

Российская академия наук
Геофизическая обсерватория «Борок» –
филиал Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта

ГЛОБАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

БОРОК
28 ОКТЯБРЯ – 1 НОЯБРЯ 2013 Г.

Ярославль
2013

УДК 621.3.01(063)

ББК 31.211я431

Г54

Глобальная электрическая цепь. Материалы Всероссийской конференции / Геофизическая обсерватория «Борок» – филиал Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта – Ярославль, 2013. – 136 с.

ISBN 978-5-91730-265-2

Ответственный редактор:
д.ф.-м.н. *С.В.Анисимов*

В сборнике материалов первой всероссийской конференции «Глобальная электрическая цепь» представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований глобальной электрической цепи. Для ученых, работающих в области глобальной электрической цепи, атмосферного электричества, геомагнетизма, физики атмосферы и смежных областях, преподавателей и студентов ВУЗов.

Проведение конференции и издание материалов осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Отделения наук о Земле РАН, Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН.

ISBN 978-5-91730-265-2

© 2013 ГО «Борок» ИФЗ РАН
макет, оформление, верстка
© Коллектив авторов, текст

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

1. Анисимов С.В. – д.ф.-м.н., ГО «Борок» ИФЗ РАН, Борок (председатель);
2. Гвишиани А.Д. – академик РАН, д.ф.-м.н., Геофизический центр РАН, Москва;
3. Глико А.О. – академик РАН, д.ф.-м.н., академик-секретарь ОНЗ РАН, Москва;
4. Гохберг М.Б. – д.ф.-м.н., Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва;
5. Давыденко С.С. – к.ф.-м.н., Институт прикладной физики РАН, Н.Новгород;
6. Еланский Н.Ф. – член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва;
7. Катцов В.М. – д.ф.-м.н., Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, Санкт-Петербург;
8. Лапшин В.Б. – д.ф.-м.н., Институт прикладной геофизики, Москва;
9. Мареев Е.А. – член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., Институт прикладной физики РАН, Н.Новгород;
10. Морозов В.Н. – д.ф.-м.н., Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, Санкт-Петербург;
11. Мохов И.И. – член-корреспондент РАН, Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва;
12. Пилипенко В.А. – д.ф.-м.н., Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва;
13. Потехин А.П. – член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск;
14. Похотелов О.А. – д.ф.-м.н., Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва;
15. Соловьев С.П. – д.ф.-м.н., Институт динамики геосфер РАН, Москва;
16. Тихоцкий С.А. – д.ф.-м.н., Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва;
17. Шалимов С.Л. – д.ф.-м.н., Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва;
18. Шлюгаев Ю.В. – к.ф.-м.н., Институт прикладной физики РАН, Н.Новгород;
19. Эпов М.И. – академик РАН, д.т.н., Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск.

Конференция организована при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований, Отделения наук
о Земле РАН, Института физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН

ПРЕДИСЛОВИЕ

Первая Всероссийская конференция «Глобальная электрическая цепь» организована Геофизической обсерваторией «Борок» – филиалом Института физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН. Конференция проводится с 28 октября по 1 ноября 2013 г. в поселке Борок Ярославской области. Основной задачей конференции является представление важнейших результатов теоретических и экспериментальных исследований глобальной электрической цепи. В конференции примут участие ученые, работающие в области глобальной электрической цепи, атмосферного электричества, геомагнетизма, физики атмосферы и смежных областях. Конференция послужит развитию творческих научных связей российских ученых с целью решения актуальных проблем исследований глобальной электрической цепи.

Программа конференции включает секции:

1. Глобальная электрическая цепь — геофизический объект и математическая модель.
2. Электричество свободной невозмущенной нижней атмосферы в глобальной электрической цепи.
3. Грозное электричество и молниевые разряды — вклад в формирование глобальной электрической цепи.
4. Электричество средней и верхней атмосферы; высокоэнергичные процессы в атмосфере.
5. Глобальная электрическая цепь, метеорология и климат, экологические аспекты глобальной электрической цепи.
6. Мониторинг глобальной электрической цепи — натурные наблюдения и базы данных.
7. Аэроэлектричество и геомагнитные возмущения.
8. Волновые процессы в глобальной электрической цепи, структура поля геомагнитных пульсаций.

Конференция организована при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Отделения наук о Земле РАН, Института физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН.

С.В. Анисимов

**ГЛОБАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ —
ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ
И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ**

Глобальная электрическая цепь геосферных оболочек

С.В.Анисимов^{1,2}

¹ Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

² Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Глобальная электрическая цепь (ГЭЦ) представляет собой распределенный токовый контур, образованный проводящими слоями нижней ионосферы, верхнего слоя океана и земной коры, которые «замкнуты» электрически проводящей атмосферой (Рис.1). ГЭЦ состоит из совокупности твердых и газоплазменных оболочек, объединенных непрерывностью плотности электрического тока, с грозowymi генераторами в качестве основных источников электродвижущих сил и невозмущенными областями свободной атмосферы в качестве зон возвратных токов. Согласно гипотезе Вильсона, тропосферные грозвые генераторы обеспечивают зарядку сферического конденсатора Земля–ионосфера и определяют квазистационарное электрическое состояние невозмущенных атмосферных областей [1–3]. Таким образом, ГЭЦ объединяет геосферные оболочки в единую токовую систему, скейлинг и динамика которой определяются электрической стратификацией атмосферы, ионосферным неоднородностями, электрическими свойствами верхнего слоя океана и земной коры. При этом проблема существования стационарного состояния ГЭЦ сводится к задаче обеспечения баланса между выходными токами источников формирования ГЭЦ и возвратными токами нагрузочных областей.

Унитарная вариация атмосферного электрического поля и тока, обна-

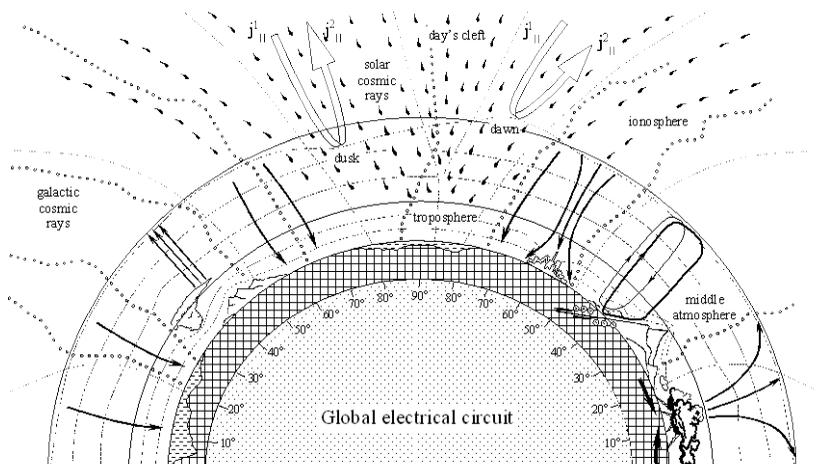


Рис.1. Рис.1. Глобальная электрическая цепь.

руженная при наблюдениях электрического поля над океанами в двадцатых годах прошлого столетия, рассматривается как доказательство существования глобального генератора атмосферного электрического поля. Следует особо отметить, что наличие унитарной вариации аэроэлектрического поля над сушей в средних широтах достоверно подтверждено результатами долгосрочных наземных наблюдений в зимние сезоны [4].

Электрическая проводимость атмосферы, наряду с температурой, давлением и химическим составом, служит основой физической стратификации атмосферы. Вблизи земной поверхности величина электрической проводимости атмосферы имеет порядок 10^{-14} См/м и экспоненциально увеличивается с высотой, имея высотный масштаб около 6 км до высот 60 км. Квазистационарное состояние высотного профиля проводимости атмосферы формируется процессами ионизации нейтральной атмосферы галактическими космическими лучами, а также радиоактивными эманациями земной поверхности, действие которых особо значимо для пограничного слоя атмосферы.

В работе приведен обзор основных результатов натуральных наблюдений электрического состояния невозмущенной атмосферы, экспериментальных компаний по измерению ионосферного потенциала и высотных аэроэлектрических профилей, полевых и обсерваторских наземных разнесенных аэроэлектрических наблюдений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 12-05-00820, № 13-05-12060) и гранта Правительства РФ (договор № 14.B25.31.0023).

Литература

1. *Wilson C.T.R.* Investigations on lightning discharges and on the electric field of thunderstorms. Phil. Trans. Roy. Soc. A 221, 1920, 73–115.
2. *Anisimov S.V., Mareev E.A.* Geophysical studies of the Global Electric Circuit. Izv. Phys. Solid Earth 44, 2008, 760.
3. *Williams E., Mareev E.* Recent progress on the global electrical circuit, Atmos. Res. (2013), [http:// dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.05](http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.05).
4. *Anisimov S.V., Shikhova N.M.* Variability of electric field of unperturbed atmosphere at middle latitudes. Russ. Geophys. Stud. 9 (3), 2008, 25–38.

О проникновении атмосферного электрического поля в ионосферу

В.В.Денисенко

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск

Атмосфера и ионосфера рассматриваются как проводник с высотными распределениями компонент тензора проводимости, Педерсеновской σ_p , Холловской σ_H и продольной σ_{\parallel} , заданными в соответствии с эмпирическими моделями IRI, MSISE. Используем типичные ночные среднеширотные распределения при минимальной солнечной активности. Для изотропной проводимости ниже 50 км используем различные эмпирические модели. Земля полагается плоской, магнитное поле – вертикальным. Пространственное распределение напряженности электрического поля строится как решение стационарного уравнения электропроводности с граничными условиями, соответствующими заданию у земли вертикальной компоненты электрического поля и отсутствию электрического тока из ионосферы в магнитосферу. Для анализа масштаба проникновения атмосферного электрического поля в ионосферу рассматриваются простые двумерные решения вида

$$\mathbf{E} = (E_x(z) \cos(kx), 0, E_z(z) \sin(kx)),$$

которые получаются при вертикальной компоненте поля у земли, заданной в виде $E_0 \sin(kx)$. Ось z декартовых координат направлена вверх.

На Рис. 1 представлено численное решение задачи при считающихся характерными для предвестников землетрясений значениях параметров: $E_0 = 100$ В/м, $1/k = 100$ км.

В силу высокой продольной проводимости в ионосфере получилось практически горизонтальное поле E_x^{ion} , не меняющееся с высотой. Измерение поля такого масштаба, мкВ/м невозможно, поскольку в ионосфере всегда существуют поля с напряженностью несколько мВ/м.

На том же Рис. 1 продемонстрировано искажение результатов математического моделирования при трех иногда используемых способах учета ионосферной проводимости. Как видим, если интересоваться только основной, E_x , компонентой поля выше некоторого уровня z_1 в ионосфере, то добавляется лишь небольшая погрешность, если положить $\sigma_{\parallel} = \infty$ выше z_1 , то есть учесть только интеграл Педерсеновской проводимости Σ_p выше z_1 . В расчетах, представленных на рисунках, высота выше z_1 чрезмерно понижена до 70 км, чтобы погрешность была видна. При наклонном геомагнитном поле и для не столь симметричных решений наряду с Педерсеновской важна и интегральная Холловская проводимость.

Напряженность проникающего в ионосферу крупномасштабного электрического поля можно оценить через входные параметры модели

$$E_x^{ion} \approx \sigma_p(0)E_0/(k\Sigma_p).$$

Днем ионосферное поле уменьшается в десятки раз из-за увеличения Σ_p . Учет сопряженной ионосферы и наклона геомагнитного поля тоже ведут к уменьшению E_x^{ion} . Масштаб поля можно увеличить до наблюдаемого в ионосфере уровня мВ/м, если, например, одновременно на порядок поднять значения трех входных параметров, до $E_0 = 1000$ В/м, $\sigma_p(0) = 10^{-13}$ См/м, $1/k = 1000$ км. Такие экстремальные значения поля и проводимости в приземной атмосфере иногда наблюдаются, но нет данных об одновременном достижении их пиковых значений в областях, простирающихся на тысячи километров.

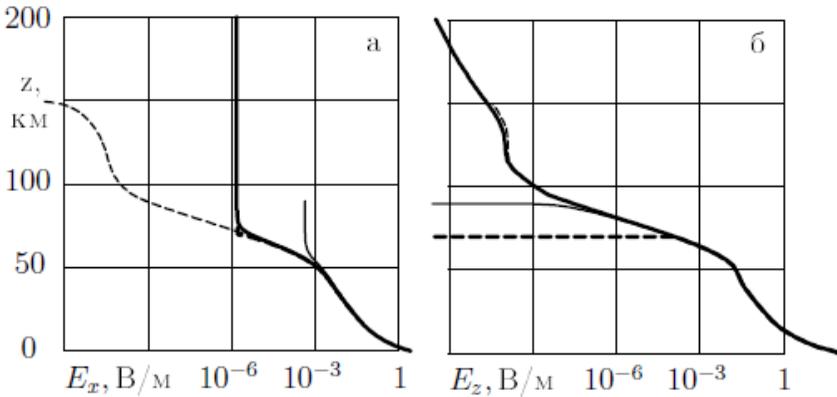


Рис. 1. Высотные распределения горизонтальной (а) и вертикальной (б) компонент напряженности электрического поля. Жирные сплошные линии – наша модель, штриховые – при $\sigma_{\parallel} = \infty$ выше 70 км. Тонкие сплошные – при $\sigma_p = 0$ выше 90 км, штриховые – при $\sigma_p = \infty$ выше 150 км.

Критически анализируются некоторые известные модели, дающие иной масштаб проникновения поля из приземной атмосферы в ионосферу. Среди них модели с упрощениями $\sigma_p = 0$ или $\sigma_p = \infty$ выше некоторого уровня в ионосфере и некоторые модели со сторонними токами, обусловленными конвекцией и турбулентной диффузией в атмосфере.

Глобальные электрические цепи планет земной группы

Н.В.Ильин, А.А.Евтушенко, Ф.А.Кутерин, Е.А.Мареев, М.В.Шаталина
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Концепция глобальной электрической цепи [1] (ГЭЦ) на сегодняшний день служит основой для описания свойств и построения моделей атмосферного электричества Земли. При этом атмосферы всех планет Солнечной системы слабо ионизируются галактическими космическими лучами (ГКЛ). Вполне логичным выглядит предположение, что концепция глобальной электрической цепи также применима и для других планет Солнечной системы.

Тривиальным условием существования ГЭЦ является наличие у планеты атмосферы, однако уже на данном этапе можно выделить объекты, которые не удовлетворяют данному критерию – это Меркурий, и почти все спутники.

В данной работе мы ограничимся рассмотрением атмосфер планет земной группы: Венера, Земля, Марс, и также рассмотрим спутник Сатурна - Титан.

В качестве основных условий существования ГЭЦ у атмосферы можно выделить три составляющих:

1. Проводящая поверхность и ионосфера.
2. Наличие в атмосфере мобильных заряженных частиц для переноса тока (аэрозоль, пыль).
3. Источники ЭДС (облака, мезомасштабные конвективные системы, песчаные и пылевые 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].

Проводящая ионосфера. Измерения, выполненные при радиозаходах на планеты космических аппаратов, показали, что Венера и Марс обладают ионосферами, однако менее плотными, чем земная и «поджатые» ближе к поверхности [3]. Ионосфера обнаружена также и у Титана [4]. Таким образом, у этих объектов выполнен первый критерий существования ГЭЦ – наличие проводящей ионосферы.

Проводящая атмосфера и источники ЭДС. Выделить и изучать отдельно эти критерии не представляется возможным, поскольку стационарное решение для профиля проводимости сильно зависит от ионосферного потенциала, т.е. от вклада сторонних источников.

Можно выделить две независимые задачи:

- определение вклада в атмосферный потенциал от заданных сторонних источников [5].

- определение вклада от не скомпенсированного заряда в областях генерации ЭДС в ионосфере[6].

Обе эти постановки не лишены недостатков. Первая модель требует задания профиля проводимости в качестве параметра, однако, значения проводимости в атмосферах других планет еще не известны. В тоже время профиль проводимости может быть рассчитан во второй постановке, но при этом требуется задания значения для ионосферного потенциала, который также не известен.

Следующим шагом моделирования электричества атмосфер планет является объединение концепций задач определения ионосферного потенциала и задачи определения профиля проводимости и ЭДС. Такая постановка способна самосогласованно рассчитать вклад источников ЭДС в ионосферный потенциал, одновременно с этим учесть значение потенциала для расчета стационарного профиля проводимости.

В данной работе проведено моделирование атмосферного электричества планет земной группы: Венера, Земля, Марс (и спутник Титан). Установлены необходимые условия формирования ГЭЦ. Можно утверждать, что наличие ионосферы и грозовой активности у планеты являются необходимыми (но скорее всего не достаточными) условиями формирования ГЭЦ.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ОФН РАН «Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследований атмосферных процессов», гранта Правительства Российской Федерации (договор № 14.В25.31.0023), гранта РФФИ (№ 13-05-01139).

