительная недоступность грозо-градовых облаков для прямых инструментальных измерений является причиной того что, несмотря на обширные знания об облаках, нет строгой теории образования и выпадения ливневых осадков и града. Остается много неизвестного об этих быстро растущих облаках, способных практически в считанные минуты стать опасными и вызвать разрушительный град и приземные ветры, уничтожить сельскохозяйственные посевы и собственность, вызвать наводнения и даже привести к человеческим жертвам.

Быстротечность процессов образования и роста града предъявляют особые требования к методике засева облаков и к организации системы противогодовой защиты (ПГЗ), осуществляемой в ЮФО и СКФО РФ. В системе ПГЗ предусмотрены: своевременное обнаружение градоопасных облаков, оценка их на способность образовать град с ущербом с заблаговременностью соизмеримой со временем образования и роста града, проведение необходимого разового или многократного засева. Эти принципы положены в основу разработанных средств и методов ПГЗ и применены на практике. Распознавание градовых и градоопасных облаков и оценка степени их градоопасности осуществляются радиолокационными методами.

Воздействие проводится на градовые облака и облака, имеющие тенденцию развития и перерастания в градовое состояние. Объектом воздействия (ОВ) является область радиоэхо конвективной ячейки (КЯ), параметры которой соответствуют критериям воздействия с целью предотвращения выпадения града. Распознавание ОВ различных категорий осуществляется по критериальным значениям комплекса параметров, характеризующих повышенное водосодержание переохлажденной части конвективной ячейки и наличие области нависающего радиоэха, указывающей на наличие восходящего потока, питающего КЯ (рис.1.) Исходными данными для выбора из совокупности кучево-дождевых облаков тех, на которые необходимо проводить воздействие, являются радиолокационные и прогностические параметры: высотные, отражательные, температурные и т.д.

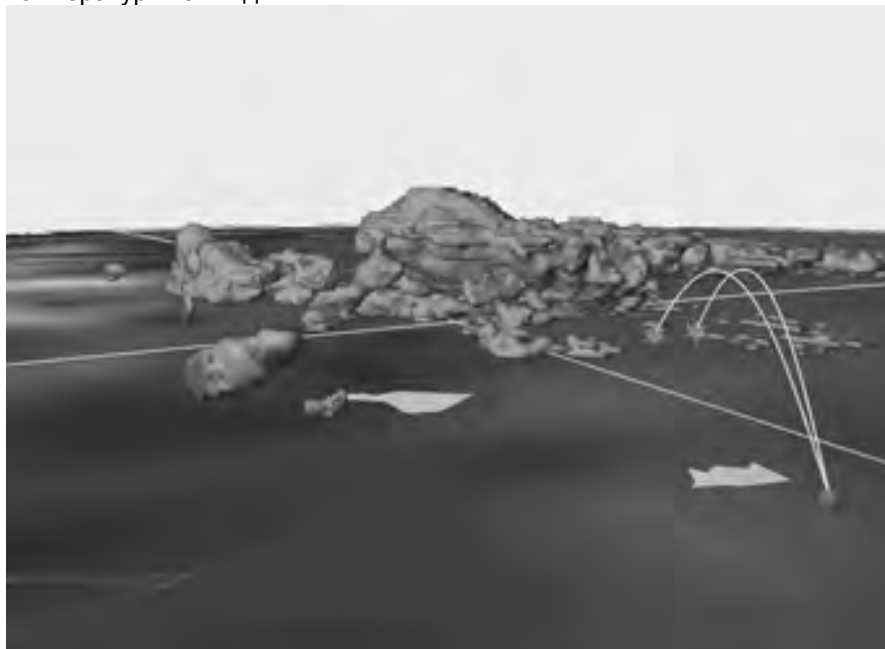


Рис.1 – Мощное градовое облако с навесом в трехмерном виде.

В последние годы наряду с данными радиолокаторов появилась возможность использовать инструментальные наблюдения грозорегистратором LS 8000 ФГБУ «ВГИ», предназначенным для автоматического обнаружения и регистрации координат грозовых разрядов в автономном режиме в составе региональной системы из нескольких аналогичных комплексов, объединяемых специальной системой связи через Интернет.

Разработано программное обеспечение совмещения радиолокационной и грозорегистрационной информации. Получены карты радиолокационной отражаемости облаков в зоне обзора радиолокатора с нанесенными поверх разрядами молний (рис.2 а, б).

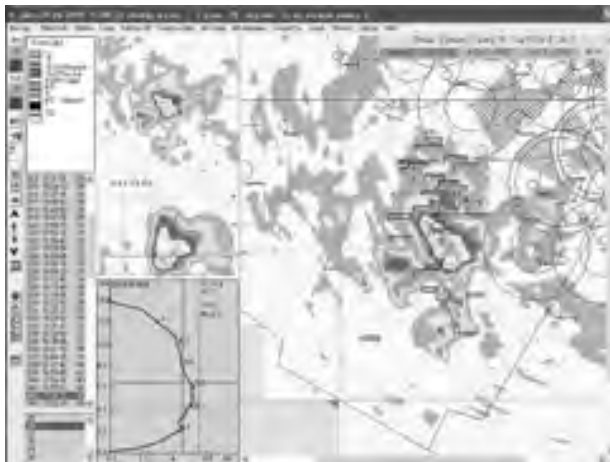


Рис.2.а – Совмещение радиолокационных и грозорегистрационных данных.
Разряды облако-земля.

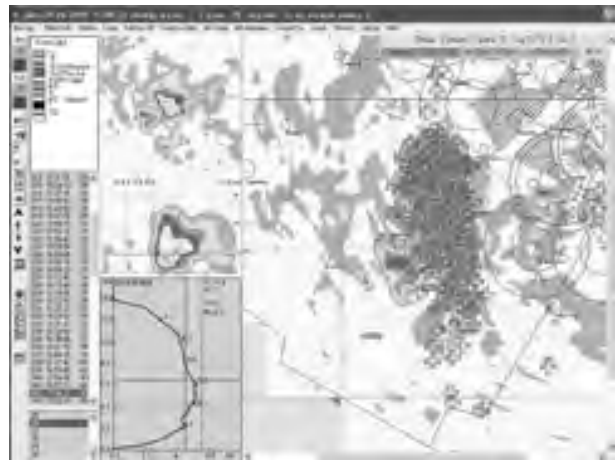


Рис.2.б – Внутриоблачные разряды.

Как показали исследования, процесс градообразования в конвективном облаке начинается позже, чем грозовая активность. Она продолжается и после прекращения индикации града в облаке. Это показывает, что процесс градообразования в облаке занимает значительно меньше времени, чем грозовая деятельность. При этом косвенным подтверждением, что данное грозовое облако становится градоопасным, является:

- 1) наличие грозовых разрядов с интенсивностью до 5 разрядов в минуту;
- 2) интенсивность молниевых разрядов больше 10 в минуту.

Цель активных воздействий на грозовые и градовые облака состоит в предотвращении градобитий на защищаемой территории (ЗТ) и уменьшении вероятности образования молниевых разрядов.

Северо-Кавказская ВС осуществляет противогодовую защиту на территории трех республик Северного Кавказа: Карачаево-Черкесии, Кабардино-Балкарии и Северной Осетии-Алании (на общей площади 800 тыс. га.).

Служба располагает тремя командными пунктами, оснащенными двухволновыми метеорологическими радиолокаторами МРЛ-5.

На защищаемой территории размещены 58 пунктов воздействия, с которых с помощью ракетных установок производится запуск ракет для предотвращения образования и подавления града в зависимости от радиолокационных критериев.

Объединение радиолокационной и грозорегистрационной информации позволило повысить заблаговременность распознавания объектов АВ.

МОДУЛЯЦИЯ ПОТОКА ГКЛ КАК ФАКТОР ИЗМЕНЧИВОСТИ ИСПАРЕНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ МИРОВОГО ОКЕАНА

В.В. Чукин

*Российский государственный гидрометеорологический университет
chukin@meteolab.ru*

История исследований по оценке влияния солнечной активности на погоду и климат планеты начались с работы У.Гершеля [5] в начале XIX века, в то время как наблюдения за солнечной активностью начались еще в середине XVIII века с работ астрономов Г.Швабе и Р.Вольфа [6]. Наиболее ярким примером обнаруженной солнечно-земной связи является работа Г.Свенсмарка [1], показывающая высокую корреляцию потока галактических космических лучей (ГКЛ) и количества облаков нижнего яруса. Последующие исследования показали наличие отрицательной корреляции потока ГКЛ и количества облаков среднего и верхнего ярусов [2, 3].

Наличие подобной зависимости облачного покрова от ГКЛ может быть объяснено изменениями влагозапаса атмосферы при вариациях потока ГКЛ, которые обнаружены нами в результате обработки данных проекта по спутниковой климатологии облаков ISCCP [4] и представлены на рис. 1. Подобные глобальные изменения содержания водяного пара в атмосфере могут быть вызваны изменениями в элементах гидрологического цикла, в первую очередь скорости испарения с поверхности Мирового океана.

Целью данной работы является построение модели влияния ГКЛ на скорость испарения воды.

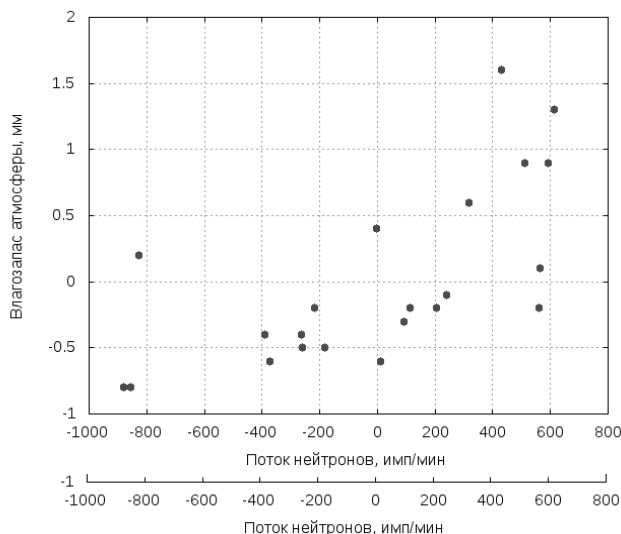


Рис. 1. Вариации глобального влагозапаса атмосферы от потока ГКЛ

В основу предлагаемой схемы взаимодействия ГКЛ с земной атмосферой, представленной на рис. 2, положена гипотеза о зависимости электрических параметров атмосферы и поверхности Мирового океана от интенсивности потока ГКЛ.

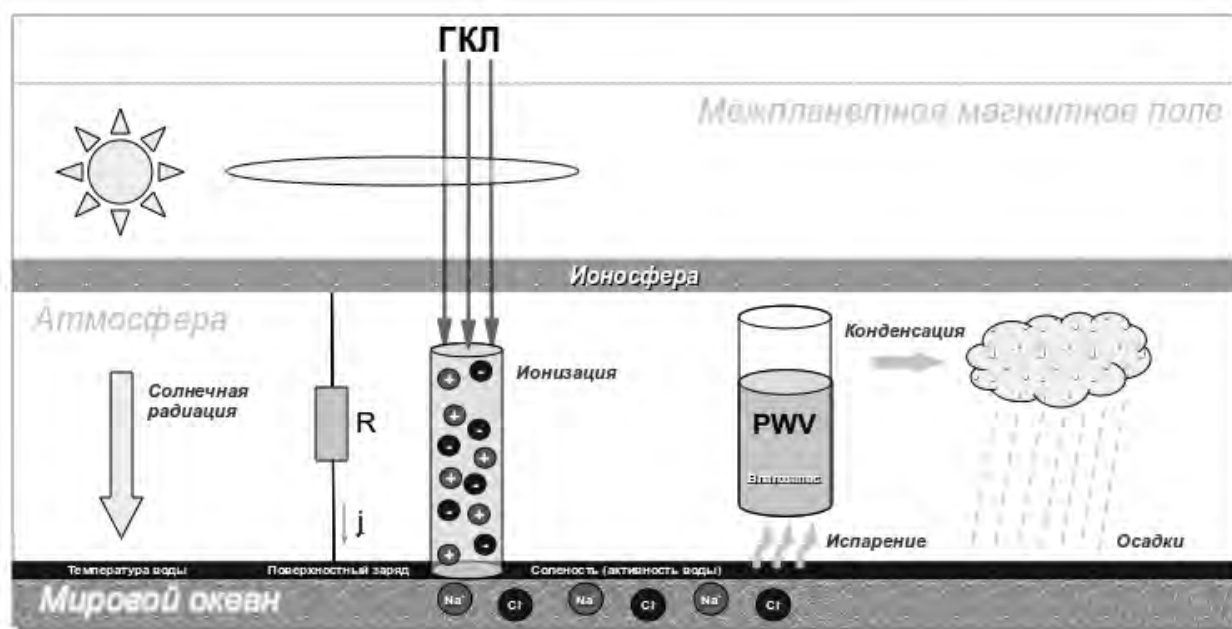


Рис. 2. Схема влияния потока ГКЛ на процесс испарения с поверхности Мирового океана

Известно, что поток ГКЛ модулируется межпланетным магнитным полем (ММП) в результате рассеяния на неоднородностях ММП, которые образуются в результате солнечной деятельности. Атмосферные ионы, образующиеся посредством ударной ионизации ГКЛ в значительной степени определяют сопротивление вертикального столба атмосферы и, как следствие, напряженности приземного электрического поля. Согласно экспериментальным данным, имеется тесная связь между вариациями потока ГКЛ и приземным значением напряженности электрического поля. Между данными характеристиками отмечается положительная связь [7].