Литература

1. *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).
2. *Мареев Е.А.*, Достижения и перспективы исследований глобальной электрической цепи // *УФН*, 180, №5, 527-534, (2010).
3. *Маров М.Я., Колесниченко А.В.*, Введение в планетарную аэрономию, Наука, 1987.
4. *Grand R. et al.*, Electric properties and related physical characteristics of the atmosphere and surface of Titan//*Planetary and Space Science* 54 2006 1124–1136.
5. *Жидков А.А., Калинин В.*, Некоторые вопросы математического и численного моделирования глобальной электрической цепи в атмосфере // *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*. 2009.№ 6. С. 150–158.
6. *Ильин Н.В., Евтушенко А.А., Кутерин Ф.А., Мареев Е.А., Шаталова М.В.* Критерии формирования и сравнительный анализ глобальных атмосферных электрических цепей планет Солнечной системы // *Сборник трудов VII Всероссийской конференции по атмосферному электричеству*, 24-28 сентября 2012 года, Санкт-Петербург, с.88–90.

Корректность постановок и алгоритмы решения стационарных и квазистационарных задач глобальной электрической цепи

А.В.Калинин¹, Е.А.Мареев², Н.Н.Слюняев², А.А.Жидков¹

¹ ННГУ им. Н.И.Лобачевского, Нижний Новгород

² Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Применение современных численных методов решения дифференциальных уравнений требует соответствующих корректных формулировок рассматриваемых задач, в частности, проекционные численные методы подразумевают формулировку задачи в виде вариационного принципа или соответствующего интегрального тождества. Принципиальную роль в этих формулировках играет учет граничных условий. Следует отметить, что естественным образом возникающие физические постановки приводят к неклассическим краевым задачам, в частности, при определении электрических полей, создаваемых грозовыми источниками, ионосферный потенциал является неизвестной величиной и должен определяться в процессе решения задачи; при решении задач об определении электрических полей в областях, где существенна анизотропия проводимости, возникают граничные условия, учитывающие соображения существенного преобладания проводимости вдоль силовых линий магнитного поля Земли и др. Моделирование квазистационарных процессов (нестационарная задача с потенциальным электрическим полем) приводит к неклассическому уравнению математической физики (уравнению псевдопараболического типа), которое требует специальных граничных условий, обеспечивающих корректность.

В большинстве работ по численному моделированию (включая известную работу [1]) глобальной электрической цепи отсутствует формальный анализ корректности возникающих неклассических задач и нестандартные граничные условия учитываются как некоторые соображения для определения коэффициентов разложения в ряд по сферическим гармоникам.

В настоящей работе для различных ситуаций приводятся корректные формулировки задач, предлагаются и обосновываются алгоритмы решения, допускающие возможность распараллеливания вычислительных процедур.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства РФ (договор № 14.B25.31.0023) и гранта РФФИ № 13-05-12103-офи_м.

Литература

1. Hays, P.B., Roble, R.G. 1979. A quasi-static model of global atmospheric electricity. I. The lower atmosphere. J.Geophys.Res. 84, 3291-3302.

Современное состояние исследований глобальной электрической цепи

Е.А.Мареєв

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Последние экспериментальные и теоретические работы привели к более глубокому пониманию физических процессов, определяющих функционирование глобальной электрической цепи (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 возрастание интереса к проблемам глобальной цепи и появление ряда новых обзоров, посвященных ГЭЦ, в ведущих журналах [1–8]. В настоящем докладе дан обзор последних достижений в данной области и некоторых остающихся нерешенными проблем. Особое внимание уделено теоретическим моделям глобальной цепи.

В докладе будут обсуждаться, в частности, следующие проблемы:

1. Роль в глобальной цепи ливневых облаков, не проявляющих молниевой активности, но обладающих электрической структурой (так называемых ESC – Electrified Shower Clouds) [9, 10].

2. Роль молний и других разрядных явлений в атмосфере, включая высотные разряды (TLE – transient luminous events) [11–13].

3. Новые результаты наблюдений глобального распределения молний и гроз по земному шару (по данным спутников и глобальных грозо-локационных систем WWLLN и GLD-360) [8].

4. Глобальная цепь в климатической системе Земли. Вариабельность ГЭЦ на длительных временных масштабах (включая El-Niño) [14–16].

5. Ионосферные проявления грозовой активности в тропосфере [5–7].

6. Фундаментальные вопросы функционирования ГЭЦ: заряд Земли, космические лучи, солнечная активность [8, 17].

7. Мегapolisы в глобальной цепи. Механизмы воздействия антропогенных возмущений – «термодинамический» и «аэрозольный».

8. Радиоактивность и другие крупномасштабные возмущения проводимости в атмосфере [1, 5, 8, 18, 19].

9. Глобальные электрические цепи планет солнечной системы [8].

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства РФ (договор № 14.B25.31.0023) и грантов РФФИ 13-05-01139 и 13-05-12103.

Литература

1. *Markson R.* The global circuit intensity: Its measurement and variation over the last 50 years // *Bull. Am. Met. Soc.*, 2007. P. 223–241. Doi:10.1175/BAMS-88-2-223.

2. *Анисимов С.В., Мареев Е.А.* Геофизические исследования глобальной электрической цепи // Физика Земли, 2008, № 10. С. 8-18.
3. *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.
4. *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.
5. *Williams E.R.* 2009. The global electrical circuit: A Review. *Atm. Res.* 91, 140-152.
6. *Мареев Е.А.* Достижения и перспективы исследований глобальной электрической цепи // УФН, 2010, Т.180, №5. С.527-534.
7. *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.
8. *Williams, E.R., Mareev E.A.* Recent Progress on the Global Electrical Circuit // *Atmos. Res.*, 2013. V. 95. [http:// dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.05](http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.05).
9. *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.
10. *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.
11. *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.
12. *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.
13. *Davydenko S.S., Mareev E.A., Sergeev A.S.* Modeling Atmospheric Electromagnetic Field Following a Lightning Discharge // *J.Geophys. Res.* 2013 (submitted).
14. *Смышляев С.П., Мареев Е.А., Галин В.Я., Блакитная П.А.* Моделирование непрямых эффектов влияния грозовой активности на температуру атмосферы // Изв. РАН. - ФАО. 2013 (принята в печать).
15. *Mareev E.A., Volodin E.M.* Global Electric Circuit Evolution in a GCM Model // *Geophys. Res. Lett.* 2013 (submitted).
16. *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.
17. *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. P.161-164.
18. *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.
19. *Калинин А.В., Слоняев Н.Н., Мареев Е.А., Жидков А.А.* Стационарные и нестационарные модели глобальной электрической цепи: корректность, аналитические соотношения, численная реализация // Изв. РАН – ФАО. 2013 (принята).

Влияние молниевых разрядов грозовых облаков на глобальную электрическую цепь

В.Н.Морозов

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

На основе решения нестационарного уравнения глобальной электрической цепи, записанного в электростатическом приближении, и баланса электрических токов в атмосфере получено выражение для потенциала ионосферы [1].

На основе полученного выражения оценивается вклад в потенциал ионосферы и в напряженность электрического поля вблизи земной поверхности электрических токов возникающих при молниевых разрядах «облако-облако», «облако-земля». Разряды первого типа вносят отрицательный вклад в потенциал ионосферы, в то время как разряды второго типа увеличивают этот глобальный электрический параметр, но вклад этих разрядов в вариации потенциала ионосферы и напряженность электрического поля составляет 1–10%

Литература

1. *Морозов В.Н.* Модель нестационарного электрического поля в нижней атмосфере/ В.Н.Морозов // Геомагнетизм и аэрномия.2005.Т.45.№2.С.268-278

Изменчивость ионосферы и глобальная электрическая цепь

*С.А.Пулонец*¹, *Д.В.Давиденко*²

¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² РКК «Энергия» им. С.П.Королева, Королев, Московская область

Ежедневная изменчивость ионосферы. Роль этого параметра, называемого в англоязычно литературе **day-to-day ionospheric variability** [1] возрастает с каждым днем в связи с все возрастающей ролью глобальных навигационных систем GNSS, для которых точность определения ионосферной задержки весьма критична. Если раньше считалось, что все возмущения в ионосфере связаны с солнечной и геомагнитной активностью, то в последнее время получены достаточно серьезные аргументы об эффектах на ионосферу различных процессов в тропосфере, причем достаточно большой вес имеют эффекты, не связанные с распространением акустических волн, а электромагнитные, где определяющую роль играют вариации параметров глобальной электрической цепи [2].

Модель LAIC. Усовершенствованная комплексная модель взаимосвязей геоэффективных явлений в литосфере, атмосфере и ионосфере Земли (Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling – LAIC) [3] позволила выявить важную роль глобальной электрической цепи в передаче информации из тропосферы в ионосферу и механизм генерации ионосферных неоднородностей. Установлено, что могут развиваться как регулярные (аналитически описываемые) крупномасштабные неоднородности, так и спорадические образования в виде мелкомасштабных неоднородностей в слоях *E* и *F* ионосферы.

Примеры. Приводятся примеры генерации крупномасштабных неоднородностей в ионосфере над облаками вулканического пепла, во время песчаных бурь, над областями радиационного загрязнения, над тропическими ураганами и над областями подготовки сильных ($M > 5$) землетрясений.

Проблемы. Несмотря на общее понимание физики процессов, вовлеченных в генерацию ионосферных неоднородностей, на сегодняшний день отсутствуют модели электромагнитной связи атмосферы и ионосферы в промежуточной области (50–90 км), что на сегодняшний день составляет основную проблему при усовершенствовании модели LAIC.

Литература

1. *Bradley P.A., Cander L.R.* Proposed terminology for the classification and parameters for the quantification of variability in ionosphere morphology, *Annals of Geophysics*, 2002, V. 45, P. 97-104,
2. *Pulinets S.A., Liu J.-Y.* Ionospheric variability unrelated to solar and geomagnetic activity, *Adv. Space Res.*, 2004, V. 34, P.1926-1933
3. *Pulinets S., Ouzounov D.* Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling (LAIC) model - an unified concept for earthquake precursors validation, *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, V. 41, P. 371-382

Оценка изменения ионосферного потенциала вследствие крупномасштабных возмущений проводимости в атмосфере

Н.Н.Слюняев, Е.А.Мареев, А.В.Калинин, А.А.Жидков
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В 50–60-е годы XX века эксперименты обнаружили существенное повышение ионосферного потенциала. Исследования показали, что между величиной ионосферного потенциала и радиоактивной загрязнённостью атмосферы существует высокая корреляция, а его повышению отвечает период интенсивных ядерных испытаний. Для объяснения механизма воздействия радиоактивности на глобальную электрическую цепь обычно привлекается повышение проводимости в атмосфере вследствие выпадения радиоактивных осадков [1], в связи с чем возникает вопрос о зависимости ионосферного потенциала от крупномасштабных неоднородностей проводимости. Такая задача актуальна также в связи с исследованием эффектов вторжения энергичных частиц в атмосферу, а также других возмущений проводимости техногенного (аварии на АЭС, воздействие мегаполисов) и природного (пылевые бури и т. д.) характера.

Основываясь на построенной в работе [2] стационарной модели глобальной электрической цепи, можно рассчитать, как изменится при тех или иных возмущениях проводимости ионосферный потенциал, а также вклады в него отдельных грозовых облаков – источников цепи; при этом в ряде случаев оказывается возможным получить приближённые аналитические формулы. Можно показать, что при равномерном распределении источников по поверхности Земли крупномасштабные возмущения проводимости на высотах, лежащих вне области источников, не могут привести к значительным изменениям ионосферного потенциала, в то время как изменения проводимости в области источников, в том числе внутри них, напротив, могут существенно сказаться на его величине.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации (договор № 14.В25.31.0023) и гранта РФФИ № 13-05-12103-офи_м.

Литература

1. *Markson R.* The global circuit intensity: Its measurement and variation over the last 50 years // *Bull. Am. Met. Soc.* 2007. V. 88. № 2. P. 223–241.
2. *Калинин А.В., Слюняев Н.Н., Мареев Е.А., Жидков А.А.* Стационарные и нестационарные модели глобальной электрической цепи: корректность, аналитические соотношения, численная реализация // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2013. (Принята в печать.)

Роль космических лучей в атмосферном электричестве

Ю.И. Стожков

Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Москва

Рассматривается роль космических лучей в атмосферном электричестве.

Для существования электрических явлений в атмосфере необходимо иметь электрические заряды. Космические лучи, попадающие в атмосферу, являются основным источником таких зарядов. Следующим по значимости источником является естественная радиоактивность Земли. Электрические заряды, которые существуют в атмосфере в виде положительных и отрицательных ионов, производятся космическими лучами в процессе ионизации ими атомов воздуха. Космические лучи в процессе ионизации теряют почти всю свою энергию.

Ионы, образуемые заряженными космическими частицами, создают проводимость воздуха и обеспечивают работу глобальной электрической цепи.

Для создания генераторов атмосферного электричества, заряжающих Землю отрицательными зарядами, необходимы грозовые облака. Процесс их образования требует наличия ионов в тропосфере. Их создают космические лучи и в нижней атмосфере – естественная радиоактивность земной поверхности.

Благодаря наличию высокоэнергичных космических лучей (частиц с энергией более 10^{14} эВ) в грозовом облаке образуются электрические разряды: межоблачные разряды, разряды облако–Земля и Земля–облако. Высокоэнергичные космические частицы в атмосфере образуют так называемые широкие атмосферные ливни, которые содержат множество ионизованных треков – каналов, по одному из которых распространяется электрический разряд. Недавнее обнаружение нейтронов во время молниевых разрядов доказывает правильность гипотезы, что во время грозы широкие атмосферные ливни вызывают молниевые разряды. Космические частицы создают ливни и в верхних слоях атмосферы, в том числе, и над грозовыми облаками. Эти ливни служат триггером для образования высотных разрядов, таких как красные спрайты, голубые джеты и др.

**ЭЛЕКТРИЧЕСТВО СВОБОДНОЙ
НЕВОЗМУЩЕННОЙ НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЫ
В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ**

Электричество невозмущенной атмосферы средних широт по данным наземных наблюдений

С.В. Анисимов^{1,2}

¹ Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

² Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Электродинамическое состояние невозмущенного участка атмосферы в глобальной электрической цепи обусловлено действием грозových генераторов, поддерживающих разность потенциалов между земной поверхностью и нижним слоем ионосферы, и зависит от потенциала ионосферы, сопротивления столба атмосферы, плотности вертикального электрического тока, напряженности электрического поля, величины полярных проводимостей, времени жизни грозовой электрической энергии [1,2]. Электродинамика среднеширотной приземной атмосферы формируется совокупностью физических процессов разделения, генерации и переноса электрических зарядов, происходящих в широком диапазоне пространственно-временных масштабов [3]. Аэроэлектрическое поле в пограничном слое отражает изменения континентальной радиоактивности, процессов коронирования, концентрации аэрозолей, площадей, занятых туманами, осадками, облачностью и связано с метеорологическими и климатическими условиями. Динамика электрического поля приземной атмосферы определяется турбулентностью и конвекцией, а также изменениями ионной проводимости, на которые прямое воздействие оказывают радиоактивные эманации земной поверхности, приповерхностные дымки и аэрозоли. 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.

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

В результате статистической обработки амплитудно-временных рядов, полученных при наземных наблюдениях 1998–2012 гг., выполненных в среднеширотной обсерватории «Борок», показано, 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 (Рис. 1);

- суточный ход аэроэлектрического поля содержит вариации глобального и регионального масштаба;

- наиболее достоверно среднеширотный суточный ход напряженности аэроэлектрического поля 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 месяц, 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 формирование когерентных аэроэлектрических структур.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 12-05-00820, № 13-05-12060) и гранта Правительства РФ (договор № 14.B25.31.0023).

Литература

1. Williams E., Mareev E. Recent progress on the global electrical circuit, Atmos. Res. (2013), [http:// dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.05](http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.05).
2. Anisimov S.V., Mareev E.A. Geophysical studies of the Global Electric Circuit. Izv. Phys. Solid Earth 44, 2008, 760.
3. Anisimov S.V., Shikhova N.M. Variability of electric field of unperturbed atmosphere at middle latitudes. Russ. Geophys. Stud. 9 (3), 2008, 25–38.

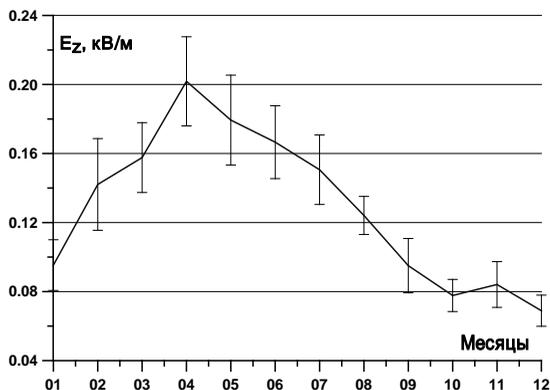


Рис.1. Годовая вариация напряженности электрического поля атмосферы по данным наблюдений обсерватории «Борок» 1998–2011 гг.

Наблюдения вариаций электрической проводимости приземного слоя атмосферы

К.В.Афиногенов, С.В.Анисимов

Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

В летние сезоны на полигоне Геофизической обсерватории «Борок» [58°04' N; 38°14' E] в условиях отсутствия промышленных загрязнений и электромагнитных помех проводятся натурные полевые наблюдения аэроэлектрических характеристик приземного слоя атмосферы. Цель работы заключается в изучении электродинамики нижней атмосферы и исследовании турбулентных аэроэлектрических структур. Полевой измерительный комплекс включает электростатические флюксометры (типа field mill), ультразвуковые цифровые метеостанции, счетчики концентрации легких атмосферных ионов, токовый коллектор, пиранометр, датчик концентрации радона-222 и радона-220 (торона). Данные регистрируются цифровой автоматизированной системой сбора информации с частотой дискретизации 10 Гц.

В ходе полевых натурных наблюдений получены суточные хода концентраций легких атмосферных ионов, плотности объемного заряда и удельной электрической проводимости приземного слоя атмосферы.

Показано наличие корреляций напряженности атмосферного электрического поля и плотности вертикального атмосферного электрического тока с вариациями концентраций легких атмосферных ионов, плотности объемного заряда и удельной электрической проводимости приземного слоя атмосферы.

Проведено одновременное наблюдение вариаций концентраций легких аэроионов в приземном слое атмосферы на высотах 60 см и 150 см от поверхности земли.

Исследован частотный спектр вариаций плотности объемного заряда, сосредоточенного на легких ионах. Определено, что частотный спектр вариаций плотности объемного заряда самоподобен. В течение суток в интервале периодов от 10 до 500 секунд показатель наклона спектра плотности объемного заряда изменяется от -1.6 до -1.75. Обнаружено, что в интервале периодов от 2 до 10 секунд показатель наклона спектра меняется в течение суток в зависимости от интенсивности турбулентности. В ночное время показатель наклона спектра колеблется от -1.9 до -3.1, а в дневное время близок к -5/3. Граница излома наклона спектра меняется в течение суток от 5 до 15 секунд.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 12-05-00820, № 12-05- 31517) и Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН №7.

Электрическое состояние конвективного пограничного слоя атмосферы: натурные наблюдения и численное моделирование

С.В.Галиченко^{1,2}, *С.В.Анисимов*^{1,2}

¹ Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

² ННГУ им. Н.И.Лобачевского, Нижний Новгород

На основе численной модели вертикального турбулентного обмена в растущем по высоте конвективном пограничном слое атмосферы (ПСА) проведены расчеты с высоким временным (< 5 с) и пространственным (< 10 м) разрешением высотных профилей аэроэлектрических величин (Рис.1).

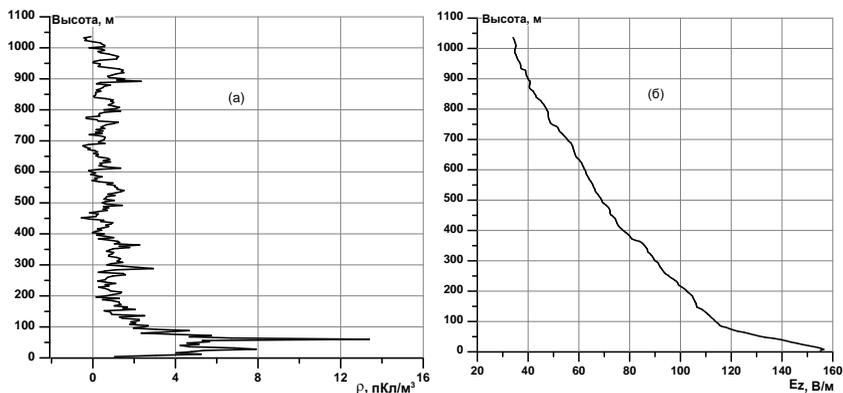


Рис.1. Высотные профили (а) плотности объемного электрического заряда и (б) напряженности атмосферного электрического поля. Расчет выполнен по входным данным 30.07.2012. Усреднение по интервалу времени 10:00-10:05 LT.

В модели учитываются процессы ионизации природными и антропогенными источниками. При помощи параметризации коэффициентов присоединения легких атмосферных ионов к нейтральным и однозарядным аэрозольным частицам в условиях мультидисперсности аэрозоля вычислены эффективные интегральные коэффициенты присоединения и характерные времена жизни легких ионов. Динамические граничные условия согласованы с натурными наблюдениями и учитывают унитарную вариацию потенциала глобальной электрической цепи, непрерывность полного электрического тока на подвижной верхней границе ПСА и изменяющееся сопротивление столба атмосферы. В качестве граничного условия у поверхности задействованы измеренные концентрации атмосферных легких ионов обоих знаков заряда. Блок турбулентного переноса заряженных и нейтральных

фракций реализован на основе полулагранжева подхода [1], учитывающего высотную зависимость и негауссовость турбулентных статистик, в частности, асимметрии пульсаций вертикальной скорости и средней скорости диссипации турбулентной кинетической энергии. Воспроизведение эволюции конвективного ПСА основано на энергетической модели, параметризованной данными натурных наблюдений приповерхностного турбулентного потока тепла, масштаба Мони́на-Обухова и средней скорости ветра в пограничном слое.

В результате рассчитаны вклад растущего по высоте конвективного пограничного слоя в сопротивление столба атмосферы и потенциал верхней границы ПСА для возможных условий ионообразующего и аэрозольного наполнения. Проанализированы свойства спектральной плотности объемного электрического заряда. Вычислены и оценены компоненты полного электрического тока в ПСА, определяемые различными механизмами разделения и транспорта электрических зарядов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 12-05-00820, № 13-05-12060) и гранта Правительства РФ (договор № 11.G34.31.0048).

Литература

1. *Anisimov S.V., Galichenko S.V., Shikhova N.M.* Space charge and aroelectric flows in the exchange layer: An experimental and numerical study // *Atmospheric Research*, 2013. DOI: doi: 10.1016/j.atmosres.2013.01.012..

Аэроэлектрические структуры в приповерхностном слое атмосферы на опустыненных территориях

Г.И.Горчаков, В.М.Копейкин, А.В.Карпов, А.Б.Колесникова, А.В.Соколов
Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва

Флуктуации вертикальной и горизонтальной компонент напряженности электрического поля на опустыненных территориях в ветропесчаном потоке в значительной степени обусловлены переносом нескомпенсированных зарядов в приповерхностном и в приземном слоях атмосферы. Перенос нескомпенсированных зарядов в приповерхностном слое сальтации на опустыненных территориях можно контролировать непосредственно по данным измерений электрических токов сальтации [1]. Сильная изменчивость токов сальтации при временном разрешении 1 с свидетельствует о том, что в приповерхностном слое атмосферы существенную роль играют структуры с горизонтальными размерами порядка долей метра. Средний объёмный заряд этих структур варьирует в широких пределах. Одной из существенных особенностей этих структур и, соответственно, токов сальтации – наличие сравнительно редких, но больших по амплитуде выбросов. По этой причине спектр флуктуаций токов сальтации в области наибольших частот подобен белому шуму. Срезая сильные выбросы тока сальтации можно снизить мощность «белого шума» примерно на порядок.

Синхронные измерения электрических токов сальтации с турбулентными пульсациями трёх компонент скорости ветра показали, что в отдельных случаях удаётся идентифицировать выделенные вихревые структуры, которые ответственны за конкретные выбросы токов сальтации и за конкретные аэроэлектрические структуры, которые существенно влияют на процессы вертикального переноса в ветропесчаном потоке.

Литература

1. Горчаков Г.И., Ермаков В.Н., Копейкин В.М., Исаков А.А., Карпов А.В., Ульяновко А.В. Электрические токи сальтации в ветропесчаном потоке // Доклады АН. 2006. Т. 40, № 2. С. 259 – 262.

Электрическое состояние приземного слоя атмосферы

Э.М.Дмитриев, С.В.Анисимов

Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

Приземный слой атмосферы играет существенную роль в функционировании глобальной электрической цепи. В областях «хорошей погоды» вследствие электродного эффекта вблизи земной поверхности образуется избыток положительного объемного заряда. Переносимый турбулентными и конвективными потоками, этот заряд изменяет параметры планетарного пограничного слоя, в котором сосредоточена большая часть нагрузки глобальной электрической цепи. Изучение электричества приземного слоя необходимо и для верной интерпретации результатов наземных натуральных аэроэлектрических наблюдений. Наибольшую сложность при этом вызывает выявление в данных наблюдений влияния глобальных, региональных и локальных аэроэлектрических явлений и процессов.

В докладе дан обзор результатов наземных натуральных аэроэлектрических измерений. Показано, что электрические характеристики приземного слоя изменяются в широких пределах и сильно зависят от состояния атмосферы. Таким образом, изучение происходящих в приземном слое процессов невозможно без развития их математических и численных моделей.

Представлены результаты численного моделирования квазистационарного приземного электродного эффекта, основанные на данных наземных аэроэлектрических и аэрофизических наблюдений. Приведены аналитические и приближенные решения краевых задач, описывающих классический и турбулентный электродный эффект. Охарактеризованы особенности электродного эффекта для сильного и слабого турбулентного перемешивания, а также для случая присутствия в атмосфере аэрозолей и тяжелых ионов. Рассмотрен нестационарный электродный эффект, показано, что характерные времена установления стационарного электрического состояния приземного слоя, как правило, не превышают характерных времен атмосферных процессов.

Результаты моделирования приземного электродного эффекта могут использоваться в моделях планетарного пограничного слоя и глобальной электрической цепи. В частности, актуальным представляется создание моделей электричества пограничного слоя, учитывающих воздействие электродного эффекта в виде граничных условий.

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

Система уравнений теории электродного эффекта. Качественный анализ и аналитические соотношения

А.В.Калинин, Е.Е.Григорьев

ННГУ им. Н.И.Лобачевского, Нижний Новгород

Основные аналитические соотношения теории классического электродного эффекта и возможные их применения при моделировании электродного эффекта в приземных слоях атмосферы были исследованы в работах [1, 2]. Дальнейшие теоретические и численные исследования электродного эффекта были посвящены более сложным моделям [3–5]. Заметим, что аналитическое выражение для электрического поля в условиях классического электродного эффекта при значениях параметров, близких к реальным, было получено в работе [6].

В настоящей работе исследуются системы дифференциальных уравнений, используемых при моделировании классического и турбулентного электродного эффекта. В случае постоянных коэффициентов приводятся выражения, зависящие от полей и концентраций, сохраняющие свое значение при движении вдоль силовых линий электрического поля, в одномерном случае являющиеся интегралами системы. Для системы уравнений теории классического электродного эффекта дается полная классификация типов решений и качественный анализ их свойств. Проводится аналитическое исследование некоторых модельных задач в различных геометриях. Обсуждается вопрос о корректности постановок задач.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации (договор № 11.G34.31.0048).

Литература

1. *Thompson J.A.* Conduction of electricity through gases. Cambridge. 1903. 566 p.
2. *Swann W.F.G.* The atmospheric potential gradient and a theory as to the cause of its connection with other phenomena in atmospheric electricity, together with certain conclusions as to expression force between two parallel charged plates // *Terr. Magn. Elec.* 1913. V. 18. P. 163–184.
3. *Willett J.C.* An analysis of the electrode effect in the limit of strong turbulent mixing // *J. of Geophys. Res.* 1978. V.83. N. C1. P.402–408.
4. *Куповых Г.В., Морозов В.Н., Шварц Я.М.* Теория электродного эффекта в атмосфере. Таганрог: Изд-во ТРТУ. 1998. 123 с.
5. *Mareev E.A., Israelsson S., Knudsen E., Kalinin A.V., Novozhenov M.M.* Studies of an artificially generated electrode effect at ground level // *Ann. Geophys.* 1996. V. 14. P.1095–1101.
6. *Дмитриев Э.М., Филиппов В.А.* Аналитическое решение задачи классического электродного эффекта в приземной атмосфере // *Геофиз. иссл.* 2010. Т.11. №4. С. 53–59.

Вариации электрического поля в Якутске в 2009-2012гг.

В.И.Козлов, В.А.Мулляров, Л.Д.Тарабукина, А.А.Торопов
 Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г.Шафера
 СО РАН, Якутск

Представлены результаты экспериментальных исследований электрического поля около земной поверхности с помощью электростатического флюксметра за период 2009–2012 гг. Приведены суточные вариации в различные сезоны в периоды спокойной погоды (Рис. 1) и сезонная вариация усредненная за 4 года (Рис.2).

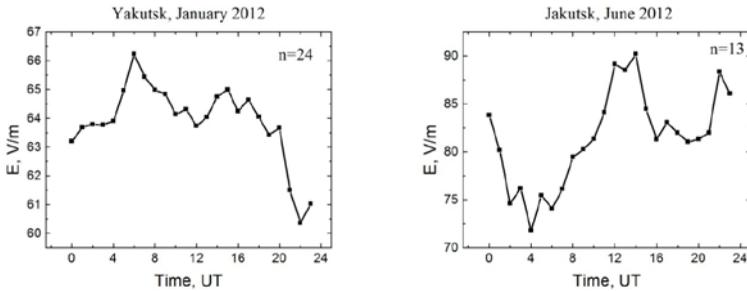


Рис. 1. Суточная вариация напряженности электрического поля за 2012 год.

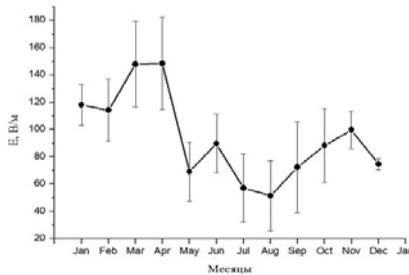


Рис. 2. Сезонная вариация напряженности электрического поля.

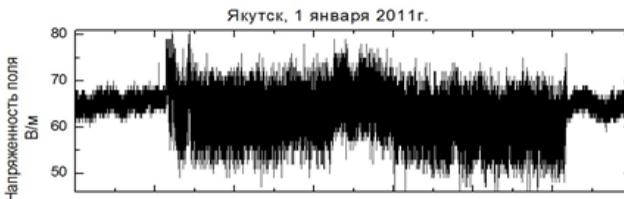


Рис. 3. Особенности поведения электрического поля в периоды зимних туманов.

На Рис. 3 показано, как увеличиваются межсекундные флуктуации в момент появления ледяного тумана. Межсекундные вариации возрастают по амплитуде в 2,9 раза. Отметим, что, в отличие от летних туманов, которые сгущаются постепенно, зимний (ледяной туман) возникает очень резко. Максимум часов с туманом пришелся на декабрь и февраль месяцы в 2010 году, а минимум в 2012 году.

В 2009–2012 гг. с помощью электростатического флюксметра в г. Якутске зарегистрировано 43 дня с 54 грозами: 9 дней – 13 гроз (2009), 10 дней – 13 гроз (2010), 13 дней – 16 гроз (2011), 11 дней – 13 гроз (2012). Грозы в целом длились 98 часов за четыре года. Максимальное суммарное число часов за год наблюдалось в 2011 г. – 37 ч. В среднем гроза длилась около 1,5 ч., при этом полное возмущение электрического поля от грозового облака могло длиться в до 6 ч, среднем 2,5 часа.

Число «облако-земля» (ОЗ) разрядов в год: 449 (2009), 596 (2010), 806 (2011), 677 (2012). Полное количество ОЗ разрядов за 4 года – 2528. Число грозовых разрядов типа ОЗ в одной грозе, проходящей мимо флюксметра, достигало 220, а в среднем равно 44. Половина всех значений количества разрядов находится в интервале от 6 до 60 разрядов, регистрируемых флюксметром в одной грозе, 80% случаев – в интервале от 3 до 100. Число разрядов, в среднем приходящихся на одну грозу, было выше в 2012 г., не смотря, на большее число гроз в 2011 г. Плотность ударов в землю в год в среднем оценивается как 0,22 на км² при радиусе в 30 км.

Частота грозовых разрядов типа «облако-земля» варьировалась в пределах от 0,07 до 2,49 разряда в минуту, в среднем – 0,53 разряда в минуту.

Доля отрицательных ОЗ разрядов составила в среднем 59% на одно событие грозовой деятельности. Медианное значение доли отрицательных разрядов для одного события грозы – 65%. Доля отрицательных ОЗ разрядов за все рассмотренные годы, а также усредненная годовая доля отрицательных разрядов почти совпадают и равняются 60% и 61% соответственно. При этом доля отрицательных ОЗ разрядов не зависит от типа возмущения приземного электрического поля, вызванного различной электрической структурой грозовых облаков.

Отметим, что грозовая активность в г. Якутске значительно выше, чем в зоне радиусом 400 км вокруг города, что объясняется тем, что город является островом тепла. Как видно из результатов настоящей работы плотность наземных разрядов по наблюдениям на малой территории города в три раза превосходит плотность по территории вокруг города. Также имеются большие отличия в процентной доле отрицательных разрядов. В городе процент положительных разрядов очень высок (около 40%).

Исследование изменчивости напряженности электрического поля в зимний период

А.В.Кочин

Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный, Московская область

Исследование изменчивости электрического поля производилось на полигоне Центральной аэрологической обсерватории в г. Долгопрудном. Полигон оборудован широким классом метеорологических приборов для проведения сопутствующих измерений: радиолокационные (МРЛ-5-АКСОПРИ в составе Московского кольца из 6-ти радиолокаторов) и аэрологические комплексы, СВЧ профилемер МТП-5 для измерения профиля температуры до 1 км, метеостанцией с учащенным измерением метеопараметров.