Над океаном приповерхностные значения напряженности электрического поля пропорциональны плотности электрического заряда на водной поверхности. Поскольку морская вода является электролитом, то плотность поверхностного заряда влияет на распределение ионов Na^+ и Cl^- в поверхностном слое воды, что сопровождается изменениями значения активности воды (a_w), которая наряду с температурой (T) и влагозапасом атмосферы (PWV), является определяющим фактором

скорости испарения (E_w), которая может быть оценена с помощью модифицированного закона Дальтона:

$$E_w = 8.3 \cdot 10^{-8} [a_w \cdot e_s(T) - 52.6PWV] \quad (1)$$

Изменение скорости испарения сопровождается вариациями содержания водяного пара, водозапаса, альбедо и высоты верхней границы облаков. Результаты обработки спутниковых данных проекта ISCCP [3], представленные на рис. 3, подтверждают данное предположение и показывают, что имеется положительная корреляция между потоком ГКЛ и содержанием водяного пара в атмосфере. Все это приводит к изменению радиационного баланса системы земная поверхность-атмосфера и, в результате, к изменению климата планеты.

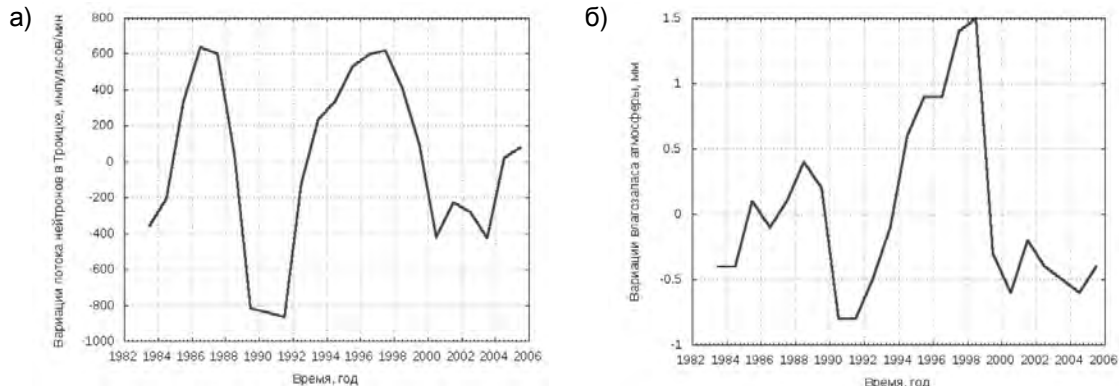


Рис. 3. Временной ход интенсивности потока нейтронов на ст. Троицк (а) и глобального содержания водяного пара в атмосфере (б)

Таким образом, имеется тесная связь между важным элементом гидрологического цикла — испарением с Мирового океана и потоком ГКЛ, который модулируется солнечным ветром, т. е. зависит от солнечной активности. Это позволяет по-новому взглянуть на физический механизм солнечно-земных связей: космическое воздействие осуществляется непосредственно на подстилающую поверхность и затем распространяется на вышележащие слои атмосферы.

Литература

1. Svensmark H. Influence of cosmic rays on climate // *Phys. Rev. Lett.*, 1998, Vol.81, P.5027.
2. Чукин В.В. Корреляционные данные о связи между потоком космических лучей и глобальным количеством облаков // *Фундаментальные исследования*, 2007, №7, С.78-79.
3. Чукин В.В. Влияние солнечной активности на вариации количества облаков // *Современные проблемы науки и образования*, 2009, №6 (приложение "Науки о Земле"), С.3.
4. Hahn C.J., Rossow W.B., Warren S.G. ISCCP cloud properties associated with standard cloud types identified in individual surface observations // *J. Climate*, 2001, Vol.14., P.11-28.
5. Дорфман Я.Г. Всемирная история физики с древнейших времен до конца XVIII века. - М.: Наука, 1974.
6. Герман Дж.Р., Голдберг Р.А. Солнце, погода и климат. - Л.: Гидрометеиздат, 1981.
7. Чернева Н.В. Влияние природных процессов на формирование локального электрического поля атмосферы // *Дисс. на соиск. уч. степ. канд. физ.-мат. наук.* - Паратунка, 2010. - 124 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОИОНОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

В.В. Чукин, У.А. Шермухамедов
Российский государственный гидрометеорологический университет
 chukin@meteolab.ru

Все электрические процессы в атмосфере сопровождаются влиянием аэроионов. Поэтому изучение свойств аэроионов очень важно для решения той или иной задачи. Нами изучена ионизация и рекомбинация легких ионов в лабораторных условиях. Полученные данные сопоставлены с теоретическими расчетами.

В общем виде изменение концентрации легких ионов со временем описывается уравнением вида:

$$\frac{dN}{d\tau} = J - \alpha \cdot N^2 - \beta \cdot N \cdot N_a, \quad (1)$$

где J - скорость ионизации; α - коэффициент рекомбинации легких ионов; β - коэффициент прилипания ионов к аэрозолям; N - концентрация ионов; N_a - концентрация аэрозолей.

Для того чтобы экспериментально определить коэффициенты рекомбинации нами была построена экспериментальная установка, состоящая из ионизатора, счетчика ионов, вентилятора и исследуемой среды объемом 200 л. Измерялись концентрации положительных и отрицательных ионов в различные моменты времени. Анализировался временной ход концентрации ионов при включении и выключении источника ионизации. На рис. 1 показаны типичные зависимости концентрации положительных и отрицательных ионов от времени. Из графиков видно, что:

1. при включении ионизатора концентрация ионов увеличивается со временем до равновесного значения, которое прямо пропорционально скорости ионизации;
2. концентрация отрицательных ионов увеличивается и уменьшается быстрее, чем концентрация положительных ионов;
3. при проведении эксперимента заметное увеличение концентрации ионов происходит не сразу, а только после 8-11 с, что связано с наличием порога чувствительности счетчика ионов и временем, необходимым для наполнения ионами рабочего объема камеры.

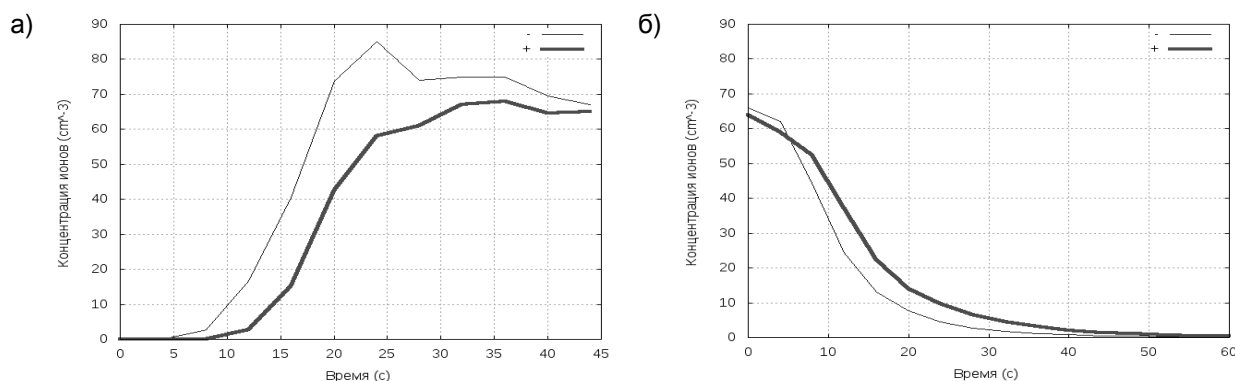


Рис. 1. Зависимость концентрации ионов от времени при включении (а) и выключении (б) ионизатора. Анализ изменения концентрации ионов при включении ионизатора (режим 1) использовался для контроля однородности условий внутри рабочего объема камеры. В равновесном режиме (режим 2), когда концентрация ионов остается практически постоянной, осуществляется определение скорости ионизации.

Для определения коэффициентов рекомбинации анализировались изменения концентрации ионов со временем при выключении ионизатора (режим 3). В этом случае $J=0$ и уравнение (1) преобразуется к виду:

$$\frac{1}{N_-} \frac{dN_-}{d\tau} = -\alpha \cdot N_+ - \beta \cdot N_a, \quad (2)$$

$$\frac{1}{N_+} \frac{dN_+}{d\tau} = -\alpha \cdot N_- - \beta_+ \cdot N_a. \quad (3)$$

Коэффициенты α и βN_a находятся методом наименьших квадратов на основе полученных экспериментальных значений концентрации положительных и отрицательных ионов в различные моменты времени. На рис. 2 представлена иллюстрация зависимости относительной скорости изменения концентрации ионов от концентрации ионов противоположного знака. Аппроксимация этой зависимости линейным уравнением позволяет по наклону прямой определить значение коэффициента α , а пересечение прямой с осью Y дает значение коэффициента βN_a .

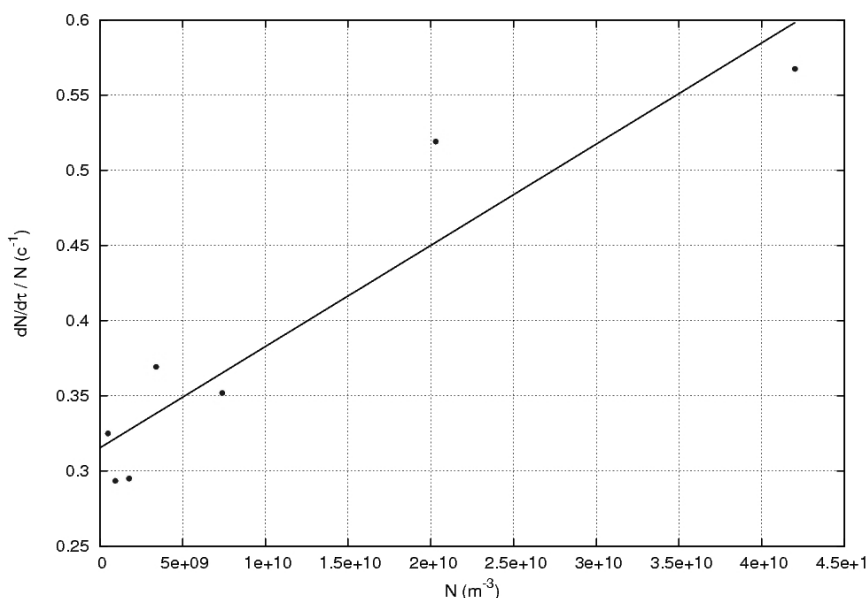


Рис. 2. Вспомогательная функция для определения коэффициентов рекомбинации

Нами получено среднее значение коэффициента $\alpha = 2.51 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3/\text{с}$. Этот результат хорошо согласуется с широко используемыми значениями, которые колеблются в пределах от $1.6 \cdot 10^{-12}$ до $3.6 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3/\text{с}$ [1, 2]. Значения коэффициента α , полученные из анализа значений концентрации отрицательных и положительных ионов, мало отличаются друг от друга.

В виду отсутствия информации о концентрации аэрозолей в рабочем объеме камеры не представляется возможной непосредственная оценка коэффициента прилипания ионов к аэрозолям. Однако возможна оценка отношения коэффициентов прилипания отрицательных и положительных ионов к аэрозолям, которое в среднем составляет:

$$\frac{\beta_-}{\beta_+} \approx 1.2. \quad (4)$$

Более интенсивное прилипание отрицательных ионов к аэрозолям может быть объяснено их более высокой подвижностью по сравнению с положительными ионами, а также с избирательными свойствами поверхности аэрозолей, в частности с наличием пленки воды и двойного электрического слоя на ее поверхности.

Таким образом, созданная лабораторная установка позволяет исследовать свойства легких и тяжелых атмосферных ионов при различных параметрах состояния окружающей среды.

Литература

1. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 2000. – 778 с.
2. Атмосфера. Справочник. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 480 с.

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ СПЕКТРЫ ВАРИАЦИЙ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

М.В. Шаталина¹, В.В. Клименко¹, А.В. Франк-Каменецкий²
 1 - Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

2 - Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт
 aries@appl.sci-nnov.ru

В последнее время ведется активное комплексное изучение статистики и динамики электрического поля в пограничном слое атмосферы в различных метеорологических и геофизических условиях. В 2003-2012 годах в ИПФ РАН был проведен цикл натурных экспериментов, для чего был развернут макет многофункционального экспериментального комплекса по приему и регистрации электромагнитных полей в Нижегородском регионе. Экспериментальные данные по приему электрического поля записывались с помощью электростатических флюксометров и токовых коллекторов, а также СДВ-сфериков с соответствующего приемного устройства [1]. Ранее были изучены высокочастотные спектры грозových событий, собрана статистика грозových разрядов в

течение конвективного сезона (с мая по сентябрь)[2]. Настоящая работа посвящена исследованию низкочастотных спектров вариаций электрического поля в условиях хорошей погоды. Были проанализированы длинные ряды данных, полученные как в зимний, так и летний периоды. На рис.1а. представлен спектр вариаций электрического поля в августе 2011 года. Основной максимум спектра соответствует унитарной суточной вариации электрического поля. Кроме того, наблюдается ярко выраженная гармоника, соответствующая периоду 12 часов, связанная с приливными явлениями. Кроме того, выявлена 4-5 дневная гармоника, соответствующая среднему времени жизни атмосферных циклонов, являющаяся важной климатологической характеристикой атмосферного электрического поля. На рис. 1б показан спектр атмосферного электрического поля в зимний период. Низкочастотная гармоника выражена заметно слабее.