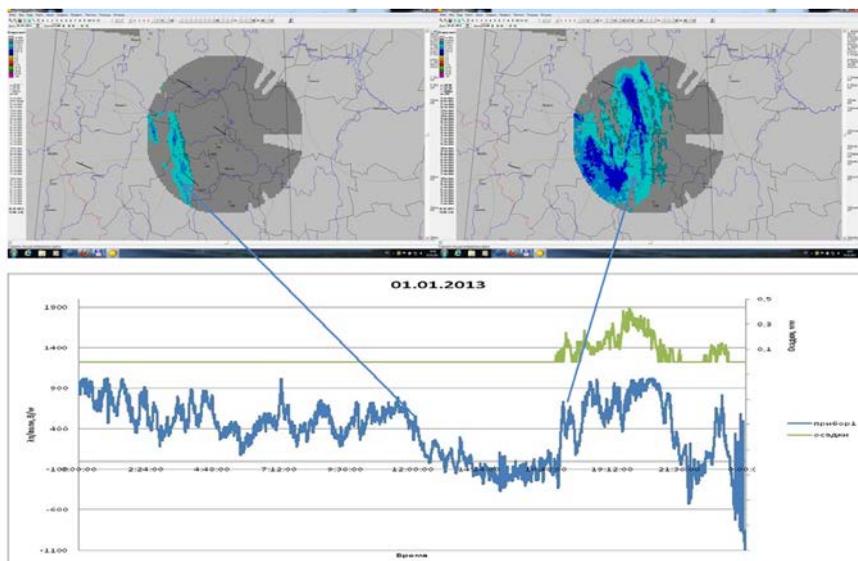


Рис. 1. Данные МРЛ, RIO и ДЭП

Измерение электрического поля производилось с помощью датчиков электрического поля (ДЭП), разработанных в ЦАО. Технические характеристики и описание ДЭП приведены в работе [1]. Датчики показали хорошие метеорологические характеристики. Уход нуля за период наблюдений с ноября по март не превысил 5 В/м. Один из датчиков был оборудован устройством для проверки крутизны наклона измерительной характеристики ДЭП, которая в течение контрольного месяца изменялась на $\pm 10\%$. Следует отметить, что датчики были ориентированы измерительными пластинами вниз, а не вверх, как обычно. По синхронным наблюдениям со стандартно ориен-

тированным датчиком был определен коэффициент редукиции, равный для выбранной схемы установки $3.2 \pm 20\%$. Выбранная схема расположения датчиков позволила обеспечить длительную работоспособность датчиков в необслуживаемом режиме. Обслуживание одного из датчиков пришлось произвести только в период цветения деревьев и в период тополиного пуха, которые вызвали отложения на передней кромке вращающейся заземленной пластины.

Так как на величину измеряемого поля большое влияние оказывает осадки, вследствие их значительного электрического заряда, необходимо регистрировать мгновенную интенсивность осадков. Для этого был разработан регистратор интенсивности осадков (РИО), работающий в ИК диапазоне, который позволяет регистрировать начало и окончание осадков с точностью до минуты и измерять интенсивность твердых и жидких осадков с точностью $\pm 30\%$. Пример записи данных приведен на рис.1.

В результате анализа данных был обнаружен эффект падения напряженности электрического поля перед выпадением осадков. Начало падения поля совпадает по времени с появлением по радиолокационным данным зоны осадков, находящейся на расстоянии 80–100 км от места наблюдений. Увеличение поля совпадает с моментом начала выпадения осадков. Если в поле зрения радиолокатора образовывалась зона с выпадающими осадками, которые в процессе перемещения не создавали осадков в точке измерения электрического поля, то эффекта уменьшения поля не наблюдалось. По данным аэрологических наблюдений в момент уменьшения поля над точкой наблюдения отмечалось прохождение фронта, однако фронты, не сопровождающиеся заметным выпадением осадков, аналогичного эффекта не вызывали. Эффект падения на 4–12 часов напряженности электрического поля перед снегопадом обнаружен в 17-ти случаях из 39 снегопадов различной интенсивности с 01.12.2012 по 03.03.2013, в 3 случаях эффект наблюдался, а снегопада не было. В 13-ти случаях присутствовала маскировка эффекта электрическим полем выпадающих осадков, в 6-ти случаях и изменение ЭП и снегопад были слабыми. Физические эффекты, которые приводят к изменению электрического поля, пока не установлены. Возможно, это вызвано вертикальными потоками в атмосфере, возникающими при прохождении фронтов. Поэтому для практического использования метода необходим набор статистических данных в различных климатических зонах.

Литература

1. *Балугин Н.В., Кочин А.В., Дубовецкий А.З., Хайкин М.Н.* Радиозондовые измерения вертикального профиля электрического поля Земли. VII Всероссийская конференция. по атмосферному электричеству. Санкт-Петербург. 2012. С. 35 – 36.

Результаты одновременных измерений электрического поля атмосферы в высокогорных и равнинных условиях

Т.В.Кудринская, Г.В.Куповых, А.А.Редин
Южный федеральный университет, Таганрог

Основной целью исследования атмосферного электричества в высокогорных районах является рассмотрение возможности организации атмосферно-электрической станции, работающей на глобальном или региональном фоновом уровне. Кроме того, в высокогорной части Приэльбрусья практически полностью отсутствуют местные источники загрязнения. Глобальная компонента электростатического поля атмосферы является фактором, формирующим квазистационарное электрическое состояние ГЭЦ, поэтому вопрос исследования глобальных и локальных вариаций электрического поля приземного слоя атмосферы остается весьма важным.

С целью выявления закономерностей вариаций атмосферно-электрического поля был проведен эксперимент по одновременной регистрации градиента потенциала на станциях, расположенных в двух пунктах:

- научно-исследовательский полигон «Кызбурун-2», расположенный в 40 км западнее г.Нальчика, на высоте 700 м над уровнем моря;
- снеголавинная станция Пик Чегет, расположенная на северном склоне горы Чегет в Приэльбрусье, на высоте 3050 м над уровнем моря.

Для регистрации напряженности электрического поля на обоих пунктах использовался измеритель электрического поля EFM 550 фирмы Vaisala. Датчики были установлены на крыше зданий высотой 3,5–5 м, положение самого датчика от поверхности – 1 м. Кроме того, проводились наблюдения метеорологических параметров: на станции Кызбурун велась автоматическая регистрация 10 минутных значений метеоданных с помощью метеостанции фирмы Vaisala; для станции Пик Чегет использовались трехчасовые измерения, проводимые традиционными методами.

На основании данных измерений построены среднесуточные вариации напряженности электрического поля атмосферы для различных сезонов, выявлены особенности суточного хода в сравнении с кривой Карнеги. Получены корреляционные соотношения величины электрического поля для высокогорных и равнинных условий.

Об эффекте измерений атмосферного электрического поля похожем на унитарную суточную вариацию

Н.Г.Кудрявцев, Д.В.Кудин, Е.О.Учайкин

Горно-Алтайский государственный университет, Горно-Алтайск

Методы измерения электрических полей в атмосфере принято условно делить на три класса [1]:

1. Измерение разности потенциалов между электродами;
2. Измерение заряда, индуцируемого измеряемым полем на электроде;
3. Измерение влияния поля на массовое движение заряженных частиц.

Перед сотрудниками нашей лаборатории была поставлена задача разработать простую и недорогую систему, позволяющую получать оценку вариаций атмосферного электрического поля (АЭП), чтобы в дальнейшем использовать полученные данные в исследовании грозовой активности и климатических условий Республики Алтай.

В основе принципа функционирования разработанной установки, лежит метод, условно отнесенный ко второму классу приведенной выше классификации.

Конструктивно установка состоит из измерительного электрода-антенны, заземления и автономного измерительного устройства. Антенна изготовлена из стальной омедненной проволоки диаметром 0.5 мм длиной 50 м, закреплена на изолированных растяжках и имеет наклонную Г-образную конфигурацию. Уличное заземление – 3 металлических вбитых в землю резьбовых шпильки. Нагрузкой антенны служит двух ваттный резистор номиналом 8.2 МОм. Измерительное устройство – RC-фильтр с частотой среза 1 Гц, усилитель постоянного тока (УПТ), 12 разрядный аналого-цифровой преобразователь, функционирующий под управлением микроконтроллера. Измерения производятся с частотой порядка 5 Гц и полученные данные записываются даталоггером в файл на Flash-карту.

В качестве измеряемого параметра рассматривается плотность тока антенны, оценка которого вычисляется по формуле:

$$I_S = (U/R)/S_a$$

где, U – напряжение на входе УПТ (выход RC-фильтра), R – сопротивление нагрузочного резистора, S_a – оценка площади поверхности измерительного электрода-антенны.

Поскольку частота среза RC-фильтра – 1 Гц, то напряжение на входе УПТ не может быть вызвано ни 50 Гц помехой ни наводками высокочастотного переменного электромагнитного поля, поэтому, мы позволили себе предположить, что вариации антенного тока, фиксируемые измерительным устройством пропорциональны вариациям АЭП. Экспериментальные дан-

ные круглосуточных наблюдений, проводимых в течение более трех месяцев с апреля по июль 2013 года показывают явно выраженную зависимость антенного тока от погодных условий – дождь, снег, гроза.

При обработке экспериментальных данных был отмечен один интересный эффект, который неоднократно повторялся и наблюдался при «хорошей» погоде в течение нескольких дней. С 24.06.2013 по 27.06.2013 и с 12.07.2013 по 14.07.2013 измерительное устройство фиксировало плавное изменение антенного тока в районе 19:00 по местному, практически идентичное данным, приведенным на Рис. 1.

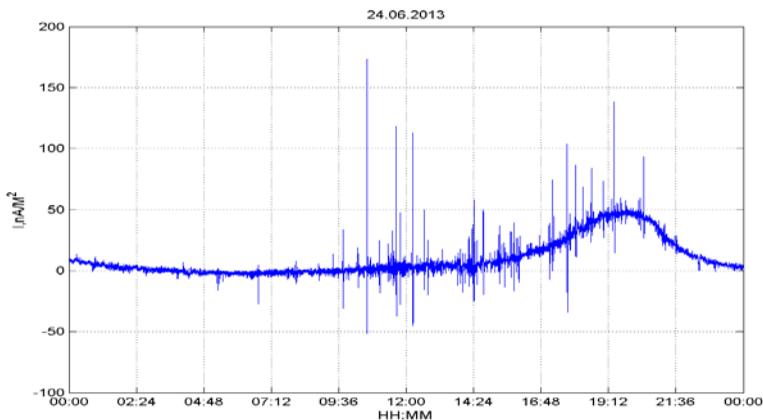


Рис.1.

В литературе [2] похожий эффект называют унитарной суточной вариацией АЭП, только время в которое, что величина E одновременно по всей Земле возрастает на 20% – в 19:00 часов по Гринвичу. Возможно, результаты наших измерений, объединяет с общепринятым определением унитарной суточной вариации АЭП только время – 19:00 часов и термин «хорошая» погода, но наблюдаемый нами эффект пока еще не нашел другого подходящего объяснения. Возможно, дальнейшие измерения позволят более подробно исследовать данный вопрос.

Литература

1. *Токтосопиев А.М.* Электромагнитные предвестники землетрясений: Учеб. пособие – Каракол: 2007. – 312 с.
2. *Имянитов И.М.* Современное состояние исследований атмосферного электричества / И.М. Имянитов, К.С. Шифрин // УФН. 1962. Т. 76, вып. 4. С. 593-639.

Сезонные изменения суточной вариации параметров атмосферного электричества на высокогорных станциях

В.М.Алешков, С.И.Молодых

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск

Авторами была разработана и изготовлена аппаратура для регистрации напряжённости электрического поля, электрической проводимости воздуха и тока проводимости. Для регистрации метеорологических характеристик использована метеостанция на акустическом принципе, разработанная в ИАО СО РАН. Для наблюдений выбраны полигоны ИСЗФ СО РАН вблизи пос. Монды на высотах 2000 и 3000 метров. Измерения элементов атмосферного электричества в высокогорных районах представляют особый интерес, так как эти районы расположены выше слоя перемешивания. Измерение напряжённости электрического поля проводится электростатическим флюксометром. Проводимость воздуха измеряется аспирационными конденсаторами, ток проводимости дифференциальной антенной. Регистрация ведётся с использованием АЦП на компьютере. В результате проведенных наблюдений получены данные о проводимости воздуха и вертикальном градиенте электрического потенциала на ст. Часовые сопки (2000 м) и ст. Хулугайша (3000 м).

На основе данных измерений параметров атмосферного электричества (градиент потенциала, проводимость, вертикальный ток проводимости), полученных на станциях «Часовые сопки» – 2000 м, «Хулугайша» – 3000 м, проведен анализ суточной вариации в различные сезоны. На рисунке 1 представлены суточные вариации градиента потенциала, в условиях ясной погоды, для холодного периода.

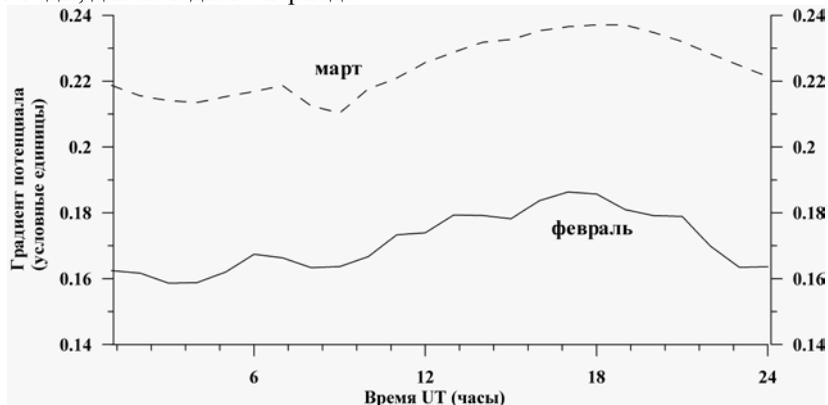


Рис. 1. Суточная вариация градиента потенциала на ст. Часовые сопки в зимний период

Проведенный анализ показал, что в холодный период после установления снежного покрова амплитуда суточной вариации градиента потенциала резко уменьшается. Причем положение максимума суточной волны градиента потенциала смещается к 19 часам мирового времени.

На основе данных измерений проводимости, полученных на станциях «Часовые сопки» – 2000 м, «Хулугайша» – 3000 м, проведен анализ суточной вариации в различные сезоны. Результаты изучения сезонной зависимости характеристик суточной вариации проводимости в условиях ясной погоды представлены на рисунке 2.

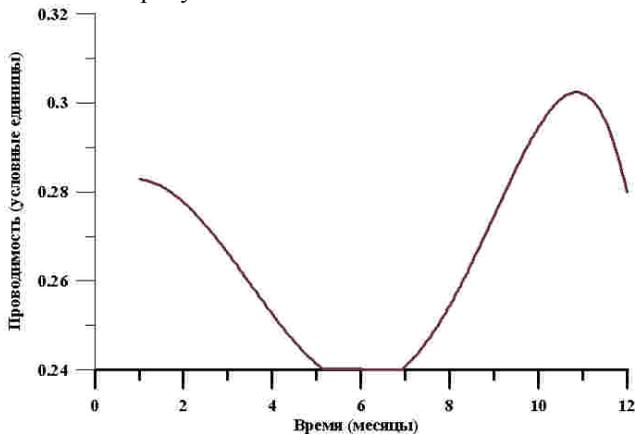


Рис.2 Годовой ход проводимости на ст. Часовые сопки

На рисунке 2 представлено сезонное изменение проводимости на высоте 2000 метров, как можно видеть максимальные значения наблюдаются в ноябре. Следует заметить, что согласно работе [1] в Воейково годовая вариация градиента потенциала имеет максимум в феврале – марте.

Выводы

На высокогорных станциях в зимний период при условиях ясной погоды преобладает унитарная суточная вариация напряженности электрического поля атмосферы. Максимум проводимости наблюдается в конце ночи.

Относительная амплитуда суточных вариаций проводимости максимальна в летние месяцы, а среднесуточные значения проводимости максимальны в начале зимы.

Литература

1. *Махоткин Л.Г.* Годовые вариации градиента потенциала и глобальные годовые изменения площади снежного покрова. Труды ГГО, 1980, вып. 401, с. 94-97.

Воздействие зимней конвективной облачности на динамику электродного слоя

*В.Н.Морозов¹, П.М.Нагорский², К.Н.Пустовалов³,
А.А.Рязанов³, С.В.Смирнов²*

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

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск

³ Томский государственный университет, Томск

Исследования распределения концентраций легких ионов и плотности объемного заряда в приземном слое атмосферы во время прохождения летних конвективных облаков показали [1], что этом случае наблюдаются согласованные изменения полярных проводимостей, во время которых число легких ионов может как возрасти, так и упасть практически до нуля. Для описания свойств нестационарного электродного слоя приземной атмосферы во время летних гроз был предложен подход, в котором электрическое поле являлось вынуждающей внешней силой.