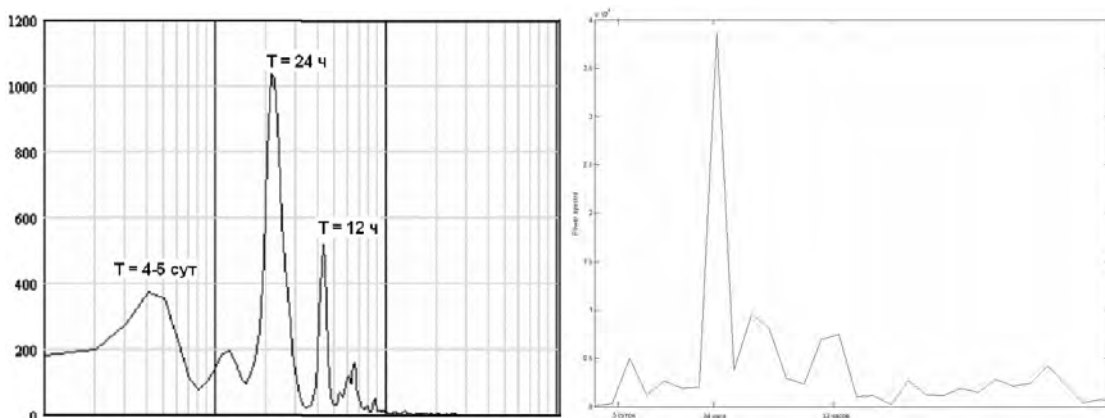


Рис.1. Спектр вариаций электрического поля по данным электростатического флюксметра, установленного на крыше ИПФ РАН (Нижний Новгород), а) - август 2011 г., б) - январь 2012 г.

Для сравнения были исследован спектр электрического поля в Нижегородском регионе в условиях экстремально жаркого лета 2010 года. Это время характеризовалось наличием стабильного атмосферного блокинга в течении нескольких недель. В спектре ожидаемо крайне слабо выражена гармоника, соответствующая времени жизни циклонов. (Рис.2).

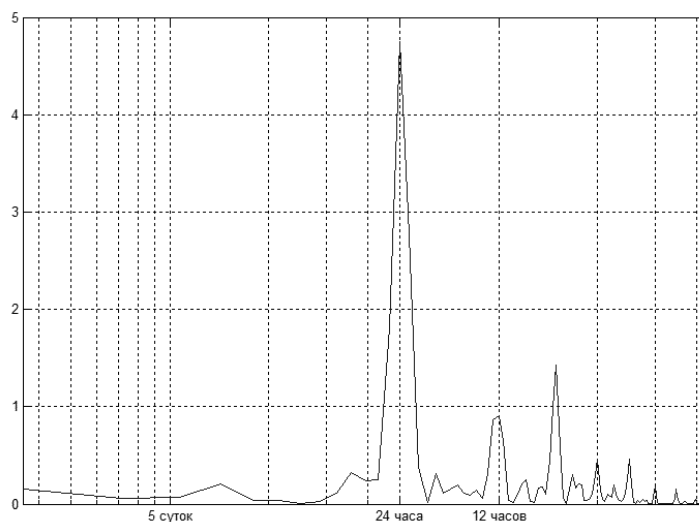


Рис.2. Спектр вариаций электрического поля по данным электростатического флюксметра, установленного на крыше ИПФ РАН (Нижний Новгород, август 2010).

Для сравнения результатов, полученных в Нижегородском регионе, был построен низкочастотный спектр вариаций электрического поля на основе данных, полученных коллегами из ААНИИ, в феврале 2001 года в Антарктиде. Особенностью этого периода была стабильная хорошая погода в течение всего месяца, что позволило для вычисления спектра брать данные сразу за весь период. Результат представлен на рис.3. Двенадцатичасовой максимум выражен заметно слабее, чем в среднеширотных спектрах в связи с тем, что приливные эффекты вблизи полюса почти не оказывают влияние на вариации электрического поля. Гармоника, соответствующая периоду в пять суток,

выражена достаточно четко, хотя ее амплитуда относительно суточной гармоник мала, что объясняется стабильностью атмосферного антициклона в течение периода наблюдений.

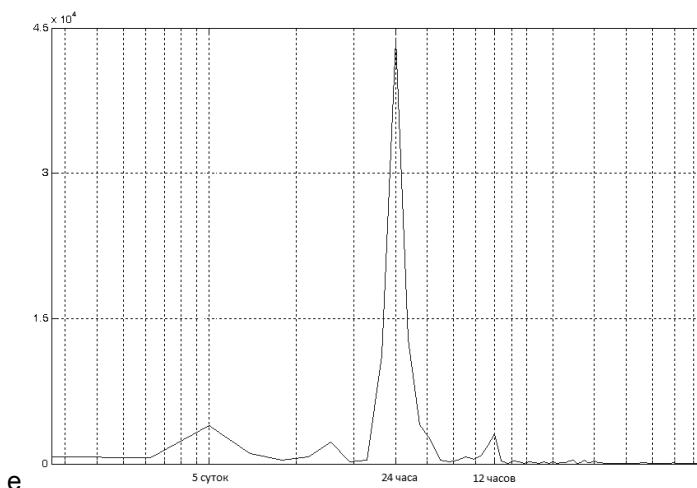


Рис.3. Спектр вариаций электрического поля (Антарктида, февраль 2001 г).

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ОФН РАН «Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследований атмосферных процессов», Грантов РФФИ № 10-05-01045, № 11-05-12055-офи-м-2011, №11-05-97051-р_поволжье_а.

Литература

1. Klimenko V.V., E.A. Mareev, Yu.V. Shlyugaev, V.P. Denisov, M.V.Shatalina, E.A. Shirokov Spectral/Statistical Characteristics of Electric Field Perturbations and their Implications for Thunderstorm Generator Diagnostics // Proc. XIV Int. Conf. on Atmos. Electr. ICAE2011, Rio de Janeiro, Brazil, Aug 2011. 4p.
2. Shatalina M.V., E.A. Mareev, Yu.V. Shlyugaev, V.V. Klimenko, Characteristics of Electric Field Perturbations in the Upper Volga Region, Young Scientists Meeting Land-Ocean-Atmosphere interactions in the Changing World, Vistula Spit, Russia, 5-10 Sept 2011. P.24

ТУРБУЛЕНТНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ АЭРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Н.М. Шихова, С.В. Анисимов

Геофизическая обсерватория Борок ИФЗ РАН, пос.Борок, Ярославская обл
extern@borok.yar.ru

Основным фактором, определяющим динамику электрического состояния невозмущенной приземной атмосферы, служит турбулентное перемешивание и конвективный перенос объемного заряда. Динамика электрического состояния свободной и возмущенной атмосферы проявляется в короткопериодных пульсациях аэроэлектрического поля (диапазон частот $f \cong 10^{-3} \div 1$ Гц) [1].

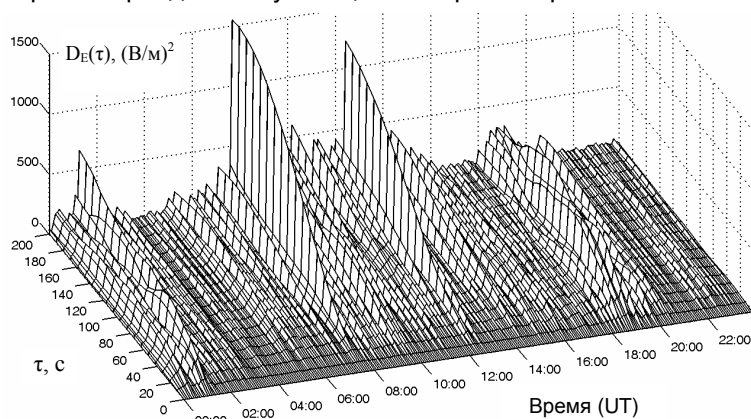


Рис.1 Структурные функции аэроэлектрического поля по данным ГО "Борок" 30.07.2012

Самоподобие является одним из важных свойств однородной турбулентности, которое проявляется, например, в степенном спадании спектра пульсаций. При этом нарушение однородности турбулентности характеризуется перемежаемостью турбулентных пульсаций [5]. Натурные наблюдения позволяют определить статистические характеристики турбулентности, связанные с масштабной инвариантностью, и оценить степенные законы интервалов самоподобия. Цель работы - исследовать механизм формирования турбулентных аэроэлектрических

пульсаций, оценить характеристики самоподобия, предложить методы для выявления временных интервалов турбулентности и перемежаемости в динамике аэроэлектрического поля. Анализ внутрисуточной динамики энергетических и фрактальных показателей короткопериодных пульсаций вертикальной компоненты электрического поля приземной атмосферы ΔE_z выполнялся на основе результатов непрерывных аэроэлектрических и метеорологических наблюдений летних сезонов 2007 – 2012 г., проведенных на полигоне ГО «Борок» ИФЗ РАН [58°04' N; 38°14' E]. Использовались результаты наблюдений, соответствующих условиям «хорошей погоды»: отсутствие осадков, скорость ветра не более 5 м/с, облачность не более 5 баллов.

Для оценки свойств самоподобия во временном интервале $\tau \in (1 \div 200)$ секунд методом стационарных приращений вычислялись структурные функции второго порядка по алгоритму [5]:

$$D_E(t, \tau) = \langle |\Delta E(t+\tau) - \Delta E(t)|^2 \rangle \quad (1)$$

Линейные масштабы аэроэлектрических структур [3,4] вычислялись по значениям τ с учётом одновременно наблюдаемой скорости ветра в приземном слое. Подчеркнём, что характерной особенностью полученных структурных функций (1) аэроэлектрического поля служит наличие интервала самоподобия, величина которого достигает 120 – 200 секунд (рис.1).

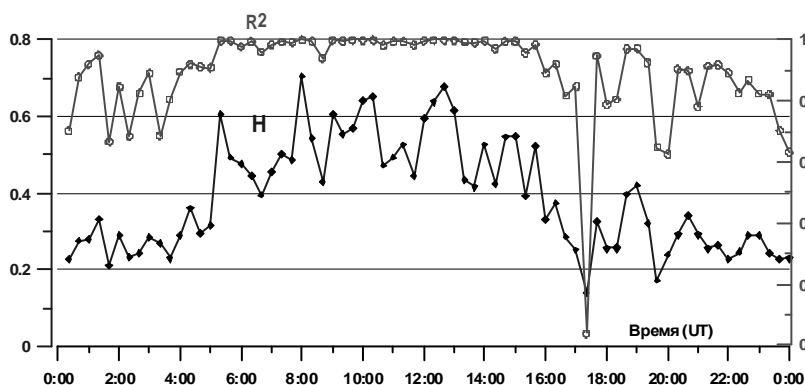


Рис. 2 Динамика показателя Херста (H) в условиях “хорошей погоды” 30.07.2012 по данным ГО “Борок”. R^2 – коэффициент детерминации

Показатель Херста H , использовался для исследования динамики напряженности аэроэлектрического поля. На каждом 20-минутном интервале зависимость дисперсии приращений аэроэлектрических пульсаций ΔE_z от величины временного лага τ описывалась соотношением:

$$\langle (\Delta E_z(\tau))^2 \rangle \sim (\tau)^{2H} \quad (2)$$

На рис.2 приведена суточная вариация показателя H , изменяющегося в интервале 0.25÷0.7 при коэффициенте детерминации $R^2 = 0.8 \div 1$. Заметим, что обнаруженная суточная

вариация показателя Херста ΔE_z во временном интервале 05:00UT - 15:00UT при $H=0.5$ соответствуют процессу с нормальной диффузией, то есть отсутствием дальних и близких корреляций. При этом зависимость дисперсии приращений от расстояния между отсчётами линейна. Значениям $H > 0.5$ в динамике поля ΔE_z соответствует режим супердиффузии. При этом турбулентные пульсации характеризуются дальними корреляциями. Значениям $H < 0.5$ соответствует субдиффузия, что определяет повышенную вероятность генерации короткопериодных флуктуаций относительно вероятности существования тренда. Проведённый анализ показал (рис.2), что достоверная ($p < 0.01$) аппроксимация (2), а, следовательно, наличие в динамике ΔE_z режима однородной турбулентности, соответствует периодам развитой конвекции.

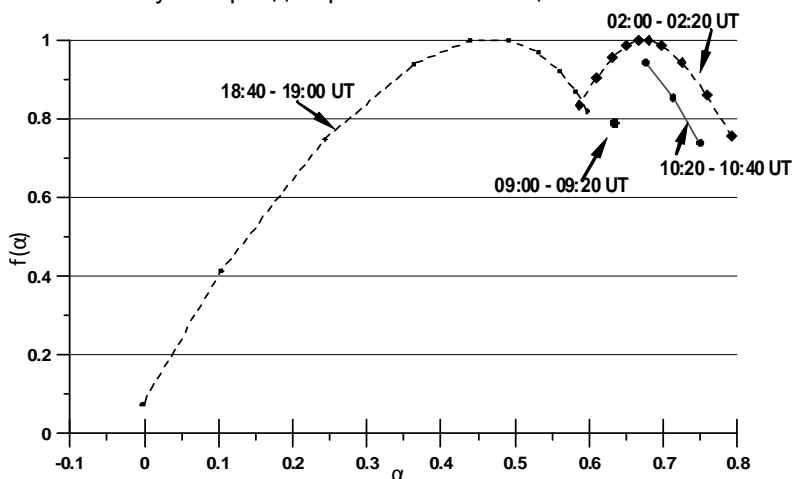


Рис. 3 Спектры сингулярности $f(\alpha)$ аэроэлектрических пульсаций, вычисленные за различные интервалы времени 12.08.2012 по данным ГО “Борок”. По оси абсцисс - показатель Гельдера.