В настоящее время существует достаточное количество подходов и моделей [2], описывающих состояние электродного слоя атмосферы. Вместе с тем слабо изученными остаются атмосферно-электрические процессы в приземном слое в зимних условиях во время прохождении мощной конвективной облачности и значительного (по сравнению с фоновым) изменения напряженности электрического поля.

Для анализа состояния и динамики приземного электродного слоя зимой использованы данные мониторинга атмосферно-электрических величин в геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН с 2006 по 2013 гг. Напряженность электрического поля E атмосферы измеряется с помощью флюксметра «Поле-2», а полярные электропроводности – прибором «Электропроводность-2». За эти годы с ноября по март было зарегистрировано более 150 дней с кучево-дождевыми (часто с наковальной) облаками. Анализ данных напряженности электрического поля E и полярных электропроводностей λ_{\pm} показал, что колебания этих величин в зимних условиях при значительном увеличении (уменьшении) поля E отличаются от согласованных вариаций, выявленных во время летних гроз [1]. Примеры выявленных видов вариаций E и λ_{\pm} , при сходных метеорологических условиях приведены на рис. 1. Облачный покров был представлен конвективными облаками Cb cap. (Cb calv, Cu, Sc).

Одним из выявленных видов являются согласованное уменьшение числа легких ионов обеих полярностей зимой (рис. 1, слева). Возможной причиной уменьшения λ_{\pm} является выпадение осадков в виде ливневого дождя и снега. На этом же рисунке справа приведены согласованные вариации E и λ_{\pm} , близкие к вариациям, зарегистрированным во время летних грозовых явлений.

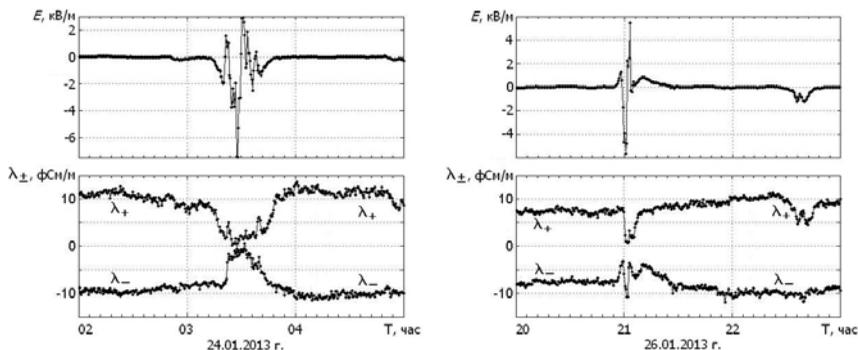


Рис. 1. Вариации E и λ_{\pm} во время прохождения зимней конвективной облачности.

Проведённые исследования позволили уточнить систему уравнений описывающих электродный слой и заключающуюся в следующем. Выпадение осадков в виде ливневого дождя и снега приводит к эффективному нестационарному стоку легких ионов на гидрометеоры, поэтому в правой части уравнения для концентраций легких ионов должно появиться слагаемое, описывающее этот процесс:

$$\frac{\partial n_{1,2}}{\partial t} \pm b_{1,2} \frac{\partial}{\partial z} (E(t)n_{1,2}) - \frac{\partial}{\partial z} \left(D_T(z) \frac{\partial n_{1,2}}{\partial z} \right) = q(z) - \alpha n_1 n_2 - \eta n_{1,2} N_0,$$

где $n_{1,2}$, $b_{1,2}$ – концентрация и подвижность легких ионов; $q(z)$ – интенсивность ионообразования; $\alpha(z)$ – коэффициент рекомбинации легких ионов; D_T – коэффициент турбулентной диффузии; η – коэффициент взаимодействия легких ионов с гидрометеорами; $N_0(z,t)$ – концентрация гидрометеоров. Таким образом, в уравнении, помимо мощного внешнего поля E , появляется второй внешний управляющий фактор: нестационарный поток гидрометеоров.

Литература

1. *Нагорский П.М.* Электродный слой в электрическом поле мощной конвективной облачности / П.М.Нагорский, В.Н.Морозов, С.В.Смирнов, А.В. Афонюшкин, К.Н.Пустовалов // VII Всероссийская конференция по Атмосферному электричеству. Труды. ГГО. – С.-Пб, 2012. С. 177–179.
2. *Куповых Г.В.* Теория электродного эффекта в атмосфере / Г.В. Куповых, В.Н.Морозов, Я.М Шварц. – Таганрог: ТРТИ, 1998. – 124 с.

Сравнение методик определения условий «хорошей погоды»

И.Н.Панчишкина, Г.Г.Петрова, А.И.Петров
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Экспериментальные исследования физики процессов в различных слоях атмосферы, являющихся участками Глобальной электрической цепи, позволяют судить о механизмах поддержания и причинах вариаций электрического поля атмосферы. Значительная изменчивость электрического поля вблизи земной поверхности связана с наложением возмущений локального происхождения на глобальные вариации электрического поля. Влияние локальной составляющей может быть заметным, значительным или определяющим для электрического состояния приземного слоя атмосферы. В связи с этим возникает проблема выделения глобальных и локальных вариаций электрического поля и других атмосферно-электрических характеристик для интерпретации и сравнимости данных, полученных в разных местах и в разное время. Для исключения влияния локальных явлений в практике атмосферно-электрических исследований выделяют условия «хорошей погоды», однако до сих пор нет единого подхода к определению критериев этих условий. Так, например, методики отбора экспериментальных данных, полученных в ненарушенных условиях, имеют свои особенности в разных странах, их содержание постоянно уточняется. Условий «хорошей погоды» касаются в работах по атмосферному электричеству многие авторы [1-5]. Наиболее часто в условия «хорошей погоды» включают отсутствие в периоды наблюдений гроз, осадков, метелей, туманов, ограничение скорости ветра, баллов облачности, а также амплитуды и частоты колебаний напряженности электрического поля. Имеется в виду, что это, в конечном счете, соответствует отсутствию локальных генераторов электрического поля, когда электрическое состояние атмосферы определяется действием только глобальных генераторов. В этих условиях плотность вертикального тока проводимости в атмосфере не изменяется с высотой, и на поверхность земли ионы попадают только под действием электрического поля.

Обсуждая концепцию «условий хорошей погоды» посредством атмосферно – электрических и метеорологических измерений, Израэльсон [4] отмечает, что во время хорошей погоды атмосферная устойчивость изменяется от устойчивой в ночное время до неустойчивой днем. Условия устойчивости существенно определяют высотный профиль концентрации радиоактивных элементов вблизи земной поверхности, соответственно этому профилю изменяются по высоте концентрация ионов, плотность объемного заряда, напряженность электрического поля. Объемные заряды переносятся, в результате диффузии и конвекции. Таким образом, отсутствие нарушающих метеоусло-

вий не исключает механического переноса заряда в нижней атмосфере, вследствие чего может существовать локальный генератор, нарушающий закон Ома в данном участке глобальной электрической цепи. Степень отклонения от закона Ома предложил оценивать Дозелек [3] критерием: $\Omega = j/\lambda E$, где j – непосредственно измеренная плотность полного вертикального тока на землю, E – напряженность электрического поля у поверхности земли, $\lambda = (\lambda_+ + \lambda_-)$ – удельная электропроводность атмосферы. Если критерий Ω близок к 1, то закон Ома применим к описанию процессов в изучаемом слое атмосферы.

В качестве критерия хорошей погоды [5] предлагается использовать общую изменчивость плотности тока: в те периоды, когда локальная составляющая генератора электрического поля значительно превышает глобальную компоненту, стандартное отклонение плотности тока может быть использовано для оценки локальных возмущений. Наблюдения можно считать соответствующими «условиям хорошей погоды», если стандартное отклонение меньше некоторого выбранного значения J_0 , но необходимо определить критический уровень этого параметра. Предлагаемый интервал, в котором может находиться подходящее значение критического уровня $0,1-1,0 \text{ пА/м}^2$.

При непосредственном измерении плотности тока механического переноса $j_{\text{мп}}$ на земную поверхность можно использовать его значения для оценки действия локального генератора, если принять в качестве критерия условный интервал значений $(-0,10 \text{ пА/м}^2 < j_{\text{мп}} < 0,10 \text{ пА/м}^2)$, когда можно считать ток механического переноса абсолютно малым: в среднем для всех пунктов наблюдений в этих случаях $j_{\text{мп}}$ не превышает 10 % от тока проводимости [2]. Преимущество такого критерия по сравнению с Ω в том, что его значение не связано с величиной плотности тока проводимости. В настоящей работе проводится сравнение различных методик выделения условий «хорошей погоды» на основе данных метеорологических и атмосферно-электрических экспедиционных измерений.

Литература

1. *Анисимов С.В.* Динамика электричества невозмущенной атмосферы средних широт. // Труды VII Всероссийской конференции по атмосферному электричеству, 2013. С.18-22.
2. *Панчишкина И.Н.* Экспериментальные исследования процессов переноса электрического заряда в приземном слое атмосферы: Дис... канд. физ.- мат. наук. Нальчик, 2009. 128 с.
3. *Dolezalek H.* Zur berechnung des luftelektrischen Stromkreises III. Kontrolle des Ohmschen gesetzes durch messung. // Geophys. Pur. Appl., 46, 1960, P. 125-144
4. *Israelsson S.* On the conception "Fair weather condition" in atmospheric electricity. // Pure Appl. Geophys., 1978. V.116, P. 149-158.
5. *Roble R.G.* The global atmospheric-electrical circuit. // I.Tzur. - The Earth Electrical Environment / Ed. E.P.Krider, R.G.Roble. Washington, National Academy Press., 1986. P.206-231.

Закономерности изменения электрической структуры приземного слоя атмосферы

Г.Г.Петрова, А.И.Петров, И.Н.Панчишкина
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Электрические процессы в приземной атмосфере характеризуются большой динамичностью и пространственной изменчивостью, обусловленной действием множества факторов, связанных, прежде всего, с близостью земной поверхности. Подстилающая поверхность оказывает значительное влияние на прилегающий к ней слой атмосферы, являясь для него источником примесей (радиоактивные эманации, водяной пар, аэрозоли), определяя его терморезим и, следовательно, условия устойчивости и вертикального перемешивания; свойства поверхности влияют на динамику воздушных потоков (шероховатость) и на адсорбцию атмосферных ионов.

Многолетний экспедиционный эксперимент, включающий градиентные измерения комплекса электрических, радиологических и метеорологических параметров нижнего 3-метрового слоя атмосферы и верхнего слоя почвы, позволяет выявить особенности электрической структуры приземного слоя и определить совокупность основных факторов, ответственных за её формирование. Экспедиции проводились в летние месяцы, в основном, на территории Ростовской области в степной зоне в пунктах, удалённых от источников антропогенных загрязнений. Измерения осуществлялись традиционными методами с использованием широко известных датчиков.

По результатам измерений [1] в большинстве исследованных пунктов наблюдается значительное эманирование почвы, вследствие чего в условиях слабого перемешивания концентрация радона-222 в открытой атмосфере часто превышает ПДК для закрытых помещений (100 Бк/м^3). Физико-статистический анализ атмосферно-электрических данных (полярные электропроводности, градиент потенциала) показывает, что в летний период в пунктах с заметным эманированием почвы вся совокупность данных разбивается на три однородных подсовкупности. Это дневные часы (неустойчивая стратификация приземного слоя), ночные часы со скоростью ветра выше 1 м/с (безразличная стратификация) и ночные часы без ветра (устойчивая стратификация).

При устойчивой стратификации турбулентное перемешивание ослаблено (значения коэффициента турбулентности составляют $0,00-0,01 \text{ м}^2/\text{с}$), радон накапливается вблизи земной поверхности, обуславливая формирование значительных вертикальных градиентов полярных электропроводностей. Средние профили полярных электропроводностей над открытым грунтом выше некоторого уровня H хорошо аппроксимируются степенной функцией. Ниже уровня H находится слой, прилегающий к земной поверхности, который мо-

жет быть назван слоем поглощения. Этот слой обеднён ионами из-за адсорбции их поверхностью почвы и растений. Толщина H над открытым грунтом обычно не превышает 0,3 м, но может достигать 0,6–1 м при заметных скоростях ветра [1].

При прохождении тока проводимости вблизи земли образование объемного заряда легких ионов осуществляется как в результате дивергенции тока проводимости, связанной с электродным эффектом ($\pm\rho_{\text{э}}$), так и вследствие градиента электропроводности атмосферы ($\pm\rho_{\Delta\lambda}$), обусловленного уменьшением интенсивности ионообразования с высотой. Прохождение вертикального тока проводимости через слой с отрицательным градиентом электропроводности приводит к образованию отрицательного объемного заряда лёгких ионов. В результате плотность объемного заряда легких ионов при устойчивой стратификации, когда градиенты электропроводности особенно велики, имеет сложный профиль. В соответствии с уравнением Пуассона вследствие этого вблизи земной поверхности часто формируется Z-образный профиль градиента электрического поля, что и фиксируется данными наблюдений [2].

В случае неустойчивой стратификации в дневные часы при сильном ветре и сухой поверхности почвы, как правило, наблюдается рост поля с высотой в нижней части его вертикального профиля, что соответствует отрицательному объёмному заряду. Происхождение этого заряда связано с ветровым подъёмом пыли с поверхности почвы, на что указывают как наши наблюдения, так и наблюдения других авторов [3].

Анализ результатов расчёта плотности объемного заряда лёгких ионов и плотности суммарного заряда всех групп ионов позволяет предполагать, что имеет место асимметричная зарядка аэрозолей при адсорбции ими зарядов лёгких ионов, что не противоречит расчётам Hoppel and Frick [4] коэффициентов присоединения к аэрозолям для ионов разных полярностей.

Литература

1. *Petrov A.I.* Profiles of polar conductivities and of radon-222 concentration in the atmosphere by stable and labile stratification of surface layer/ G.G. Petrova, I.N. Panchishkina. - Atmospheric Research (Elsevier), 2009. V. 91, P.206-214.
2. *Petrova G.G.* The Expedition Research of Processes of the Atmospheric Electrode Layer Formation / A.I. Petrov, I.N. Panchishkina, T.V. Kudrinskaya // Proc.14th Int. Conf. Atm. Electricity. Rio-de-Janeiro, Brazil, 2011. P.181-185
3. *Israelsson S.* Measurements of surface-air space charges carried by dry wind-driven dust/ J.Atmosph.Terr.Phys., 1994. V.56 (12), P.1551-1556.
4. *Hoppel W.A.* Ion-Aerosol Attachment Coefficients and the Steady-State Charge Distribution on Aerosols in a Bipolar Ion Environment/ G. M. Frick. - Aerosol Science and Tech., 1986. 5:1, P. 1-21.

Оценка вклада электричества приземного слоя в формирование параметров ГЭЦ

А.А.Редин¹, Г.В.Куповых¹, В.Н.Морозов²

¹ Южный федеральный университет, Таганрог

² Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург

Для оценки вклада электричества приземного слоя в формирование параметров ГЭЦ используется следующая система уравнений [1]:

$$\frac{\partial n_{1,2}}{\partial t} \pm \frac{\partial}{\partial z} (b_{1,2} \cdot n_{1,2} \cdot E) - \frac{\partial}{\partial z} \left(D_1 z \frac{\partial n_{1,2}}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_0 \frac{z}{l} \left(1 - \frac{z}{l} \right) n_{1,2} \right) = q(z) - \alpha n_1 n_2,$$

$$\frac{\partial E}{\partial z} = \frac{e}{\varepsilon_0} (n_1 - n_2).$$

В результате решения соответствующей начально-краевой задачи получены значения напряженности электрического поля (E) и потенциала (φ) на различных высотах вблизи поверхности земли.

Проявления глобальной вариации потенциала ионосферы в суточном ходе атмосферно-электрических величин при наземных наблюдениях исследовались в работе [2].

Для расчета потенциала использовалось соотношение $E = -\text{grad}\phi$. Отсюда следует [3]: $\phi = \int_a^b E(z) dz \approx \sum h E(z_i)$, где $a = 0$ м, $b = H = 100$ м, $h = (b-a)/1000 = 0,1$ м.

Исследованы случаи слабых и сильных полей ($E_0 = 50-500$ В·м⁻¹) в условиях слабого и развитого турбулентного перемешивания ($D_1 = 0,01 - 0,2$ м·с⁻¹) с учетом конвективного переноса ($v_0 = -0,1 - 0,1$ м·с⁻¹). В таблице 1 представлены значения потенциала на верхней границе электродного слоя φ_H, а также на высотах одного φ₁ и двух φ₂ метров над поверхностью земли.

Таблица 1. Значения потенциала для различных метеорологических условий.

$D_1, \text{м}\cdot\text{с}^{-1}$	$v_0, \text{м}\cdot\text{с}^{-1}$	$-E_0, \text{В}\cdot\text{м}^{-1}$	$-E(1)$	$-E(2)$	φ _H , кВ	φ ₁ , В	φ ₂ , В
0,01	0	100	76	65	4,7	95	164
0,1	0	100	94	89	5,5	107	197
0,2	0	100	96	93	6,1	108	203
0,01	0	50	36	31	2,4	46	79
0,1	0	50	47	44	2,8	53	99
0,01	0	300	265	238	14,6	310	560
0,1	0	300	282	268	16,4	320	594
0,01	0	500	465	434	24	530	977

$D_1, \text{м}\cdot\text{с}^{-1}$	$v_0, \text{м}\cdot\text{с}^{-1}$	$-E_0, \text{В}\cdot\text{м}^{-1}$	$-E(1)$	$-E(2)$	$\varphi_H, \text{кВ}$	$\varphi_1, \text{В}$	$\varphi_2, \text{В}$
0,1	0	500	474	452	27,2	536	997
0,2	0	500	483	468	30,3	541	1015
0,01	-0,1	100	73	61	5,3	93	159
0,01	0,1	100	79	68	4,3	97	169
0,1	-0,1	100	93	88	5,9	106	196
0,1	0,1	100	94	89	5,3	107	198

Анализ результатов расчетов показал, что увеличение турбулентного перемешивания приводит к увеличению значения потенциала (φ_H) более чем на 10%. Увеличение напряженности электрического поля у поверхности земли приводит к увеличению значения потенциала в несколько раз. Увеличение конвективного переноса ($v_0 > 0$) приводит к уменьшению значения электрического потенциала приблизительно на 10%. При $v_0 < 0$ происходит увеличение значения потенциала более чем на 10%.

Таким образом, локальные изменения электрических характеристик приземного слоя под воздействием метеорологических факторов могут дать заметный вклад в формирование ГЭЦ.

Литература

1. *Морозов В.Н.* Теория электрических явлений в атмосфере / В.Н. Морозов, Г.В. Куповых. – Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 332 с.
2. *Куповых G.V.* Global variations of ionospheric potential in surface layer / G.V. Куповых // Proc. 11th Int. Conf. on Atmosph. Electr., Alabama, 1999. P. 555-558.
3. *Самарский, А.А.* Численные методы математической физики / А.А. Самарский, А.В. Гулин. – М.: Научный мир, 2003. -316 с.

Нелинейные свойства турбулентных аэроэлектрических пульсаций

Н.М.Шихова^{1,2}, *С.В.Анисимов*^{1,2}

¹ Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

² ННГУ им. Н.И.Лобачевского, Нижний Новгород

По данным полевых натурных наблюдений атмосферного электрического поля проведен анализ суточной и годовой динамики энергетических и фрактальных показателей короткопериодных пульсаций вертикальной компоненты электрического поля приземной атмосферы $\Delta E_z(t)$. Показано[1], что в большинстве случаев аэроэлектрические пульсации обладают свойством самоподобия, характеризующегося единым показателем наклона спектра в инерционном интервале, гауссовским распределением приращений поля, линейной зависимостью показателя ζ структурной функции $D_E(t, \tau) = \langle |\Delta E(t + \tau) - \Delta E(t)|^q \rangle \sim \tau^\zeta$ от её порядка q : $\zeta \sim q$. На временных интервалах смены типов стратификации приземного слоя обнаружены участки с перемежаемостью, обусловленной анизотропным распределением плотности объемного электрического заряда. Перемежаемость ΔE_z проявляется в отклонении скейлинга структурной функции от линейного (рис.1), негауссовостью приращений ΔE_z , набором показателей наклона спектра в диапазоне частот 0.01 – 0.5 Гц. Получены оценки перемежаемости ΔE_z и рассмотрена возможность диагностики состояния пограничного слоя атмосферы.

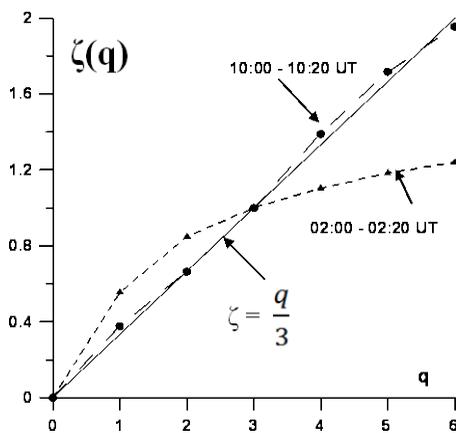


Рис.1 Зависимость показателя структурной функции аэроэлектрических пульсаций от её порядка по данным обсерватории Борок 12 июля 2011г.

Работа выполнена финансовой поддержке РФФИ (гранты № 12-05-00820, № 13-05-12060) и гранта Правительства РФ (договор № 11.G34.31.0048).

Литература

1. *Anisimov S.V., Shikhova N.M.* Intermittency of Turbulent Aeroelectric Field // Atmospheric Reserch. doi: 10.1016/j.atmosres.2012.12.018.

**ГРОВОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МОЛНИЕВЫЕ
РАЗРЯДЫ — ВКЛАД В ФОРМИРОВАНИЕ
ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ**

Инициирование искусственных молний противогодовыми ракетами с электропроводящей поверхностью

М.Н.Бейтуганов², Х.Х.Машиуков¹, С.Т.Казакова¹

¹ Высокогорный геофизический институт Росгидромета, Нальчик

² Северо-Кавказская военнизированная служба Росгидромета, Нальчик

При полетах летательных аппаратов (ЛА) в слоистых облаках и осадках происходит их сильное зарядение, обусловленное статической электризацией, нередко сопровождаемое электрическими разрядами с заостренных элементов конструкции. При этом происходят нарушения в работе радионавигационного оборудования, чреватые возникновением аварийных ситуаций.

Интенсивность статической электризации растет пропорционально примерно кубу скорости ЛА и площади его поперечного сечения при полетах в облаках и осадках. По современным оценкам, мощность электростатического генератора помех, возникающих на ЛА, может достигать 10^3 кВт, при токах электризации до 100 мА и потенциале на корпусе до 10^6 В. Электризация заметно возрастает с увеличением концентрации частиц в облаках, особенно с ростом числа ледяных кристаллов [1].

В целях уточнения механизмов зарядения ЛА статическим электричеством и поисков путей борьбы с негативным воздействием этих процессов на безопасность полетов, нами были проведены эксперименты по инициированию искусственных молниевых разрядов противогодовыми ракетами с электропроводящей поверхностью.

Для этих целей поверхность противогодовых ракет покрывалась электропроводящей краской. Электрическое сопротивление покрашенной поверхности ракеты равнялось ≈ 60 кОм/м [2].

Для фиксирования параметров грозо-градовыих облаков и атмосферного электричества у земли до и во время воздействия использовался комплекс наземной измерительной аппаратуры в составе:

- метеорологического радиолокатора МРЛ-5;
- измерительного комплекса, обеспечивающего регистрацию основных параметров разрядов молнии, в том числе:
- измеритель напряженности электрического поля с пределами измерения канала ± 10000 В/м (EFM 550 Vaisala);
- измеритель тока с изолированного острия, заземленного через измерительный резистор, чувствительностью канала до 10^{-13} А;
- грозорегистратор LS8000. Регистрация информации с измерителя напряженности электрического поля E и тока с острия j производилась на 2-х канальный USB- осциллограф с последующей записью на компьютер.

Для более точной идентификации инициированной молнии производилась синхронизация грозорегистратора LS8000 и USB- осциллографа по

времени Интернета. Момент старта покрашенной электропроводящей краской противорадовой ракеты фиксировался чувствительной микрофонной системой.

В ходе эксперимента 29 июля 2013 г были инициированы три молниевых разряда.

Первый разряд инициирован в 17 ч 41 мин 20 сек на 23 сек полета и идентифицирован нами как разряд типа Облако-Земля (Рис.1). Сила тока в канале молнии составила 10 кА. Второй разряд типа Облако-Облако был инициирован на 42 сек полета ракеты в момент срабатывания ликвидатора. Третий был инициирован в 17 ч 42 мин 03 сек на 28 сек полета, и идентифицирован как разряд типа Облако-Облако.

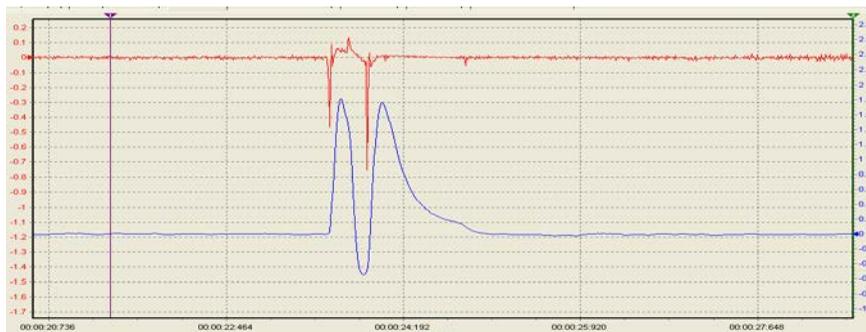


Рис.1. Разряд искусственной молнии типа Облако-Земля в 17 ч 41 мин 20 сек, 29 июля 2013 г

Идентификация инициированных молний производилась наложением координат разряда на баллистическую траекторию полета ракеты, что, вместе с учетом синхронизации по времени, является убедительным доказательством успешности эксперимента.

Литература

1. *Евтеев Б.Ф., Имянитов И.М.* Причины статической электризации самолетов и меры уменьшения ее опасности. Ленинград, Гидрометеоиздат. 1984 г., с. 4.
2. *Бейтуганов М.Н., Мацуков Х.Х., Чочаев Х.Х.* Иницирование искусственной молнии ракетой «Алазань-6» с токопроводящей поверхностью. Сб. трудов VII Всероссийской конференции по атмосферному электричеству. С. 37-38. Санкт-Петербург, 2012.

Исследование эволюции электрической структуры конвективного облака по данным численной нестационарной трехмерной модели

*Н.Е.Веремей¹, Ю.А.Довгалюк¹, М.А.Затевахин²,
А.А.Игнатъев², В.Н.Морозов¹*

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

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

В докладе описана численная нестационарная трехмерная модель конвективного грозового облака с параметризованным описанием микрофизических процессов и с учетом процессов электризации. Модель разработана в ГГО.

Представлены система уравнений модели и параметрических выражений, описывающих микрофизические процессы (фазовые переходы, коагуляция, электризация частиц). Модель имеет блочную структуру, что дает возможность подсоединять к ней дополнительные блоки, описывающие активные воздействия.

Приведен пример результатов расчетов по указанной модели для температурно-влажностного строения атмосферы, характерного для дней с развитием грозовых облаков на Северо-Западе России. Получено пространственное распределение скорости воздушных потоков, водности облачных и дождевых капель, ледности, объемной плотности распределения электрического заряда, напряженности электрического поля и др.

Результаты расчетов показали хорошее соответствие расчетных и натуральных данных. В частности, зарядовая структура конвективного облака последовательно меняется от униполярной (отрицательной) к двухполюсной (с положительным зарядом вверху) и далее к трехполюсной (с положительным зарядом вверху, отрицательным внизу и небольшой зоной нижнего положительного заряда в зоне выпадения осадков). Это согласуется с данными натуральных наблюдений.

Наиболее интенсивным механизмом электризации, по данным расчетов, является разделение зарядов при столкновении и разлете облачных капель и тающих градин во внешнем электрическом поле. Электризация при взаимодействии ледяных частиц между собой вносит меньший вклад в электризацию. Коагуляционный механизм способствует нейтрализации объемных зарядов при слиянии разноименно заряженных облачных частиц и частиц осадков.

В целом разработанная модель пригодна для описания эволюции конвективного грозового облака, связанных с ним осадков и его электрической структуры на разных стадиях его жизни.

Глобальные и региональные аспекты электрического отклика атмосферы на молниевый разряд

С.С.Давыденко

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В рамках численной модели рассматривается электромагнитное поле одиночного молниевых разряда в плоской неоднородной атмосфере в широком диапазоне пространственных и временных масштабов. Модель основана на решении полной системы уравнений Максвелла методом конечных разностей во временной области (FDTD) в применении к крупномасштабной электродинамике молниевых разряда и описывает как квазистационарные (т.н. медленные транзиенты, обусловленные максвелловской релаксацией возмущения плотности заряда), так и быстропеременные (электромагнитный импульс) электрические поля и токи в окрестности грозового облака. Найдены пространственно-временные зависимости различных компонент атмосферного электрического поля от типа разряда, распределения электрической проводимости внутри и вне грозового облака и расстояния до области разряда. Исследована зависимость свойств электромагнитного импульса молниевых разряда от параметров возвратного удара, а именно от скорости распространения импульса тока, его амплитуды и характерного времени нарастания. Установлено, что характеристики всплеска квазистатического поля после молниевых разряда в основном определяются высотой (высотами) расположения области (областей) возмущения плотности заряда, величиной нейтрализованного заряда. Рассчитан заряд, перетекающий к верхним слоям атмосферы после молниевых разряда и участвующий в формировании глобальной электрической цепи [1]. Рассмотрено влияние анизотропии проводимости верхних слоёв атмосферы путём сопоставления решений, полученных в рамках двумерной [2] и трёхмерной моделей. Обсуждается возможность определения параметров разрядов на основе данных радарного зондирования грозовых облаков, метеорологических измерений, а также наземных измерений электрического и магнитного полей с целью построения динамической картины электрических полей и токов в окрестности грозового облака и оценки вклада молниевых разрядов в глобальную электрическую цепь.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 13-05-01100 и 13-05-97063) и ОФН РАН (программа IV.11 «Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследований атмосферных процессов»).

Литература

1. *Williams E.* Recent progress on the global electrical circuit / E. Williams, E. Mareev // Atmos. Res. 2013, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.05.015>
2. *Davydenko S.S.* Modeling atmospheric electromagnetic field following a lightning discharge / S.S. Davydenko, E.A. Mareev, and A.S. Sergeev // J. Geophys. Res. 2013 (in press)

Структурные характеристики электрической турбулентности в грозовой облачности

Н.С.Ерохин¹, В.И.Краснова², Л.А.Михайловская¹

¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² Российский университет дружбы народов, Москва

Анализ возможных механизмов генерации спиральных движений в приложении к исследованию динамики мощных атмосферных вихрей типа тайфунов (ТЦ) приводит к выводу о том, для корректного описания этого процесса необходимо учитывать вклад заряженных подсистем грозовых облаков в формирование самосогласованной и существенно неоднородной структуры ветровых потоков в ТЦ, их усиление до уровня тайфунов, а также в их последующую нелинейную динамику. Имеющиеся в литературе экспериментальные данные о вертикальных профилях электрического поля $E_z(z)$ в грозовой облачности демонстрируют наличие достаточно сильных электрических полей с характерными размерами по высоте 20–500 м и напряженностями электрического поля порядка $10\text{--}10^2$ кВ/м. Для корректных оценок вклада заряженных подсистем в генерацию спиральных движений атмосферы, развития схем параметризации гидродинамических уравнений с учетом заряженных подсистем необходимо исследовать параметры электрических флуктуаций, в частности, свойства структурных функций $S_m(L)$, где $L = z_1 - z_2$ – разность высот двух атмосферных слоев, наличие инерционных интервалов, в которых выполняется степенной скейлинг $S_m(L) \sim L^{g(m)}$, где $g(m)$ – скейлинговая экспонента.

В работе, используя стандартные подходы в анализе гидродинамической турбулентности [1–6], на основе анализа экспериментальных для высотного профиля поля $E_z(z)$ в диапазоне высот $z < 13$ км рассмотрены характеристики структурных функций $S_m(L)$ для электрического поля в грозовой облачности включая стандартное отклонение для вариаций $E_z(z)$, скейлинговые экспоненты $g(m)$, индекс Херста H , куртозис $K(L) = S_4(L) / [S_2(L)]^2$, асимметрию вариаций электрического поля (skewness). Здесь следует отметить, что индекс Херста H характеризует трендоустойчивость высотного профиля поля $E_z(z)$, а куртозис определяет присутствие перемежаемости в электрической турбулентности. При наличии перемежаемости скейлинговая экспонента имеет нелинейную зависимость от порядка m . В работе показано, что на малых и средних масштабах для электрической турбулентности наблюдается обобщенная масштабная инвариантность, когда $S_m(L) \sim [S_3(L)]^{\zeta(m)}$, где $\zeta(m)$ – обобщенная скейлинговая экспонента (единый инерционный интервал). При этом имеющиеся малые отклонения могут от степенного скейлинга могут быть связаны с перемежаемостью турбулентности и присутствием когерентных структур среднего масштаба. Заметим,

что для симметричных относительно среднего значения распределений турбулентности значение параметра skewness близко к нулю. Необходимо отметить следующее. Кроме указанной выше связи с метеорологическими процессами в атмосфере электрические подсистемы грозовой облачности могут создавать вариации потока вторичных космических лучей (мюонов, электронов и др.) в нижней мезосфере и могут возникать корреляции поля $E_z(z)$ с геомагнитной активностью, например, с солнечными протонными событиями. Следовательно, особенности динамики атмосферы, обусловленные электрическими подсистемами грозовой облачности, могут быть выявлены путем исследования вариаций потока вторичных космических лучей во время гроз.