При анализе характера неоднородности турбулентных аэроэлектрических пульсаций ΔE_z обнаружено, что ширина мультифрактального спектра сингулярности $\Delta f(\alpha)$ [2,6] изменяется в пределах 0÷0.6. Значимо отличная от нуля $\Delta f(\alpha)$, характеризующая перемежаемость ΔE_z , в большинстве случаев соответствует временным интервалам, предшествующим началу конвекции. Для условий развитой конвекции или безразличной стратификации ширина $\Delta f(\alpha)$ близка к нулю, $f(\alpha)$ часто вырождается в точку, что соответствует наличию однородной турбулентности ΔE_z (рис.3).

Таким образом, в работе оценены пространственно – временные

масштабы интервала самоподобия, определен характер обобщённого диффузионного процесса

аэроэлектрических пульсаций. Обнаружены участки с перемежаемостью турбулентности, соответствующие резкой смене активных турбулентных и пассивных ламинарных фаз динамики ΔE_z . Перемежеемость турбулентных аэроэлектрических пульсаций может быть обусловлена пространственной неоднородностью плотности электрического объёмного заряда. Проанализированы характеристики турбулентных пульсаций ΔE_z и связь ΔE_z с метеорологическими параметрами пограничного слоя атмосферы. Получены оценки взаимосвязи динамических (фрактальные размерности, показатели перемежаемости) и энергетических (показатели наклона спектра и структурной функции) характеристик ΔE_z . Предложены критерии обнаружения аэроэлектрических пульсаций турбулентной, перемежающейся и квазиламинарной природы, которые могут быть использованы для построения динамических моделей генерации нелокального геофизического поля.

Работа подготовлена при поддержке РФФИ (грант 12-05-00820-а) и Программы ОНЗ РАН №7.

Литература

1. Анисимов С.В., Шихова Н.М., Мареев Е.А, Шаталина М.В. Структуры и спектры турбулентных пульсаций аэроэлектрического поля// Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, 39, №6, с.765-780, 2003.
2. Любушин А.А. Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга. М: Наука, 2007. 228 с.
3. Anisimov, S.V., Bakastov, S.S. and Mareev E.A., 1994. Spatiotemporal structures of electric field and space charge in the surface atmospheric layer. J. Geophys. Res. 99, 10603 - 10610.
4. Anisimov, S.V., Mareev E. A. and Bakastov S. S., 1999. On the generation and evolution of electrostatic structures in the surface layer. J. Geophys. Res. 104, 14359-14367.
5. Frisch U. Turbulence. The legacy of A.N. Kolmogorov. Cambridge University Press, Cambridge, 1995. 296 pp.
6. Muzy J.F., Bacry E., Arneodo A. Wavelets and multifractal formalism for singular signals: application to turbulence data // Phys. Rev. Lett. 1991. V.67. 3515–3518.

МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ВЕРХНЕ-ВОЛЖСКОМ РЕГИОНЕ

Ю.В. Шлюгаев¹, В.В. Клименко¹, Е.А. Мареев¹, А.А. Панютин², В.В. Соколов², М.В. Шаталина¹
1 - *Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород*
2 - *Департамент Росгидромета по ПФО, Нижний Новгород*
yshl@mail.ru

В последнее время проблема построения систем предупреждения об опасных метеорологических явлениях, и в частности грозовых явлениях, привлекает повышенный интерес физиков и метеорологов. Кроме того, изучение распределения опасных метеорологических явлений и их тенденций является неотъемлемой и очень важной частью региональной климатологии, поскольку климат характеризуется как долгосрочными средними значениями, так и статистикой экстремальных метеорологических явлений в том или ином регионе.

В данном исследовании используется база данных натурных экспериментов по дистанционному зондированию электрического поля и тока, а также регистрации радиоимпульсов от близких и далеких гроз, произошедших в Верхнем Поволжье в конвективные сезоны 2007-2011 гг.

Комплексные полевые эксперименты были проведены на основе наблюдений на установках, расположенных в городе Нижнем Новгороде и городе Городце (56,68 С.Ш. 43,43 В.Д) примерно в 60 км к северо-западу от Нижнего Новгорода. Радиоимпульсы от гроз регистрировались с помощью портативного трехкомпонентного СДВ приемника. Частота дискретизации составляет 20 Гц в условиях хорошей погоды и 20 кГц в течение одного часа после регистрации сигнала от грозового разряда. Использовались также данные 3,2 см метеорадара, находящегося в Нижнем Новгороде, с дальностью действия около 150 км, и данные стандартного аэрологического зондирования, проводимого в Нижнем Новгороде. В результате наблюдений была создана уникальная база аэроэлектрических и электромагнитных данных для экстремальных метеорологических событий, имевших место в летние периоды 2007 - 2011 гг.

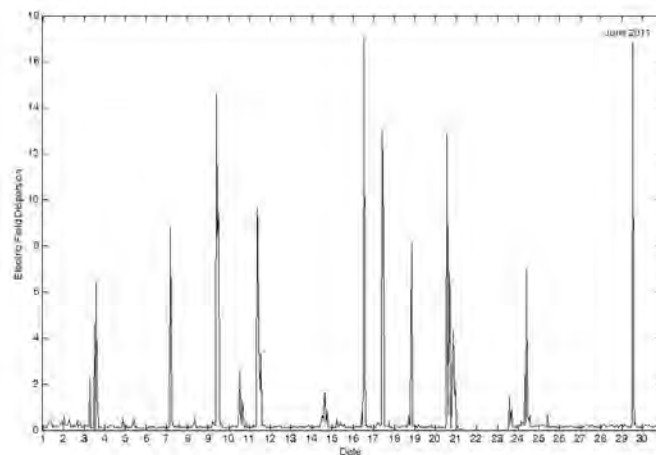


Рис.1. Дисперсия электрического поля в июне 2011 года с часовым усреднением

Большой интерес с точки зрения климатологии грозы, а также сравнительного анализа результатов наблюдений грозового электричества с метеорологическими данными представляют непрерывные ряды записи электрического поля. В период грозовой активности усредненное поле достигает величин порядка 10 кВ/м, причем знак поля часто меняется. Поэтому были построены ряды дисперсии вертикальной компоненты электрического поля с часовым усреднением. На рис. 1 приведены данные непрерывной записи вертикальной компоненты электрического поля с помощью флюксметра, установленного на крыше ИПФ РАН, для июня 2011 г., с часовым усреднением. Интенсивные грозовые события хорошо видны в виде пиков дисперсии поля для соответствующих дат.

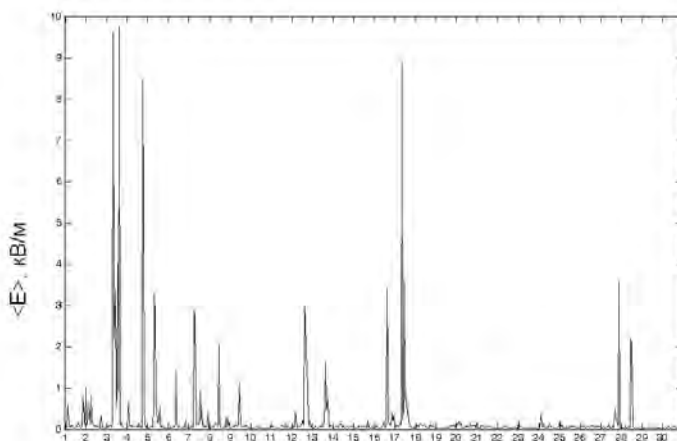


Рис.2. Дисперсия электрического поля в июне 2010 года с часовым усреднением

Данные для июня 2010 г. приведены на рис. 2. Ряды дисперсии поля удобны для изучения региональной климатологии грозовой активности и хорошо коррелируют с наблюдательными данными по грозам. Так, в перечне метеорологических данных по Н.Новгороду за 2010 г. отмечены грозы 3, 4, 12, 17 июня, 9 июля, 19 августа. Все они видны на записях дисперсии поля, хотя на этих записях присутствует множество гроз, в метеорологических наблюдениях не отмеченных.

Наиболее перспективными методами мониторинга опасных метеорологических явлений являются, несомненно, дистанционные, среди которых выделяются методы, связанные с контролем электрической и электромагнитной активности, сопровождающей опасные метеорологические явления, в первую очередь интенсивную конвекцию и грозы.

В качестве примера приведены данные грозопеленгатора фирмы Voltek (рис.3), установленного на крыше ИПФ РАН для грозы 11 августа 2010 года.

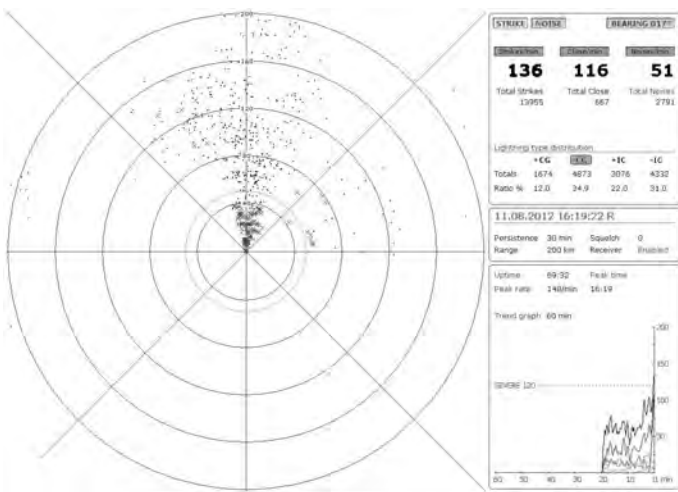


Рис. 3. Данные грозопеленгатора для грозы 11 августа 2012 года

Среди гроз, проходящих по территории, доступной для наблюдений, каждый год можно выделить несколько событий, отличающихся от общей массы по ряду признаков. Такими признаками обычно являются частота следования разрядов, общая продолжительность грозы и регистрируемые величины статических и разрядных полей. Указанные параметры позволяют оценивать мощность и энергию грозового генератора и, как следствие, характеризовать возможные негативные последствия. В 2009 году таким событием явилась гроза 11 июля, представлявшая собой длинную линию шквала. В 2010 году можно выделить два наиболее интересных события – 12 июля, сопровождавшееся вихревыми явлениями и 19 августа – мощное единичное облако.

Использование дистанционных методов, кроме очевидных преимуществ, связанных с возможностью автоматизации наблюдений, круглосуточной работы с высоким временным разрешением и возможностью перекрытия сравнительно небольшим количеством пунктов значительных территорий при высоком пространственном разрешении, сопровождается и трудностями, связанными с необходимой степенью достоверности получаемых результатов.

Для обеспечения надежного сбора данных электрического поля в 2010 году была создана система дистанционного контроля работы измерительного комплекса в Городце с использованием возможностей сотовых GSM модемов. Первоначально планировалось использовать связь через Интернет для передачи данных и управления комплексом, но оказалось, что местный оператор не обеспечивает надежной GPRS связи, блокируя подключение модема через непродолжительное время работы. Поэтому была создана система частично на базе готовых решений, таких как сторожевой таймер LDog с возможностью отправки SMS сообщений и программно-аппаратным контролем зависаний исполняемой программы, частично на базе собственных разработок, позволяющих выполнять на удаленном компьютере набор скриптов и получать через SMS информацию о работе удаленного комплекса сбора данных. Пробная эксплуатация показала высокую надежность и функциональность созданной системы.

Структура данных, сочетающая разные стороны проявлений электрической активности как в условиях хорошей погоды, так и в грозовых, возмущенных условиях дает возможность проводить детальный анализ электромагнитной обстановки в регионе. Наряду с данными, полученными на базе Волжской гидрометеорологической обсерватории (Городец), использовались результаты приемных пунктов на территории аэрологической станции «Нижний Новгород» и на крыше ИПФ РАН. Использовались также данные метеорологического радиолокатора (Нижний Новгород). Для более удобного обращения с данными метеорадара была написана программа, расшифровывающая код Аксопри для его преобразования в нужную форму. При этом отпала необходимость в большом объеме ручной работы при обработке локационных данных и появились новые возможности представления данных радарного зондирования в репрезентативном виде, в частности путем построения трехмерных картин облачности. Пример такой картины для грозы 19 августа 2010 года представлен на рисунке 4.

Наряду с непрерывными измерениями электрического поля в трех пунктах – ИПФ РАН, аэрологическая станция «Нижний Новгород» (8,5 км от ИПФ), и Волжская гидрометеорологическая обсерватория (около 60 км от ИПФ), использована оригинальная методика измерения числа грозových часов в сутках, основанная на регистрации радиоизлучения СДВ диапазона (сфериков) ближних и дальних гроз. Наблюдения, проведенные в течение конвективного сезона 2010 г., показали, что число грозových часов в сутках коррелирует со средней температурой воздуха и служит количественным показателем интенсивности конвективных процессов в атмосфере не только в средне-климатических условиях, но и в условиях аномально жаркой и сухой погоды. В течение лета 2010 г. в Нижнем Новгороде 23 раза были перекрыты абсолютные максимумы температуры воздуха. Аномально жаркая и сухая погода определялась влиянием антициклона, который более 2 месяцев располагался над Европейской территорией России. Несмотря на аномально жаркую и сухую погоду, внутримассовые грозы на территории региона с характерным масштабом в несколько сотен километров были достаточно многочисленными. По сравнению с «обычной» средне-климатической ситуацией, однако, среднее число грозových часов в сутках (ср. с результатами 2007-2009 гг., а также начала лета 2010 г.) в период максимальной температуры уменьшилось, а их интенсивность упала.

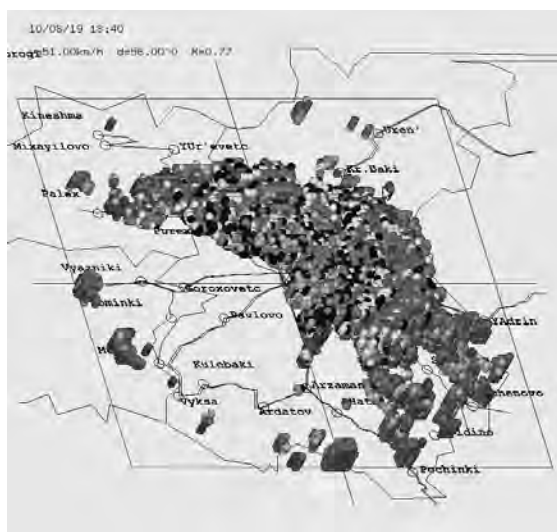


Рис. 4. Трехмерная картина облачности для грозы 19 августа 2010 года. Цвет соответствует интенсивности радиолокационного сигнала.

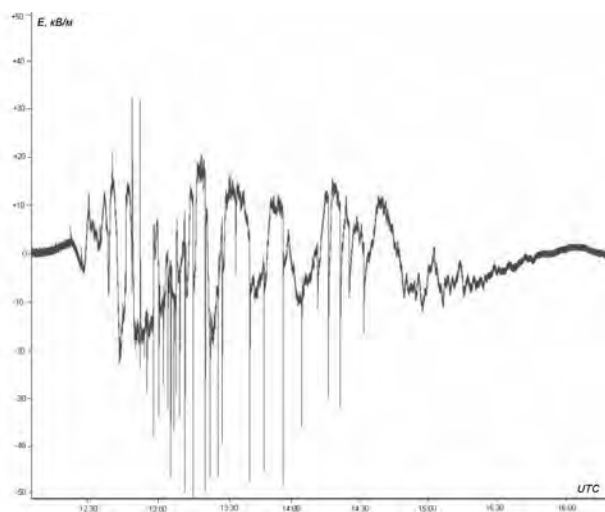


Рис. 5. Электрическое поле во время грозы 19 августа 2010 года. Время по Гринвичу (г. Городец)

Смена атмосферных процессов летом 2010 г. произошла лишь в конце второй – начале третьей декады августа благодаря проникновению в район Верхней Волги атлантических циклонов и прохождению атмосферных фронтов. Как и прогнозировалось, при этом наблюдались сильные грозы; наиболее интенсивной и разрушительной из них в Нижнем Новгороде оказалась фронтальная гроза 19 августа 2010 г. (см. результаты ее регистрации с помощью радиолокатора и электростатического флюксметра на рис.4-6). Особый интерес вызывают результаты измерений количества разрядов в минуту для наиболее интенсивных гроз (пример для грозы 19 августа 2010 г. приведен на рис.7).

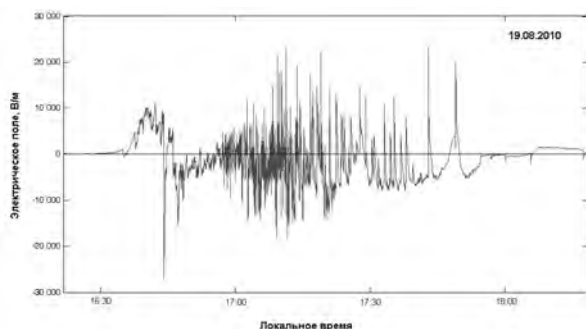


Рис. 6. Возмущения атмосферного электрического поля, зарегистрированные 19.08.10 флюксметром на аэрологической станции «Нижний Новгород».

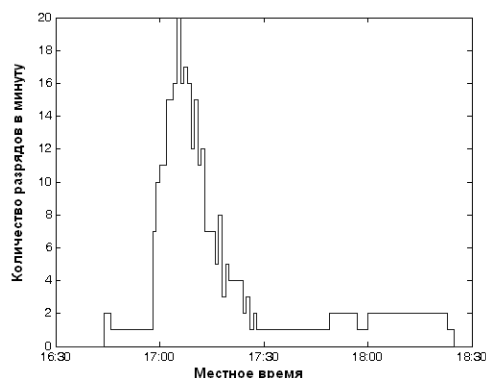


Рис. 7. Плотность разрядов в единицу времени во время грозы 19.08.10 по данным флюксметра на аэрологической станции «Нижний Новгород».

В результате наблюдений, проведенных в течение конвективных сезонов 2007-2011 гг. установлено, что число грозовых часов в сутках коррелирует со средней температурой воздуха и может служить количественным показателем интенсивности конвективных процессов в атмосфере, что открывает широкие возможности использования простых дистанционных измерений для мониторинга конвективных процессов и изучения климатологии грозы.

Разработана модель, позволяющая описывать динамику электрической структуры и формирование интенсивных зарядовых слоев в облачных системах с использованием данных радиолокационного (активного) зондирования. Модель основана на системе уравнений квазигидродинамики основных фракций, участвующих в процессах формирования зарядовых слоев. Ключевую роль при написании этой системы играет параметризация процессов электризации облачных частиц. При разумных предположениях о характере электризации при таянии облачных частиц полученные решения описывают структуру и динамику пространственно разделенных областей электрического заряда в стратифицированной области слоисто-дождевых облаков и мезомасштабных конвективных систем.

Создан пакет программ, предназначенных для анализа данных радиолокационного зондирования. Анализ данных радиолокационного зондирования позволяет воспроизвести временную зависимость фрактальной размерности зон интенсивной внутриоблачной конденсации по мере развития грозовой системы. Результаты монофрактального и мультифрактального анализа радиолокационных изображений ряда интенсивных грозовых событий конвективных сезонов 2009-2010 гг. подтвердили фрактальный характер внутриоблачной динамики, что дало возможность проследить временную зависимость фрактальной размерности зон интенсивной внутриоблачной конденсации по мере развития грозовой системы. Показано, что изменения фрактальной размерности радиолокационного изображения имеют высокую корреляцию с вариациями интенсивности радарного эха и уровнем грозовой активности. Полученные результаты дают принципиальную основу для оперативного анализа радиолокационных наблюдательных данных, в частности для оперативного мониторинга зон интенсивных осадков в облачной системе.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 10-05-01045, № 11-05-97051, программы РАН «Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследования», Государственных контрактов с Министерством образования и науки No. 16.518.11.7006 от 12 мая 2011 г. и No. 11.519.11.5017 от 5 ноября 2011 г.

Литература

1. В.В. Клименко, Е.А. Мареев, Ю.В. Шлюгаев, Е.В. Широков, М.В. Шаталина. Статистические характеристики электрической активности грозовых облаков, Изв. РАН - ФАО (в печати).
2. Yu.V. Shlyugaev, V.V. Klimenko, E.A. Mareev, A.A. Panyutin, Study of Regional Features of Lightning Climatology, in Proc. of XIV International Conference on Atmospheric Electricity, Rio de Janeiro, Brazil, August 08-12, 2011.
3. Yu.V. Shlyugaev, V.V. Klimenko, E.A. Mareev, V.V. Sokolov, M.V. Shatalina, Electromagnetic Signatures of Extreme Meteorological Events in the Upper Volga Region, in Proc. of XIV International Conference on Atmospheric Electricity, Rio de Janeiro, Brazil, August 08-12, 2011.
4. V.V. Klimenko, E.A. Mareev, Yu.V. Shlyugaev, V.P. Denisov, M.V. Shatalina, E.A. Shirokov, Spectral/Statistical Characteristics of Electric Field Perturbations and their Implications for Thunderstorm Generator Diagnostics, in Proc. of XIV International Conference on Atmospheric Electricity, Rio de Janeiro, Brazil, August 08-12, 2011.

РАДИАЦИОННАЯ ОПАСНОСТЬ ШАРОВОЙ МОЛНИИ

М.Л. Шматов

*ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия
M.Shmatov@mail.ioffe.ru*

Предположение о радиационной опасности шаровой молнии было впервые опубликовано М.Т. Дмитриевым в 1967 г. [4]. Это предположение соответствует, прежде всего, ряду сообщений о воздействии шаровой молнии на людей. Так, например, по свидетельству Е.А. Асонова, после наблюдения шаровой молнии он испытывал общее недомогание в течение полугода, при этом он также сообщал о бесконтактном повреждении фотоаппарата [1], которое могло быть вызвано действием фотонов высоких энергий [18]. В работе [5] сообщается о бесконтактном физиологическом воздействии шаровой молнии на двух человек в Архангельском соборе Московского Кремля, при этом высказывается предположение, что данное воздействие было вызвано жестким ультрафиолетом. Отметим, что первое сообщение, которое можно интерпретировать как информацию о лучевом поражении людей шаровой молнией, было опубликовано в 1886 г. [13] (см. также [15,18,21] и библиографию в [18,21]). Отметим также, что И.П. Стаханов сообщал о письме, содержащем утверждение о выпадении волос, зубов и появлении признаков лучевой болезни после прохождения шаровой молнии около автора письма [12 (стр. 17)]. Сам И.П. Стаханов расценивал это сообщение как миф [12].

Предположению о лучевой опасности шаровой молнии также соответствуют некоторые сообщения о воздействии на людей светящихся объектов, принятых наблюдателями за летательные аппараты земного или, чаще, неземного происхождения. У таких наблюдателей в нескольких случаях наблюдались признаки лучевого поражения – см., например, [8,21] и библиографию в этих работах. Подчеркнем, что воздействие ионизирующего излучения на человека может привести к так называемому рентгеновскому (или рентгеновому) похмелью – состоянию, похожему на опьянение или оглушение [7,9], устрашающим сновидениям [9] и слабоумию [17]. Эти эффекты могут быть причиной некоторых сообщений об общении с гуманоидами, вышедшими из светящихся летательных аппаратов, и т. п. (см. также [8,21]).

О мощности излучения большой шаровой молнии говорит факт, приведенный в работе [6]: шаровая молния диаметром приблизительно полтора метра во время сильного дождя расплавляла приблизительно 440 кг грунта. Образовавшийся шлак заполнял яму диаметром приблизительно

полтора метра и глубиной 20-25 см. Шаровая молния находилась вблизи поверхности земли в течение короткого времени (авторы работы [6] при оценке мощности излучения условно полагали это время равным 0.1 с), что исключает прогрев грунта за счет теплопроводности. Таким образом, нагрев грунта был объемным (объемный характер нагрева обсуждался в качестве предположения и в работе [6]). Авторы [6] на основании экспериментов пришли к выводу, что электрический ток создать шлак типа наблюдавшегося не мог и считали наиболее вероятной причиной плавления грунта воздействие радиоволн. В работе [19] обсуждаемое плавление грунта объясняется воздействием фотонов высоких энергий.

Основное предположение модели, предложенной автором данной работы, заключается в том, что шаровая молния обладает ядром, которое состоит из облаков электронов и полностью ионизованных ионов, осциллирующих относительно друг друга [18-21]. Максимальная по периоду колебаний кинетическая энергия электрона $\max \varepsilon_k$ может достигать приблизительно 100 МэВ, но в большинстве случаев составляет, по-видимому, величину порядка 0.1-10 МэВ даже сразу после формирования шаровой молнии. При $\max \varepsilon_k$ порядка 0.1-10 МэВ основные потери энергии шаровой молнии обусловлены тормозным излучением, при $\max \varepsilon_k$ порядка 10 кэВ и ниже становятся существенными потери энергии, связанные с радиационной рекомбинацией и последующей столкновительной ионизацией возникших в результате этой рекомбинации водородоподобных ионов [19]. Согласно модели, время жизни шаровой молнии может быть порядка 1-10 с, что соответствует наблюдательным данным (см., например, [11,12]), при таких временах жизни максимальная объемная плотность энергии может достигать величины порядка 1 кДж/см³ [18,19]. Стабильность ядра шаровой молнии частично обеспечивается атмосферным давлением, а его изоляция от окружающей атмосферы – так называемым обедненным слоем, возникающим вследствие ионизации воздуха вблизи ядра [18]. При фиксированных значениях $\max \varepsilon_k$ и концентрации электронов в ядре стабильность шаровой молнии достигается при достаточно большом радиусе ядра, характерное значение этого радиуса – порядка 1-10 см [18,19], что также соответствует наблюдательным данным (см. [11,12]).

Данные из работ [2,3,10,14,16] позволяют предположить, что при формировании шаровой молнии первоначальный разгон электронов до энергий порядка 0.1-10 МэВ происходит в стримерной зоне, при этом на первом этапе данного процесса происходит разгон до кинетических энергий порядка 1-10 кэВ в поле головок стримеров, а на следующем этапе – в поле, усредненном по сравнительно большому объему.

Большая радиационная опасность шаровых молний с большими размерами и большими начальными значениями $\max \varepsilon_k$ может быть одной из причин сравнительно малого числа сообщений о больших шаровых молниях и большом энерговыделении шаровых молний по причине быстрой смерти наблюдателей.

При поражении человека шаровой молнией предположение об его облучении фотонами высоких энергий может быть проверено, в частности, путем анализа эмали зубов – см. [20] и библиографию в этой работе.