Результаты проведенного анализа представляют интерес для последующих исследований влияния заряженных подсистем вихрей типа тайфунов на генерацию гидродинамической спиральности атмосферы и формирование неоднородной структуры ветровых потоков в ТЦ. Электромагнитные силы внутри тропических циклонов могут существенно воздействовать на динамику ТЦ включая возникновение обратного каскада энергии и усиление слабых синоптических возмущений до уровня ТЦ. Так процессы ионизации повышают тепловыделение в облачности и могут приводить к формированию тепловых башен в вихрях с высокой грозовой активностью, а также порождать за счет сильных электрических полей неоднородности в ионосфере. Проводимые исследования электрических подсистем грозовой облачности важны для дальнейшего развития методик обработки данных дистанционного зондирования атмосферных вихрей, более полной и корректной физической интерпретации результатов обработки экспериментальных данных, разработки современных методов прогнозирования кризисных природных явлений, для численного моделирования пространственно-временной динамики (с включением схем параметризации вклада электрических подсистем ТЦ в гидродинамические уравнения) интенсивных, крупномасштабных вихрей в атмосфере.

Литература

1. *Horbury T.S., Balogh A.* // Nonlinear Processes in Geophysics. 1997. V.4, № 3. P.185-199.
2. *Osborne A.R., Provenzale A.* // Physica D. 1989. V.35, № 2. P.357-381.
3. *Mouiseev C.C., Чхетиани, О.Г.* // ЖЭТФ. 1996. Т. 110. вып. 1(7). С.357-364.
4. *Branover H., Eidelman, A., Mouiseev, S.S.* Turbulence and Structures. Chaos, Fluctuations and Self-organization in Nature and in the Laboratory, San-Diego, Academic Press. 1998., - 270 p.
5. *Arteha S.N., Golbraikh E., Erokhin N.S.* // Problems of Atomic Science and Technique. 2003. № 4. P.94-99.
6. *Артеха С.Н., Ерохин Н.С.* // Электромагнитные явления. 2005. N.5, № 1(14).

Использование заряженного водного аэрозоля для активных воздействий на облака

В.Н.Козлов, Н.А.Коршун

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

Мощные конвективные облака представляют собой коллоидально-неустойчивую систему, находящуюся в метастабильном состоянии. Поэтому достаточно небольшого воздействия, чтобы вызвать осадки. Применение электрически заряженной воды или электрически заряженных гигроскопических ядер является более эффективным, чем применение незаряженных реагентов.

Оценка количества реагента (воды), необходимого для эффективного вымывания теплого облака водностью 1 г/м^3 мощностью 2 км за одну секунду составляет 4 кг диспергированного до заряженных капель радиусом 10 мкм [1]. Предельный заряд для капель 10 мкм приблизительно равен $3 \cdot 10^{-14} \text{ К}$. Частица реагента, несущая электрический заряд, постепенно теряет его вследствие электропроводности воздуха. Время потери значительной доли заряда должно быть значительно больше времени достижения частицей реагента радиуса R_0 . Время, за которое заряд на частице реагента уменьшается в три раза в безоблачной атмосфере составляет от 60 сек на высоте 8 км до 600 сек у земли.

В облаках электропроводность воздуха значительно меньше, чем в безоблачной атмосфере, поэтому время потери заряда частицей реагента увеличивается. Например, на высоте 3–5 км в облаке время T может быть около 1000 с. За это время введенная в облако частица реагента должна вырасти по крайней мере до размера капли радиусом 18–20 мкм, тогда начинает действовать механизм гравитационной коагуляции. С этой целью в работе [1] были выполнены расчеты времени роста частицы реагента ($R=20$) в монодисперсном облаке капель 5–7 мкм, заряженной до величины q , близкой к предельной. Частица реагента укрупняется до 30 мкм за 1100 и 1200 сек соответственно при коэффициенте захвата E равном 1.

Коэффициент захвата E зависит от величины заряда частицы реагента и от соотношения размеров облачных капель и частиц реагента. Относительно малые изменения параметров частиц и параметра E могут повлечь резкое увеличение Δt , что может привести к отсутствию эффекта воздействия. В результате этого внедрение электрических сил для воздействия на капельные облака сопряжено с большими техническими трудностями, однако поиск таких решений представляет особый научный интерес.

Возможны различные пути такого поиска. Один из них – использование баллоэлектрического эффекта при разбрызгивании капель. Впервые электризация жидкости при дроблении была замечена у водопадов Швейцарии в

1786 г. [2]. С 1913 г. явление получило название баллоэлектрического эффекта. Наиболее значительный эффект электризации воздуха наблюдается у самых больших водопадов мира – у водопада Игуасу на границе Бразилии и Аргентины и у водопада Виктория на реке Замбези в Африке.

Наибольшая электризация воздуха наблюдается при разбрызгивании чистой воды. С увеличением концентрации примесей электризация уменьшается и далее меняет знак (в естественных условиях, например, у берегов морей и над морской поверхностью). Выход электричества различен при разбрызгивании капель разной величины. Для капли диаметром 4,4 мм при скорости падения 6,8 м/с высвобождается заряд $0,89 \cdot 10^{-12}$ Кл/см³, в то время как для капли диаметром 0,4 мм при скорости падения 4 м/сек отдача заряда составляет 10^{-12} Кл/см³. При наибольшей интенсивности разбрызгивания наблюдается приблизительный выход заряда 10^{-10} Кл на каплю [2,3].

Неустойчивый размер капли возникает при радиусе капли 2,5 мм. Наблюдения показывают, что капли радиусом больше 2,5–3,2 мм в атмосфере не встречаются – они сплющиваются и разрушаются, образуя большое число более мелких капель. В лабораторных опытах капли диаметром более 5 мм разбрызгиваются за очень малый промежуток времени. Для капель 4,25–6,25 мм, падающих в спокойном воздухе, число брызг, по лабораторным измерениям, колеблется от 3 до 97 (в среднем 30–40). При разбрызгивании образуется несколько капель радиусом около 1 мм и относительно большое число мелких капель [4, 5]. Крупные капли выпадают в виде дождя или ливня, а мелкие, имеющие заряд $3 \cdot 10^{-14}$ К, поднимаются в восходящем потоке к вершине облака, укрупняясь до критических размеров вследствие электрокоагуляции. Такая цепная реакция может происходить от 3 до 6 раз и более с постепенным затуханием по мере вовлечения в облако водяного пара и вымывания образующейся водности заряженными каплями [6]. Этот процесс может протекать от 30 мин до 2 ч, отметим, что время жизни конвективной ячейки в среднем также составляет 30 мин. Образование дочерних ячеек продолжается пока существует энергия конвективной неустойчивости в атмосфере.

Литература

1. *Имянитов И.М., Чубарина Е.В., Шварц Я.М.* Электричество облаков. - Л.: ГМИ. - 1971. - 93 с.
2. *Арабаджи В.И.* Загадки простой воды. - М.: «Знание». - 1973. – 95 с.
3. *Мучник В.М.* Физика грозы – Л.: ГМИ. – 1974. – 352с.
4. *Мейсон Б.Дж.* Физика облаков. - Л.: ГМИ. - 1961.- 541 с.
5. *Матвеев Л.Т.* Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. - Л.: ГМИ. - 1976.- 640 с.
6. *Козлов В.Н., Кориун Н.А.* Способ и устройство искусственного регулирования осадков. Заявка на изобретение № 2013107400 от 19.02.2013.

Влияние грозových явлений на формирование локального электрического поля атмосферы

А.Х.Аджиев, Р.А.Гятов, Х.Х.Машиуков

Высокогорный геофизический институт, Нальчик

Напряженность электрического поля атмосферы является одним из основных параметров атмосферного электричества. Вариации ее значений в течение суток обусловлены как локальными, так и глобальными факторами.

В ряде работ [1, 2] отмечается, что при грозových процессах имеет место значительный рост значений напряженности электрического поля по сравнению с ясной погодой. С целью более детального пространственно-временного анализа изменений электрического поля атмосферы в данной работе предложена методика совместного исследования суточных вариаций напряженности электрического поля атмосферы при грозах и параметров разрядов молний, в зоне репрезентативной регистрации датчиками электрического поля.

Работа посвящена обсуждению результатов синхронных измерений напряженности электрического поля атмосферы при разрядах молний различных типов и полярностей.

Методика измерений и состав аппаратуры выбирались с учетом их работы без обслуживания длительное время, что позволило собрать за короткий период времени достаточное количество измерений.

Для измерения напряженности электрического поля атмосферы при грозových процессах авторами был разработан аппаратно-программный комплекс, включающий в себя:

- измерители электрического поля атмосферы EFM 550 фирмы Vaisala;
- грозорегистратор LS 8000, также фирмы Vaisala;
- программное обеспечение для решения задач измерения, передачи и визуализации значений напряженности электрического поля атмосферы и параметров молниевых разрядов.

Анализируется динамика временных изменений грозовой активности и значения напряженности электрического поля при развитии грозоградовых процессов по территории Северного Кавказа. Для выявления динамики временного хода напряженности поля атмосферы при разрядах молнии осуществлялись:

- наложения на временной ход значений электрического поля гистограмм количества положительных и количества отрицательных разрядов молний на землю в радиусе 10 км от места установки измерителя напряженности электрического поля атмосферы;
- наложения на временной ход значений электрического поля гистограмм общего количества облачных разрядов и общего количества назем-

ных разрядов в радиусе 10 км от места установки измерителя электрического поля атмосферы.

Пример такого наложения приводится на рисунке 1.

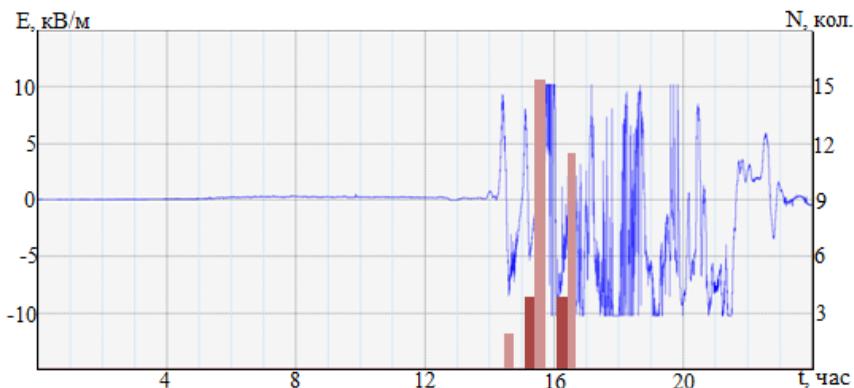


Рис. 1. Изменение значений напряженности электрического поля атмосферы в течение суток (6 мая 2013 г.). Обозначения: ■ – количество положительных разрядов; ■ – количество отрицательных разрядов.

Результаты исследования показали:

1. В отсутствии облаков среднее значение напряженности поля составляет около $+130 \text{ В/м} \div +220 \text{ В/м}$;
2. В течение суток полярность электрической структуры атмосферы не изменяется при «хорошей» погоде;
3. При наличии грозových явлений абсолютные значения напряженности поля значительно варьируют, 5 августа – от $+10 \text{ кВ/м}$ до -10 кВ/м .
4. При грозových разрядах в облаке происходит смена полярности электрического поля.
5. Смена амплитуды и полярности электрического поля при разрядах молнии происходит за короткое время, всего несколько секунд.

Литература

1. *Имянитов И.М., Чубарина Е.В.* Электричество свободной атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 240 с.
2. *Имянитов И.М., Шифрин Н.С.* Современное состояние исследований атмосферного электричества. Успехи физических наук. – 1962. – т.LXXVI, вып.4. – С.593-642.

Оценка изменений грозовой активности на территории России по данным наземных наблюдений

А.В.Чернокульский¹, О.Н.Булыгина², И.И.Мохов¹

¹ Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва

² ВНИИ гидрометеорологической информации – Мировой центр данных, Обнинск

Климатические изменения в последние десятилетия проявляются в сильных температурных и циркуляционных аномалиях, приводящих в том числе к пожарам, как, например, в России в 2002 г. и 2010 г. и в Сибири в 2012 г. Проявление в средних широтах подобных длительных аномалий с засушливыми условиями в летние сезоны связано с блокирующими антициклонами в тропосфере (блокингами) [1]. В 21 веке ожидается рост погодного потенциала пожарной опасности [2–3].

Наряду с анализом индекса погодной пожароопасности необходимо также учитывать риск возникновения природных пожаров. Около 80-90% случаев возникновения природных пожаров обусловлены антропогенным фактором, остальные 10–20% связаны с молниевой активностью. Проведен анализ изменения повторяемости молний, оцениваемых косвенным образом по данным срочных наземных наблюдений (погодное явление «гроза» и кучево-дождевые формы облачности) на метеорологических станциях на территории России за период с 1966 по 2010 гг. [4].

Отмечен рост числа конвективных облаков (кучевые и кучево-дождевые) с увеличением доли кучево-дождевых и сокращением слоистых форм облачности [4]. В связи с ростом повторяемости кучево-дождевых облаков отмечается рост числа грозовых событий. Коэффициент линейной регрессии k повторяемости дней с грозой на повторяемость дней с кучево-дождевыми облаками для лета изменяется от 0,1 до 0,3 (с максимумом на Кавказе и на юге Урала).

Отмечена смена знака тренда повторяемости грозовых явлений с отрицательного для 1965–1989 гг. на положительный для 1990–2010 гг. (рис.1). В целом, изменения грозовой активности над Россией в последние десятилетия свидетельствуют о росте риска возникновения природных пожаров.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (соглашение 8617), гранта РФФИ 12-05-00972-а, гранта Президента РФ МК-3259.2012.5 и партнерства «Глобальная энергия» (договор № МГ-2012/04/1).

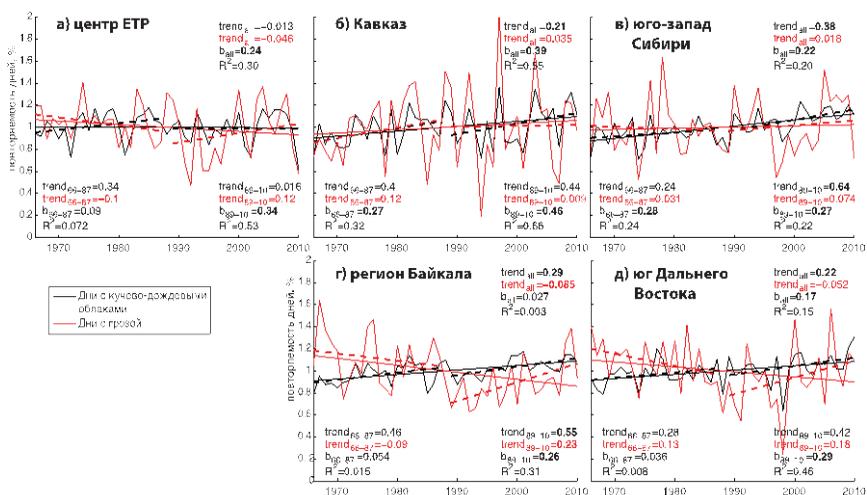


Рис. 1. Межгодовые изменения повторяемости дней с кучево-дождевыми облаками (черная линия) и дней с грозовыми явлениями (красная линия), нормированными соответственно на средние значения (за 1966–2010 гг.) для различных регионов: а) центральные районы европейской территории России (50–60° с.ш., 30–60° в.д.); б) Кавказ (40–50° с.ш., 35–50° в.д.); в) юг Западной Сибири (50–60° с.ш., 65–95° в.д.); г) Прибайкалье и Забайкалье (50–60° с.ш., 105–120° в.д.); д) юг Дальнего Востока (40–55° с.ш., 125–140° в.д.). Также на графиках указаны коэффициенты тренда, линейной регрессии и коэффициента детерминации двух рядов (для трех периодов: 1966–2010 гг., 1966–1987 гг., 1989–2010 гг.).

Литература

1. Lupo A.R., Mokhov I.I., Akperov M.G., Chernokulsky A.V., Hussain Athar. A dynamic analysis of the role of the planetary and synoptic scale in the summer of 2010 blocking episodes over the European part of Russia // *Advances in Meteorology*. 2012. Volume 2012. Article ID 584257, 11 pages.
2. Мохов И.И., Чернокульский А.В. Региональные модельные оценки риска лесных пожаров в азиатской части России при изменениях климата // *География и природные ресурсы*. 2010. №2. С.120-126.
3. Мохов И.И., Чернокульский А.В., Школьник И.М. Региональные модельные оценки пожароопасности при глобальных изменениях климата // *Доклады РАН*. 2006. Т.411. №6. С.808-811.
4. Chernokulsky A.V., Bulygina O.N., Mokhov I.I. Recent variations of cloudiness over Russia from surface daytime observations // *Environmental Research Letters*. 2011. V.6. N.3. P.035202

**ЭЛЕКТРИЧЕСТВО СРЕДНЕЙ И ВЕРХНЕЙ
АТМОСФЕРЫ; ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫЕ
ПРОЦЕССЫ В АТМОСФЕРЕ**

О влиянии спрайта/гало на химический состав мезосферы

А.А.Евтушенко, Ф.А.Кутерин

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Как выяснилось в конце XX века, грозовая активность в тропосфере создает условия для возникновения высотных разрядов: от стратосферы до мезосферы. На высотах от 50 до 90 километров наблюдаются красные спрайты – самые объемные высотные разряды – с горизонтальными размерами в несколько десятков километров. Возникновение спрайтов напрямую связано с образованием высокого дипольного момента нескомпенсированного заряда, после особенно мощных молниевых разрядов облако-земля, обычно положительной полярности. Гораздо чаще на высоте около 75–85 километров возникает гало. Гало представляет собой светящийся диск в мезосфере непосредственно над областью тропосферного разряда. Напряженность электрического поля при возникновении гало меньше, чем пробойные значения, и составляет $0,5–0,8E_k$. Частота зажигания спрайтов и гало примерно одинаковая и составляет 1 раз в минуту по всему земному шару. Практически сразу после открытия высотных разрядов встал вопрос об их возможном влиянии на химический состав атмосферы. В работе предложена самосогласованная модель спрайта/гало и исследованы возмущения ионного состава, электрического поля и характерные эмиссии [1,2].