1. Альфтан Э. Сгусток ионов? Вполне возможно // Техника – Молодежи, 1982, № 3. С. 38-41.
2. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. М.: Физматлит, 2001. – 320 с.
3. Гуревич А.В., Зыбин К.П. Пробой на убегающих электронах и электрические разряды во время грозы // УФН, 2001, Т. 171. С. 1177-1199.
4. Дмитриев М.Т. Природа шаровой молнии // Природа, 1967, № 6. С. 98-106.
5. Дмитриев М. Молния в храме // Вокруг света, 1979, № 6. С. 45.
6. Дмитриев М.Т., Бахтин Б.И., Мартынов В.И. Исследование термического фактора шаровой молнии // ЖТФ, 1981, Т. 51. С. 2567-2572.
7. Киреев П.М. Лучевая болезнь (клиника, диагностика и лечение). М.: Медгиз, 1960. – 52 с.
8. Колчин Г.К. НЛО. Факты и документы. Л.: Географическое общество СССР, 1991. – 384 с.
9. Куршаков Н.А. Лучевая болезнь // Многотомное руководство по внутренним болезням (отв. ред. А.Л. Мясников), т. X (ред. тома Н.А. Куршаков). М.: Медгиз, 1963. – С. 213-258.
10. Орешкин Е.В., Баренгольц С.А., Огинов А.В. и др. Тормозное излучение быстрых электронов в длинных газовых промежутках // Письма в ЖТФ, 2011, Т. 37, Вып. 12. С. 80-87.
11. Сингер С. Природа шаровой молнии. М.: Мир, 1973. 240 с.
12. Стаханов И.П. О физической природе шаровой молнии. М.: Научный мир, 1996. – 263 с.
13. Cowgill W. Curious Phenomenon in Venezuela // Sci. Am. 1886, Vol. 55, N 25. P. 389.
14. Dwyer J.R., Rassoul H.K., Al-Dayeh M. et al., X-ray bursts associated with leader steps in cloud-to-ground lightning // Geophys. Res. Lett., 2005, Vol. 32. L01803.
15. Garfield E. When citation analysis strikes ball lightning // Essay of an Information Scientist, 1976, Vol. 2, Pp. 479-490.

16. Pasko V.P., Inan U.S., Bell T.F. Spatial structure of sprites // *Geophys. Res. Lett.*, 1998, Vol. 25. Pp. 2123-2126.
17. Robbins M.E., Bourland J.D., Cline J.M. et al. A model for assessing cognitive impairment after fractionated whole-brain irradiation in nonhuman primates // *Rad. Res.*, 2011, Vol. 175. Pp. 519-525.
18. Shmatov M.L. New model and estimation of the danger of ball lightning // *J. Plasma Phys.*, 2003, Vol. 69. Pp. 507-527.
19. Shmatov M.L. Ball lightning with energies of the order of 10^9 J // *Proceedings 8th International Symposium on Ball Lightning (ISBL 04)* (ed. by J.Y. Liu, H. Ofuruton and M. Kamogawa), National Central University (NCU), Chung-Li, Taiwan, 3rd-6th August 2004. Pp. 51-56.
20. Shmatov M.L. Expected spectrum of high-energy photons from ball lightning // *J. Plasma Phys.*, 2006, Vol. 72. Pp. 277-284.
21. Shmatov M.L. Radiation hazard of ball lightning: observational data and their theoretical explanation // *International Journal "Unconventional Electromagnetics and Plasmas"* (UEP), 2009, Vol. 2. Pp. 181-185.

КОМПЛЕКСНОЕ АТМОСФЕРНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ И ВОДОРОД-РАДОНОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

В.Н. Шулейкин

*Институт проблем нефти газа Российской академии наук, ИПНГ РАН
shvn1947@yandex.ru*

Исследования состояния оползневых тел ведется с использованием электро- и сейсморазведки. Реже комплекс дополняется термометрией, высокоточной гравиметрией и магнитными наблюдениями [2,3]. Используемые методы контроля эффективны, но трудоемки. Поэтому остановимся на особенностях тела оползня, допускающих применение нетрадиционного геофизического подхода для решения задачи о его напряженном состоянии.

Мощность оползня существенно меньше его длины [3,4]. Возникающие в теле оползня зоны повышенной трещиноватости – зоны растяжения, - и зоны сжатия будут иметь субвертикальную направленность. При постоянстве состава и плотности потока летучих газов, подходящего к оползню из земных недр, непосредственно в теле оползня плотность этого потока будет перераспределяться. По зонам растяжения будет иметь место максимальный газообмен, по зонам сжатия – минимальный. Побуждающей причиной движения оползня является наличие влаги [3]. Уже при 30% влажности грунта воздухообмен почва-атмосфера будет осуществляться исключительно по пространству трещин – поровое пространство будет тампонировано водой.

Перечисленные особенности оползневого тела указывают на возможность контроля его напряженного состояния по относительной газопроницаемости, текущий оперативный контроль которой можно осуществлять в условиях естественного залегания в относительных единицах [5]. Для этого на выбранном участке на системе наблюдательных пикетов достаточно провести оперативные измерения какого-либо летучего газа в грунте и нормировать полученные значения на максимальное зарегистрированное значение выбранного параметра. Единичное значение будет наблюдаться на участке оползня, где растяжение на момент наблюдений максимально. Минимальное значение – на участке максимального сжатия.

Впервые в инженерно-геологической практике относительная газопроницаемость использовалась в начале 90-х годов при контроле состояния контрафорсов, установленных по бокам - 1 и ниже - 3 аварийного здания рис. 1. В качестве контрольного параметра использовались полярные проводимости почвенного воздуха – первичный продукт ионизации почвенного радона, переносимого

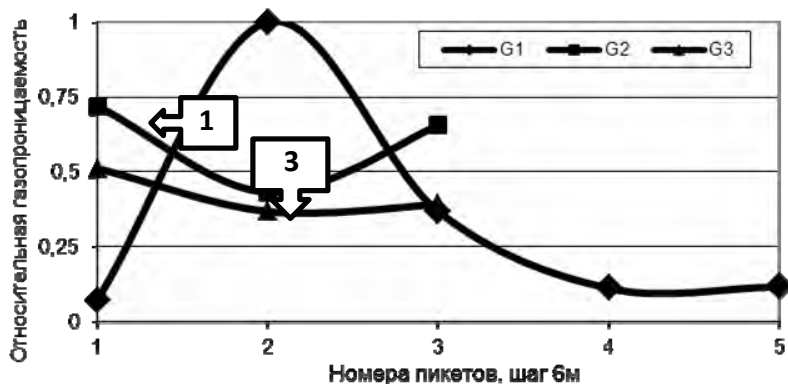


Рис. 1 Относительная газопроницаемость у контрафорсов 1 и 3

вне скоплений углеводородов в основном водородом.

Искомая относительная газопроницаемость представлялась как частное от деления контролируемого параметра на каждом наблюдательном пикете на его максимальное значение, зарегистрированное на всей площади измерений. Результаты этих измерений представлены на графиках рис. 1.

Контрафорс 1 жестко связан с правым торцом здания и находится в рабочем состоянии;

стрелка показывает движение вниз по склону. Ниже контрафорса на пикете 1 максимальное сжатие; выше, на пикете 2 – максимальное растяжение. Контрафорс 3 очевидно находится в нерабочем состоянии – уровень относительной газопроницаемости $G(2/2) = 0.43$, что в 6 раза больше чем на пикете $G(1/1) = 0.07$. Уровень относительной газопроницаемости на пикете 2 профиля 3, на 12м ниже контрафорса $G(3/2) = 0.37$. Т. е., грунт насыпной ступени ниже профиля 3 по склону в большей мере сдерживает движение, нежели чем контрафорс.

Оценим возможность комплексного измерения величины относительной газопроницаемости грунта в условиях естественного залегания. Отбор фиксированного объема почвенного воздуха из системы пробоотборных скважин одинакового размера для оперативного определения в них концентрации одного из летучих газов позволяет говорить о пропорциональности концентрации этого газа газопроницаемости. Нормирование полученных величин концентраций на зарегистрированное максимальное значение контролируемого параметра на исследуемой площади позволяет перейти к относительным значениям газопроницаемостей.

В качестве основного контрольного параметра возьмем водород почвенного воздуха. После проведения цикла наблюдений на выбранной системе пикетов искомая газопроницаемость представима, как частное от деления текущего значения объемной концентрации водорода на максимальное зарегистрированное значение объемной концентрации водорода $G_i(H) = H_i/H_{max}$.

Согласно модельным представлениям [7], водород почвенного воздуха является газом носителем почвенного радона - Rn_i в атмосферу $Rn(a)_i = A + B \cdot Rn_i \cdot H_i$. Дополняя наблюдения водорода измерением радона почвенного и атмосферного воздуха, можно получить расчетную информацию об относительной газопроницаемости, но уже как функцию радона грунта и атмосферы - $G_i[Rn(a), Rn]$.

Информация об объемной концентрации радона атмосферы содержится в локальных значениях полярных проводимостей - L_i и в обратной величине атмосферного электрического поля - $1/E_i$. Проводя измерения полярных проводимостей - L_i и поля - E_i на каждом наблюдательном пикете можно рассчитать относительные газопроницаемости, но уже как функции полярных проводимостей и радона грунта - $G_i(L, Rn)$ и как функции обратной величины атмосферного электрического поля и радона грунта - $G_i(1/E, Rn)$. При окончательной оценке относительной газопроницаемости переходим к ее средней величине $G_i = 1/4 \{G(H_i) + G[Rn(a), Rn] + G_i(L, Rn) + G_i(1/E, Rn)\}$

Рассмотрим результаты практического использования комплексных атмосферно-электрических и газовых наблюдений в 9 последовательных циклах измерений на оползне у хутора Усть-Невинский (Ставропольский край), современные движения которого были спровоцированы прокладкой газопровода. Исследуемый геологический объект пересечен 4 наблюдательными профилями по 25 пикетов на каждом. На этих пикетах в период с 06.2004 по 06.2008 было проведено 9 циклов измерений относительной газопроницаемости. Для контроля изменений напряженного состояния оползня рассматривалась разностная относительная газопроницаемость между результатами измерений 2 и 1 циклов, 3 и 1 циклов и т. д. Положительные вариации разностной относительной газопроницаемости означали процесс растяжения; нулевые – неизменность напряженного состояния; отрицательные – сжатие.

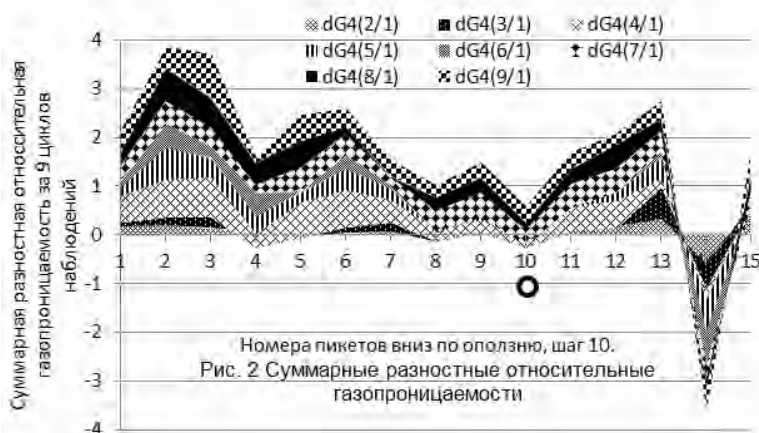


Рис. 2 Суммарные разностные относительные газопроницаемости

На рис. 2 приведены суммарные разностные относительные газопроницаемости, зафиксированные на 4 профиле, в центральной части которого проходит трубопровод. За 9 циклов наблюдений напряженное состояние здесь осталось практически неизменным. Т. е. за 5 лет наблюдений нагрузка на трубу газопровода практически не претерпела никаких изменений. Практика 5-ти летних наблюдений на оползневом склоне показала, что полный цикл измерений занимает 4-5 дней.

Причем минимум сутки уходят на восстановление исходных положений наблюдательных пикетов. Для решения задачи о динамике напряженного состояния среды у трубопровода количество наблюдательных пикетов можно уменьшить в три-четыре раза. В этом случае стационарное закрепление положений наблюдательных пикетов на исследуемом геологическом объекте позволит сократить время работ до одних суток. Т. е. выбрать день, когда местные погодные условия будут максимально благоприятствовать проведению исследований.

Материалы 9 циклов полевых наблюдений на оползне, современные движения которого были спровоцированы прокладкой газопровода и их анализ позволяют утверждать что:

- предложенная методика комплексных атмосферно-электрических и газовых наблюдений позволяет уверенно контролировать текущее напряженное состояние оползневого тела;
- повторная реализация методики по единой системе наблюдательных пикетов на исследуемом геологическом образовании позволят отслеживать изменения напряженного состояния за временной интервал между циклами измерений.

Литература

1. Зубарев А.П., Шулейкин В.Н. Комплексный геофизический и геохимический контроль при эксплуатации подземных газохранилищ// М.: издательство ООО «Газпром ПХГ». 2009. 264с.
2. Никитин В. Н., Основы инженерной сейсмологии, М., Издательство МГУ, 1981, 175с.
3. Огильви А. А., Основы инженерной геофизики, М., Недра. 1990, 501с
4. Сергеев Е.М. Инженерная геология. М.: Издательство МГУ. 1978. 384с.
5. Шулейкин В.Н., Резниченко А.П., Никулин Д.А. Нетрадиционный метод контроля напряженного состояния оползневого склона//Технологии ТЭК, 2005, № 5.С.84-87.

АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ НАД УГЛЕВОДОРОДНЫМИ СКОПЛЕНИЯМИ

В.Н. Шулейкин

Институт проблем нефти и газа Российской академии наук, ИПНГ РАН
shvn1947@yandex.ru

Исследования последних лет позволили построить модельное представление связей водорода, метана, радона почвенного воздуха и элементов приземного атмосферного электричества [3]. Пузырьковые образования двух перечисленных летучих газов являются носителями радона в приповерхностные слои грунта и приземную атмосферу. Здесь радон выступает в качестве единственного естественного ионизатора атмосферного воздуха.

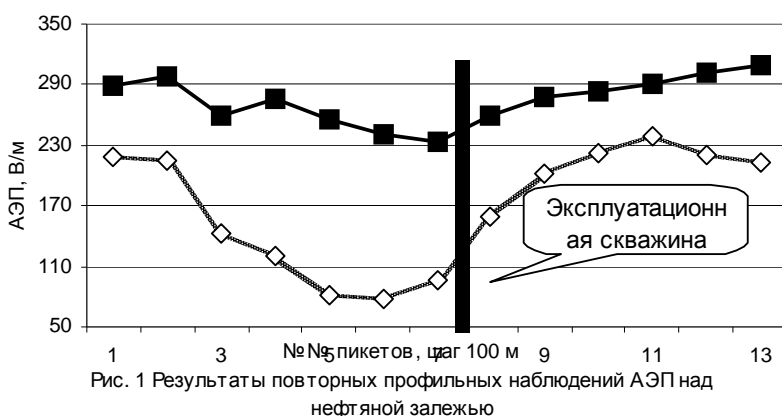


Рис. 1 Результаты повторных профильных наблюдений АЭП над нефтяной залежью

Повышенный сброс в атмосферу метана неизбежно приведет к росту уровня ионизации, т. е. к спаду атмосферного электрического поля – АЭП. Рассмотрим результаты полевых наблюдений, подтверждающих это предположение. Первые профильные наблюдения АЭП проводилась в 1989 году на момент пуска в эксплуатацию очередной скважины 3-его Речицкого нефтепромысла (Белоруссия) – рис.1.

Как и следовало ожидать, при среднем фоновом уровне сигнала 200-230В/м над разрабатываемой залежью наблюдался заметный провал поля до величины ~ 70В/м. Повторно профиль опрашивался в 1992 году, после 3-х лет эксплуатации скважины. Спад поля над залежью заметно уменьшился. Причина - снижение внутрислоевого давления в процессе эксплуатации, заводнение пласта, что и привело к снижению плотности шлейфа углеводородов. Следует обратить особое внимание на рост поля в районе пикетов 2-4. Наблюдаемый результат позволяет говорить об образовании «целика» - о тенденции к отсечению области под пикетами 2, 3, 4 от основной залежи.

Вторые профильные наблюдения АЭП проводились в комплексе с контролем объемной активности радона почвенного воздуха на площади Александровской нефтяной залежи (Белоруссия). На исследуемой территории по линии общей протяженностью 2800 м выбирались 29 точек измерений с шагом 100м. В каждой выбранной точке отбирались пробы почвенного воздуха из шурфов глубиной 0.6 м, в которых оперативно измерялась объемная активность радона. Измерения выполнялись с использованием серийного радиометра РГА-01. Для уменьшения ошибки, каждая проба анализировалась 4 раза в рабочей камере измерительного инструмента.

Одновременно по профилю, соединяющему все выбранные точки исследуемой территории, измерялась напряженность атмосферного электрического поля. Для повышения достоверности результатов напряженность АЭП в каждой выбранной точке исследуемой территории усреднялась по данным четырех последовательных измерений. Как и в первом случае над залежью поле упало до

величины ~ 70В/м при фоновом уровне за пределами месторождения 220-240В/м. Соответственно объемная активность радона грунта вне залежи 2,3-3,0Бк/л, над залежью – до 4,0Бк/л.

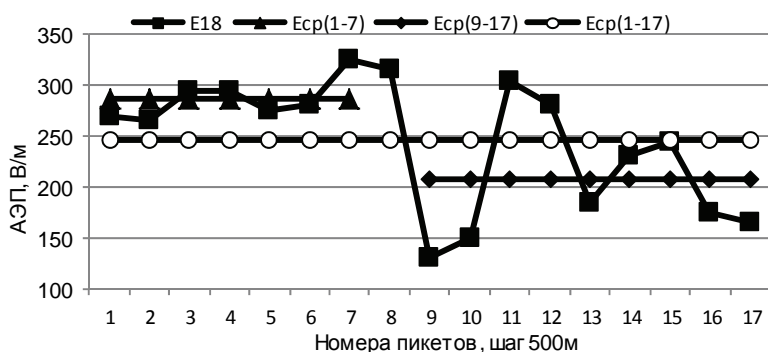


Рис. 2 Измеренные и усредненные значения АЭП по профилю на границе Северо-Ставропольского месторождения

В отличие от нефтяной залежи над газовым месторождением имеют место более высокие значения АЭП, нежели чем за его пределами. Для примера рассмотрим результаты наблюдений на одном из профилей на территории Северо-Ставропольского месторождения. В юго-западном секторе месторождения один из наблюдательных профилей выходил за границы проекции пласта-коллектора на Землю. Наблюдения проводились в условиях, идеально подходящих для измерений – чистое поле,

ближайшие посадки на расстоянии ~ 100м от линии профиля, полнейшее безветрие. Измеренные и усредненные значения АЭП на профиле, выходящем за пределы проекции пласта-коллектора, представлены на рис. 2. Средние значения поля вне зоны проекции пласта-коллектора на дневную поверхность на 79В/м ниже.

Полученный результат позволяет говорить о наличии УВ-шлейфа над нефтяной залежью и об его отсутствии над газовой. Другими словами покрывающая область газовой залежи естественно существенно плотнее, нежели чем нефтяной. Сделанный вывод совпадает с заключением работ [1,2], в которых экспериментально исследовались содержания метана в шлейфах нефтегазовых месторождений.

Особого внимания заслуживают результаты исследований вариаций АЭП над искусственными газовыми месторождениями – подземными хранилищами газа, ПХГ. Десятилетиями повторяющиеся циклы закачки-отбора горючего газа, к сожалению, приводят к заметным нарушениям герметичности покрывающей области, а, соответственно, к сбросу метана в покрывающие породы и атмосферу.

Первый комплекс АЭП профильных наблюдений проводился в 1999 и 2000гг. на одном из старейших газохранилищ – Щелковском. На территории ПХГ было заложено 11 профилей, на которых в 1999 и 2000гг. ставились наблюдения поля. По данным наблюдений 1999 года среднее АЭП над объемом закачки равнялось $E(1999)^{0.3} = 284$ В/м; среднее значение АЭП вне зоны закачки $E(1999) = 557$ В/м. Аналогичные расчеты, проведенные по результатам наблюдений 2000 года приводят к средним значениям АЭП $E(2000) = 599$ В/м вне зоны закачки и $E(2000)^{0.3} = 368$ В/м. Таким образом, только по перепадам значений АЭП над зоной закачки и вмещающими породами можно по данным профильных наблюдений параметра оценить положение проекции пласта-коллектора на дневную поверхность.

Работы, начатые на Щелковском газохранилище, были продолжены в 2000 и 2003 гг. на территории более благополучного Касимовского ПХГ. В ходе полевых работ были поставлены профильные наблюдения АЭП на 4-х наблюдательных профилях.

В отличие от вариаций поля на Щелковском ПХГ над контуром газохранилища под Касимовым не наблюдался столь ярко выраженный провал АЭП. Среднее значения поля по четырем отрезкам профилей над объемом закачки – 138В/м. Средние значения поля вне зоны объема закачки – 212В/м. Рассмотрим еще один пример вариаций АЭП, связанный с процессом распространения

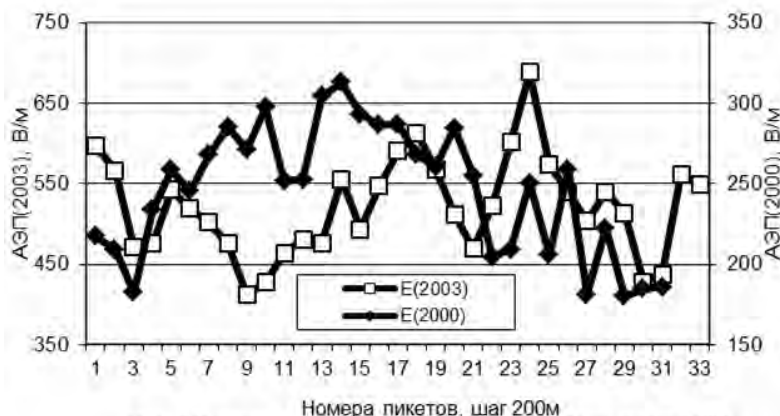


Рис. 3 Вариации АЭП на профиле, секущем Касимовское ПХГ

закачиваемого метана по пласту-коллектору. Движение фронта объема закачки по пласту-коллектору неизбежно приводит к расклиниванию покрывающей область с временной потерей герметичности. Естественно, что при этом происходит незначительный сброс метана в покрывающие породы. Через 30-40 дней этот потерянный для хранения объем горючего газа достигает поверхности Земли и сбрасывается в приземную атмосферу. Подобный сброс будет сопровождаться увеличением эксхалляции

почвенного радона, т. е. спадом поля. Как следует из рис. 3 за 30-40 дней до постановки профильных АЭП наблюдений 2003г. под отрезком профиля между пикетами 5-17 проходил фронт объема закачки. Сброс метана по расклиненной части покрышек и привел к зарегистрированному спаду АЭП. Разработанная модель связей водорода, метана, радона и элементов приземного атмосферного электричества и приведенные результаты полевых наблюдений показывают высокую эффективность использования профильных наблюдений АЭП при поиске и разработке скоплений углеводородов.

Литература

1. Аммосов С.М., Войтов Г.И., Коробейник Г.С., Кузнецов В.В., Николаев А.В., Федорова Г.С. О двух типах гозово-геохимических эффектов в поле вибрационного источника сейсмических колебаний// ДАН СССР. т. 301. № 1. 1988. С. 62-68.
2. Войтов Г.И., Старобинец И.С., Усманов Р.И. О плотности потоков CH_4 в атмосферу в нефтегазоносных регионах (на примере Аму-Дарьинской впадины)// ДАН СССР. 1990. т.313. № 6. С.1444-1448.
3. Зубарев А.П., Шулейкин В.Н. Комплексный геофизический и геохимический контроль при эксплуатации подземных газохранилищ// М.: издательство ООО «Газпром ПХГ». 2009. 264с.

АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МОБИЛЬНЫЕ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ РУДНЫХ И ГОРЮЧИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Н.А. Якимчук¹, С.П. Левашов¹, И.Н. Корчагин²

1 - Институт прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии, Киев, Украина

2 - Институт геофизики НАНУ, Киев, Украина

yakymchuk@karbon.com.ua

Анализируются результаты многолетних исследований электрических процессов в приземном слое атмосферы (на границе раздела земля-воздух) с целью разработки мобильных и малозатратных геофизических технологий для оперативного решения широкого класса геолого-геофизических задач, в том числе и поисков рудных и горючих полезных ископаемых [1-4, 7-8].

Разработанные экспериментальные геоэлектрические методы базируются на частотно-резонансных принципах регистрации полезных сигналов при проведении полевых измерений. Они изначально ориентированы на изучение структуры приземного слоя атмосферы, формируемого ионами разных знаков, зон поляризации на границах раздела геологических неоднородностей разреза и естественного электромагнитного фона Земли.

Используемый подход позволил создать: а) компактную малогабаритную измерительную аппаратуру, легкую для транспортировки и удобную в обслуживании; б) методику оперативного проведения полевых измерений (в пешем порядке, с автомобиля, с летательного аппарата); в) эффективную технологию решения широкого класса экологических, инженерно-геологических, гидрогеологических и геолого-геофизических задач. В целом, разработанная геоэлектрическая технология является сверхоперативной по затратам времени на проведение полевых работ и малозатратной по финансовым ресурсам. Она предоставляет возможность получить предварительные результаты исследований непосредственно в поле. В процессе полевых работ выполняются флюксометрические измерения, проводится площадная съемка по методике становления электромагнитного поля, осуществляется зондирование подповерхностного пространства в отдельных точках изучаемой площади.

Площадной съемкой по методике становления поля в каждой точке измерений регистрируется процесс становления электромагнитного поля в приёмной антенне после выключения токового импульса (опорного сигнала) в генераторном контуре. Временные характеристики сигнала возбуждения и его дальнейшее затухание находятся в зависимости от состояния атмосферы и пространственно-временной структуры электрического поля в приповерхностном слое [5-7]. Над поляризованными объектами в электрическом поле Земли образуются положительные или отрицательные ионные зоны, которые фиксируются сигналами становления поля в разработанной технологии. Большая часть изменений электрического поля определяется особенностями геологического строения и геодинамикой среды, что определяет особенности локального распределения их пространственно-временной информационной структуры. Эта структура может быть восстановлена в процессе измерений вертикальной компоненты электрического поля E_z или с помощью зондирующего (опорного) излучения контролируемого источника, воздействующего на структуру электрического поля в приземном слое атмосферы и непосредственно не взаимодействующего с объектом поисков. Площадная съемка этим методом позволяет картировать положительные геоэлектрические аномалии типа «залежь» (АТЗ), характерные для месторождений различных полезных ископаемых (в том числе и залежей углеводородов (УВ)), при использовании токовых импульсов (опорных сигналов) различной частоты.

Имеющийся на сегодняшний день опыт проведения съёмок на известных месторождениях нефти и газа показал, что во всех случаях над ними фиксируются аномалии типа «залежь». Было также показано, что наличие АТЗ указывает на высокую вероятность наличия залежи УВ, а за её пределами такая вероятность резко падает.

С помощью экспериментальной технологии зондирования подповерхностного разреза в отдельных точках площади исследований определяют спектральные характеристики электромагнитного поля, излучаемого аномально поляризованными пластами (АПП) типа «нефтяной пласт», «газовый пласт», «залежь газогидратов», длину излучаемой поляризованным пластом волны, а также глубины залегания, знак поляризации и мощности АПП. Длину излучаемой волны определяют по наступлению резонанса с волной, генерируемой в приёмном контуре.

Совместное использование перечисленных методов позволяет выявлять и оконтуривать в пределах перспективных на нефть и газ площадей аномальные участки повышенной поляризации и повышенного удельного электрического сопротивления пород, а также оценивать суммарную мощность аномально поляризованных пластов (АПП), определять их мощность и глубины залегания.

1. На данный момент геоэлектрическая технология в целом и отдельные геоэлектрические методы являются экспериментальными, прошедшими начальную стадию становления. Выполненные с помощью этих методов исследования целесообразно считать научно-исследовательскими.

2. Результаты площадной съёмки по методике становления поля используются и интерпретируются на данный момент на качественном (аномальном) уровне. В перспективе, построение формализованной математической модели процесса становления поля с учетом приземного атмосферного слоя позволит существенным образом расширить информативность и разрешающую способность метода. При поисковых работах на нефть, газ, воду и рудные полезные ископаемые в каждой конкретной точке измерений оператор мгновенно получает информацию о том, принадлежит ли эта точка контуру аномалии типа «залежь» (АТЗ), или нет. Эта особенность метода позволяет в процессе выполнения съёмки оптимизировать априори принятую систему наблюдений.

3. Положительные результаты решения разнообразных практических задач разработанными неклассическими геоэлектрическими методами [1-4, 7-8] свидетельствуют об их существенном вкладе в становление новой, «вещественной» парадигмы геофизических исследований, в рамках которой осуществляется «прямой» поиск конкретного физического вещества: газа, нефти, газогидратов, воды, рудных минералов и пород (золото, платина, серебро, цинк, уран, алмазы, кимберлиты, и т.д.). Начальным этапом в становлении этой парадигмы можно считать первые разработки по «прямым» методам поисков нефти и газа. В это же время в геолого-геофизическую терминологию было введено известное выражение - аномалия типа «залежь» (АТЗ). Эффективность геофизических методов, базирующихся на принципах этой парадигмы, существенно выше традиционных.

Литература

1. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Экспресс-технология «прямых» поисков и разведки скоплений углеводородов геоэлектрическими методами: результаты практического применения в 2001-2005гг. // Геоинформатика. – 2006. – № 1. – С. 31-43.
2. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Дегтярь Р.В., Божежа Д.Н. Обнаружение и картирование геоэлектрическими методами зон повышенного газонасыщения на угольных шахтах // Геофизика. – 2006. – № 2. – С. 58-63.
3. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Зазекало И.Г., Сорока А.И. Поиск и разведка скоплений нефти и газа геоэлектрическими методами // Газовая промышленность. – 2007. – № 4. – С. 22-28.
4. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Червоный Н.П. Экспресс-технология прямых поисков и разведки скоплений углеводородов геоэлектрическими методами // Нефтяное хозяйство. – 2008. – № 2. – С. 28-33.
5. Шуман В.Н. Электромагнитно-акустические преобразования и высокоразрешающие зондирующие системы: новые возможности и новые формулировки старых вопросов // Геофизический журнал. – 2012. – №3, Т.34. – С.32-39.
6. Шуман В.Н., Савин М.Г. Математические модели геоэлектрики. Киев.: Наукова думка. – 2011. – 239 с.
7. Шуман В.Н., Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Радиоволновые зондирующие системы: элементы теории, состояние и перспектива // Геоинформатика. – 2008. – № 2. – С. 22-50.
8. Yakymchuk N.A., Levashov S.P., Korchagin I.N. Express-technology for direct searching and prospecting of hydrocarbon accumulation by geoelectric methods. International petroleum technology conference, 3-5 December 2008. Kuala Lumpur, Malaysia. Paper IPTC-12116-PP. Conference CD-ROM Proceedings. 11 pages.

АВТОРСКИЙ ИНДЕКС

А

Абшаев А.М.	10
Абшаев М.Т.	10
Аджиев А.Х.	10, 12
Аджиев Х.М.	101
Аджиева А.А.	254
Акимова И.И.	10
Акселевич В.И.	14
Александров Н.Л.	15, 33
Алешков В.М.	17
Ангаров В.Н.	81
Андреев М.Г.	196, 240, 242, 244
Анисимов С.В.	18, 22, 24, 26, 90, 261
Антонова В.П.	29
Афиногенов К.В.	22, 24, 26
Афонюшкин А.В.	177
Ашабоков Б.А.	31

Б

Базелян Э.М.	15, 33
Балугин Н.В.	35
Батин А.С.	60, 93
Бейтуганов М.Н.	37, 254
Беллюстин Н.С.	39
Белова О.С.	246
Белоглазов М.И.	111, 193
Бжекшиев С.Л.	165
Богушов А.К.	40, 179
Болдырев А.С.	199, 202
Бударагин Д.И.	42
Букантис А.А.	202
Булатов М.У.	196, 240, 242, 244
Бунтов Д.В.	57, 110

В

Веремей Н.Е.	44, 47
Владимиров С.А.	49
Вуколов А.В.	175

Г

Галахов А.А.	111
Галиченко С.В.	22, 26, 90
Гарипов Г.К.	81
Герасименко Н.И.	79
Герастенок Т.К.	246
Головицкий А.П.	252
Горбатенко В.П.	51, 53, 55, 133, 135, 137
Горчаков Г.И.	57, 110, 139
Готлиб В.М.	81
Григорьев Е.Е.	99
Громницкая А.А.	51
Грунская Л.В.	58, 60, 93, 94, 183
Гундарева С.В.	103
Гуревич А.В.	81, 105, 106
Гурьев А.В.	24

Д

Давыденко С.С.	62, 64, 67, 115
Денисов В.П.	121
Дмитриев Э.М.	24, 69
Добрян М.Б.	81
Довгалоюк Ю.А.	44, 47, 87, 206
Дробжев В.И.	29
Дубовецкий А.З.	35

Е

Евстифеев С.Е.	17
Евтеев С.	82
Евтушенко А.А.	71, 88, 90
Еленский Я.С.	73
Емельянов А.А.	42, 96, 113, 115, 238
Ермакова Е.Н.	39
Ершова Т.В.	75, 135, 137
Ефимов В.А.	58
Ефимов С.В.	44

Ж

Жидков А.А.	77, 163
Жинжакова Л.З.	166

З

Зайнетдинов Б.Г.	79
Закиров А.А.	58
Затевахин М.А.	47
Зелёный Л.М.	81
Злобин И.А.	110
Золотов А.Н.	58
Золотых А.Г.	82
Зубков П.Н.	83

И

Иванов В.Н.	84
Ивлев Л.С.	87
Игнатьев А.А.	47
Ильин Н.В.	88, 90
Ипполитов И.И.	175, 187, 207
Исакевич В.В.	60, 93, 94
Исакевич Д.В.	60, 93, 94
Иудин Д.И.	42, 96, 113, 115, 238, 244
Иудин Ф.Д.	96, 115

К

Кабанов М.В.	175, 207
Калинин А.В.	77, 99, 163
Калов Р.Х.	101
Калугина И.Е.	103
Капустина О.В.	211, 213
Караштин А.Н.	39, 105, 106
Караштина О.С.	39, 105, 106
Карелин А.В.	250

Каримов Р.Р.	107
Карпов А.В.	57, 110, 139
Кашлева Л.В.	131
Ким В.П.	250
Кириллов В.И.	111
Климашев В.Ю.	42, 96, 113, 115, 238
Клименко В.В.	117, 119, 121, 259, 263
Климов С.И.	81
Козлов В.И.	107, 125
Козлов В.Н.	127
Козлов В.С.	187
Колерский С.В.	83
Колесникова А.Б.	139
Колесов А.М.	129
Коломеец Л.И.	131
Комраков Г.П.	105
Кононов И.И.	131, 150
Константинова Д.А.	53, 133, 135, 137
Копейкин В.М.	57, 139
Копыт Н.Х.	141
Коровин В.Я.	84
Корчагин И.Н.	273
Костинский А.Ю.	143, 196, 238, 240, 242, 244
Кочеева Н.А.	147
Кочин А.В.	35, 148
Кречетова С.Ю.	55, 147
Крутой Д.М.	131, 150
Кулиев Д.Д.	10, 31, 152, 166
Куповых Г.В.	199, 202
Курбатов Г.А.	57
Кутерин Ф.А.	71, 88, 90, 154

Л

Лапа А.В.	73
Левашов С.П.	273
Лепешкин Д.	82
Лидванский А.С.	73, 155, 248
Липко Ю.В.	170
Лисов А.А.	105
Локтев Д.Н.	229

М

Мазуров Г.И.	14
Макальский Л.М.	240, 242, 244
Макаров Е.М.	175
Мальцев А.А.	157
Марапулец Ю.В.	204, 209
Мареев Е.А.	64, 71, 88, 90, 96, 159, 163, 215, 227, 236, 240, 263
Мареева О.В.	163
Маршалл Т.	67
Машуков И.Х.	165, 254
Машуков Х.Х.	12, 37, 166
Мелешко В.П.	44
Меляшинский А.В.	84
Микрюков П.А.	154, 168
Михайлова Г.А.	211, 213
Молодых С.И.	17, 170
Морозов В.Н.	47, 79, 172, 173, 177
Мулляров В.А.	107, 125
Мульцина Н.А.	207

Н

Нагорский П.М.	175, 177, 187, 207
----------------	--------------------

Назаров В.Н.	81
Наумова М.Ю.	242
Нечаев С.А.	17
Нечепуренко О.В.	51
Носова А.М.	44

О

Озеров А.Н.	82
Орлов А.В.	246

П

Памухин К.В.	84
Панасюк М.И.	81
Панюков А.В.	40, 179
Панютин А.А.	39, 263
Пастушков Р.С.	49, 181
Пашинин А.Ю.	170
Петухова О.В.	75
Печенкин А.А.	44
Пичужкин Е.В.	105, 106
Полушин П.А.	183
Попов И.Б.	79, 83, 185
Продан К.А.	31, 254
Пустовалов К.Н.	177
Пхалагов Ю.А.	187
Пчелкин В.В.	111, 189, 191, 193

Р

Раба Н.О.	235
Разин П.Е.	196
Раизер Ю.П.	15, 33
Раков В.А.	198
Рахматулин Р.А.	170
Редин А.А.	199, 202
Реутова Т.В.	166
Рогозина А.И.	254
Родин В.Г.	81
Рубай Д.В.	58
Руленко О.П.	204
Рыбнов Ю.С.	231
Рязанов А.А.	207

С

Свертилов С.И.	81
Семенов К.И.	141
Сергеев А.С.	64
Синькевич А.А.	206
Смирнов С.В.	175, 177, 187, 207
Смирнов С.Э.	209, 211, 213
Смышляев С.П.	215, 236
Снегуров А.В.	129, 219, 221, 223, 225
Снегуров В.С.	129, 219, 221, 223, 225
Соколенко Л.Г.	83, 185
Соколов А.В.	110
Соколов В.В.	227, 263
Соловьев С.П.	229, 231
Сорокин Л.В.	233
Станкова Е.Н.	235
Стародудцев С.А.	125
Стасенко Д.В.	10
Стожков Ю.И.	157
Сухаревский Д.И.	196, 240, 242, 244

Суходолов Т.В. 215, 236
Сысоев В.С. 196, 238, 240, 242, 244

Т

Тарабукина Л.Д. 107
Ташилова А.А. 165
Темников А.Г. 246
Терентьев А.М. 99
Торопов А.А. 125

У

Ужегов В.Н. 187

Ф

Фирстов П.П. 175, 248
Франк-Каменецкий А.В. 259

Х

Хаердинов Н.С. 155, 248
Хайкин М.Н. 35
Харламов В.А. 231
Хегай В.В. 250

Ц

Цендин Л.Д. 252

Ч

Чернева Н.В. 248
Черненский Л.Л. 246
Чочаев Х.Х. 37, 254
Чукин В.В. 255, 257

Ш

Шабаганова С.Н. 107
Шаповалов А.В. 31, 152
Шаповалов В.А. 31, 254
Шаталина М.В. 88, 90, 259, 263
Швырев Ю.Н. 84
Шермухамедов У.А. 257
Широков Е.А. 121
Шихова Н.М. 26, 90, 261
Школьник И.М. 44
Шлюгаев Ю.В. 29, 105, 106, 154, 168, 196, 263
Шматов М.Л. 267
Штольценбург М. 67
Шулейкин В.Н. 269, 271

Щ

Щукин Г.Г. 12, 165

Ю

Юсупов И.Е. 131, 150

Я

Якимчук Н.А. 273
Яковлева В.С. 175