Электрическое поле на высотах мезосферы определяется из уравнения:

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\sigma E}{\varepsilon_0} = \frac{\partial E_{ext}}{\partial t},$$

где E_{ext} – внешнее электрическое поле, вычисляемое в дипольном приближении, создаваемое нескомпенсированным электрическим зарядом в облаке, находящимся над проводящей поверхностью Земли. E – напряженность электрического поля на высоте мезосферы. Проводимость мезосферы σ определяется из соотношения:

$$\sigma = \frac{e^2 N_e}{m_e \nu_e(T_e)},$$

где N_e – концентрация электронов, $\nu_e(T_e)$ – частота столкновения электронов. Для учета зависимости температуры электронов T_e от напряженности электрического поля использовался свободно распространяемый программный пакет BOLSIG+, решающий уравнение Больцмана [3]. Зависимость силы тока в канале молнии от времени:

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

где I_0 – параметр, определяющий амплитуду силы тока, а соответственно и заряд, протекающий в молниевом канале. Характерные времена $\tau_1 = 70$ мкс и $\tau_2 = 500$ мкс [4]. Нескомпенсированный заряд в облаке вычисляется инте-

гированием силы тока в молниевом канале. Задание начальных концентраций производилось с использованием атмосферной климатической модели WACCM, являющейся частью CESH версии 1.1 [5]

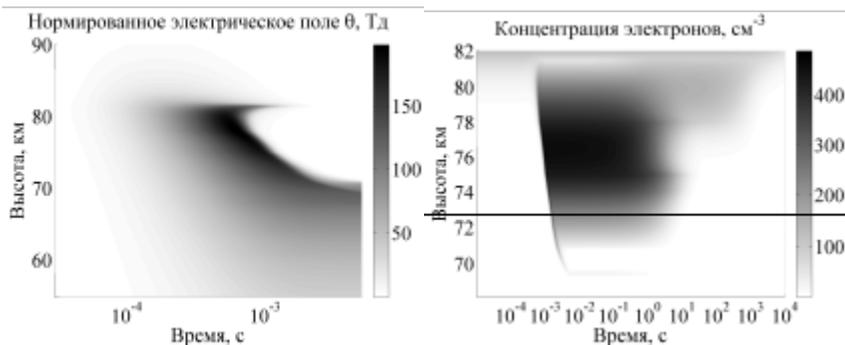


Рис. 1. Динамика нормированного электрического поля (а) и возмущения концентрации электронов при развитии спрайта (б).

Самосогласованная модель развития высотного разряда спрайта/гало позволяет оценить динамику электрического поля на высотах мезосферы, изменения химического состава и характерные излучения в зависимости от параметров разряда молнии в тропосфере. В начальный момент развития спрайта происходит уменьшение проводимости, что может играть существенную роль для инициации спрайта. С увеличением дипольного момента нескомпенсированного заряда в тропосфере диффузионная область распространяется вверх до высоты 82 км и вниз до высоты 65 километров. Основное излучение гало приходится на диапазон высот 77–81 км на первой и второй положительных полосах азота, что соответствует экспериментальным данным.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №13-05-12102 офи_м.

Литература

1. *Евтушенко А.А., Мареев Е.А.* Моделирование возмущений состава мезосферы под действием высотных разрядов – спрайтов // Изв. ВУЗов – Радиофизика. 2011. Т. 54, вып. 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 // J. Atmos. Terr. Phys. 2013. doi: 10.1016/j.jastp.2013.06.005
3. *Hagelaar G.J.M., Pitchford L.C.* Solving the Boltzmann equation to obtain electron transport coefficients and rate coefficients for fluid models // Plasma Sources Sci. Technol. 2005. Vol. 14. P. 722–733.
4. *Rakov V.A., Uman M.A.* Lightning: physics and effects. Cambridge University Press, 2002. - 687 p.
5. <http://www.cesm.ucar.edu/models/cesm1.1/cam/> [Online].

Корреляция вторичных частиц космических лучей с вариациями геомагнитного поля во время гроз

К.Х.Канониди¹, А.С.Лидванский², М.Н.Хаердинов², Н.С.Хаердинов²

¹ Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН
им. Н.В. Пушкова, Троицк

² Институт ядерных исследований, Москва

Установка «Ковёр» БНО ИЯИ РАН регистрирует вторичные частицы космического излучения. Методические особенности позволяют выделять из потока информации вариации мюонной ($E > 100$ МэВ) и электрон-фотонной (10 МэВ $< E < 30$ МэВ) компонент. Во время гроз наблюдаются аномальные возмущения в интенсивности мюонов ($\sim 1\%$), отвечающие установлению разности потенциалов в стратосфере ~ 100 МВ [1] и в интенсивности электрон-фотонной компоненты ($1-10\%$), отвечающие за регистрацию генерации тормозных гамма-квантов убегающими электронами [2]. В горном горизонтальном тоннеле, в 4 км от установки, ведётся непрерывное измерение геомагнитного поля с точностью 0.1 нТл. Во время гроз, эпизодически, регистрируются возмущения с амплитудой ~ 1 нТл. Отмечаются случаи корреляции с интенсивностью мюонов. На рис. (а) демонстрируется факт взаимного влияния, между возмущениями геомагнитного поля и электростатического приземного, во время грозы. Из вариаций h -компоненты вычтен линейный тренд. Молниевый разряд приходится на 1 секунду раньше экстремального значения возмущения в d -компоненте и на 25 секунд позже экстремального значения приземной напряжённости. Магнитное поле, в этот короткий период, демонстрирует поведение отличное от вариации интенсивности мюонов. А именно, на фоне длительной положительной вариации (7ч.35м.–8ч.00м.), наблюдается вклинивание отрицательной (7ч.41м.–7ч.50м.). Из рисунка так же видно, что начало регистрации эффективного периода генерации фотонов близко резкому изменению хода возмущения магнитного поля. Возможно, этот всплеск отвечает установлению локального магнитного поля, частично компенсировавшего вариацию геомагнитного. Рисунок (б) демонстрирует комплекс вариаций разных параметров, временного масштаба ($1-10^3$ с.), имеющих место во время гроз. На рисунке отмечены периоды эффективной фазы генерации фотонов. Заканчиваются они молниевыми разрядами. Момент разряда, в рамках модели пробоя на убегающих электронах, обязан отвечать максимальному количеству образованных ионов в критическом поле. Этот факт должен порождать максимум локального микро-возмущения геомагнитного поля. Моменты, когда микро-вариации видны, но генерация гамма – квантов не фиксируется, могут означать, что фотоны просто не попали в установку. Возмущения мягкой компоненты отвечают коротким микро-вариациям ($\sim 0.1-1$ нТл) с длительность ~ 100 с. Более заметен эффект для второго, более позднего возмущения. Итак, зарегистрирован факт взаимного влияния возмущений

геомагнитного поля и приземной напряжённости электростатического. Наблюдаются микро-пульсации геомагнитного поля, вызванные пробоем на убегающих электронах.

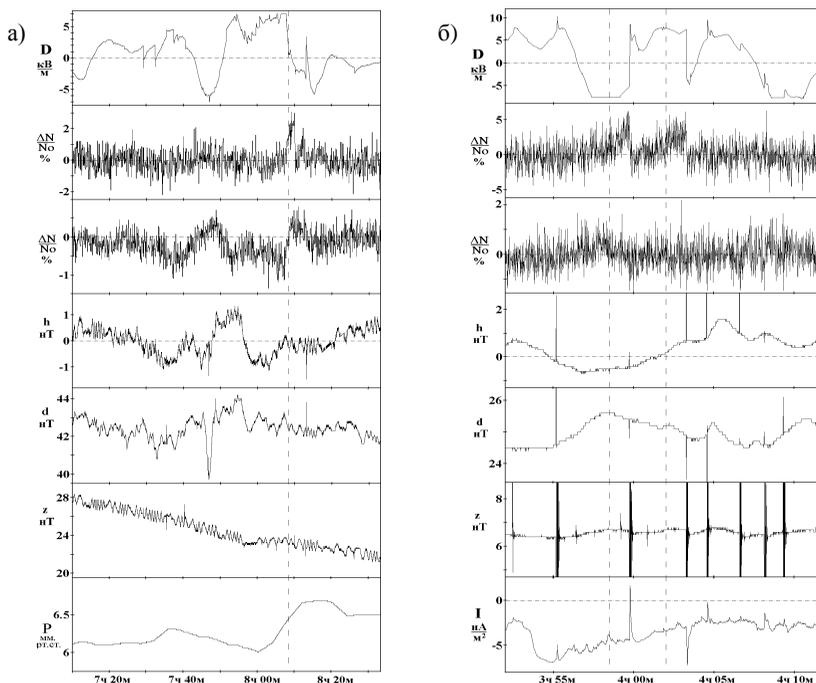


Рисунок. Эпизоды событий 31.07.2008 и 1.08.2008. Усреднение 1 с. Сверху вниз: 1) напряжённость приземного электрического поля, 2) вариации электрон-фотонной компоненты, 3) вариации мюонов, 4) h -компонента магнитного поля, 5) d -компонента, 6) z -компонента. 7) давление (а) и электрический ток дождя (б). Вертикальной пунктирной линией отмечены моменты начала эффективного периода генерации фотонов (период генерации с амплитудой более половины максимальной). Конечный момент генерации соответствует молниевому разряду, хорошо заметному в виде электромагнитных помех.

Литература

1. *Lidvansky A.S.* Interpretation of Variations of Cosmic Ray Muon Flux during Thunderstorms / N. S. Khaerdinov, N.S., A. S. Lidvansky // IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series 409 (2013) 012230, <http://iopscience.iop.org/1742-6596/409/1/012230>
2. *Khaerdinov N.S.* Heights of Generation of Runaway Electrons in Bright Cosmic Ray Events Observed on the Ground during Thunderstorms / N. S. Khaerdinov, N.S., A. S. Lidvansky // IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series 409 (2013) 012225, <http://iopscience.iop.org/1742-6596/409/1/012225>

Комплексное исследование медленно текущего пробоя стратосферы в Баксанской нейтринной обсерватории

А.С.Лидванский, М.Н.Хаердинов, Н.С.Хаердинов
Институт ядерных исследований РАН, Москва

Установка «Ковёр» БНО ИЯИ РАН расположена в ущелье на высоте 1.7 км над уровнем моря. Соседние вершины гор (4 км н. ур. м.) на расстоянии 5 км. Осуществляется непрерывная регистрация вторичных частиц космических лучей, измеряется давление, температура, приземная напряжённость электрического поля. В 5 км, в горном тоннеле, измеряется геомагнитное поле. Суммарная площадь детекторов 250 м². Это обеспечивает высокую статистическую точность (0.06%/мин). Экспериментально, все регистрируемые частицы разделяются на проникающую и мягкую компоненты. Большинство частиц проникающей – мюоны с энергией более 100МэВ (83%). Мягкая компонента на 87% состоит из электронов, позитронов и гамма – квантов (10÷30) МэВ. Проводится дополнительная коррекция вариаций мягкой компоненты на вариации жёсткой. В результате, имеем два независимых канала зондирующих атмосферу. Расшифровка вариаций их интенсивностей даёт возможность диагностики. Исследуя вариации мюонов, согласно [1], можно отслеживать разность потенциалов стратосферы, с точностью ±10 МВ/(мин). Что касается мягкой компоненты то, поскольку электроны в среде быстро останавливаются, её вариации в основном определяются приземным полем и, генерацией энергичных фотонов в областях с полями высокой напряжённости. Длина пробега фотонов для поглощения зависит от энергии. Поэтому, измеряя вариации в двух энергетических каналах регистрации, можно с максимальной статистической точностью отслеживать трансформацию спектра по высоте и, в случае заданного начального вида определять высоту области генерации фотонов, вызвавших возмущение регистрации. В таблице работы [2], в предположении существования пробоя на убегающих электронах, приведены высоты таких областей, амплитуды возмущения мюонной интенсивности, указывают, что в стратосфере была разность потенциалов ~ 100 МВ. Приведены оценки интенсивности убегающих электронов, соответствующих зарегистрированным возмущениям ($n_e \sim 10^7 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$). Эти убегающие электроны ионизуют воздух. Ионы создают ток смещения зарядов. Ток производит магнитное поле, накладывающееся на фоновое геомагнитное. Имеющаяся магнитно-вариационная станция регистрирует вариации с точностью 0.1 нТл. Ожидаемое значение возмущения:

$$B_I(\tau, H) = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \int_H^{H_c} \frac{I(\tau, m, H) |d\vec{H}\vec{r}(H)|}{|r(H)|^3} = B_0 X_H X_\delta \cdot \left[m(\%) \cdot \frac{\tau}{T_c} \cdot \frac{S_{ef}}{S_I} \right]$$

H – высота нижней границы области пробоя, $H_C = 50$ км – граница электросферы, I – ток создаваемый ионами, m – амплитуда возмущения мягкой компоненты, τ – период возмущения, r – расстояние от места регистрации магнитного поля до токового элемента вдоль оси канала по которому ведётся интегрирование. $B_0 = 0.63$ нТл, $X_H \sim 1$ – слабо зависит от высоты. $T_c = 8$ мин – временной масштаб, S_{ef} – эффективная площадь области пробоя, $S_1 = \pi L^2$, где $L = 3$ км – характерный радиус активной области грозового облака. Сильно изменяется лишь функция от перенапряжения ($\delta = D/D_0$), $X_\delta = 2(d/(1-\delta^{-1}))(1-(d/(\delta-1))(1-\exp((\delta-1)/d)))$, где $D_0 = 275$ кВ/м (при норм. усл.) – пороговая напряжённость, $d \sim 0.03$ – функция от высоты. $X_{\delta=1} = 1$, $X_{\delta=2} = 0.1$. Резко падающее с ростом напряжённости значение X_δ отражает уменьшение эффективности ионизации воздуха, за счёт уменьшения пробега убегающих частиц, при заданном потоке фотонов на выходе из поля. При $X_\delta = 1$, пробой приводит к возмущению магнитного поля с амплитудой ~ 1 нТл. Но, если пробой протекает при $\delta = 2$, то возмущение ~ 0.1 нТл. Измерение возмущения магнитного поля, вызванное непосредственно самим пробоем, имеет важное значение, поскольку характеризует его динамику. Интересным результатом была бы регистрация пробоя этого типа с помощью видеонаблюдения, методом наложения эпох, выполненного на достаточном удалении, чтобы сопутствующая облачность не закрывала обзор. Поскольку с увеличением высоты плотность воздуха падает, то и медленно текущий пробой должен начинаться от ионосферы, постепенно создавая канал проводимости в стратосфере, соединяющий электросферу с верхней областью грозового облака. Этот процесс приводил бы практически к заколачиванию ионосферы на землю. Такая видео регистрация ведётся с начала лета 2013г. с наблюдательного пункта удалённого на 75 км (р-он Нальчика). Статистически значимого результата пока нет.

Таким образом, разработаны методы комплексного изучения нового явления – медленно текущего пробоя атмосферы убегающими электронами. Экспериментальные результаты, получаемые по независимым каналам, подтверждают его существование.

Работа поддержана грантами РФФИ № 11-02-00202 и 12-02-01028.

Литература

1. *Lidvansky A.S.* Interpretation of Variations of Cosmic Ray Muon Flux during Thunderstorms / N. S. Khaerdinov, N.S., A. S. Lidvansky // IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series 409 (2013) 012230, <http://iopscience.iop.org/1742-6596/409/1/012230>
2. *Хаердинов Н.С.* Количественная интерпретация экспериментального исследования вариаций интенсивности космических лучей во время гроз / Н.С. Хаердинов, А.С. Лидванский // VII Российская конференция по атмосферному электричеству, 24-28 сентября 2012 г., Санкт-Петербург, Сборник научных трудов, стр. 248-250.

Средние характеристики приземного электрического поля во время гроз по исследованию вариаций вторичных частиц космических лучей

А.С.Лидванский, М.Н.Хаердинов, Н.С.Хаердинов

Институт ядерных исследований, Москва

Установка «Ковёр» БНО ИЯИ РАН расположена в ущелье на высоте 1.7 км над ур. моря. Соседние вершины гор (4 км) на расстоянии 5 км. На установке ведутся исследования вариаций мюонной (жёсткой) и электрон-фотонной (мягкой) компонент вторичных частиц космического излучения. Регистрация мягкой компоненты осуществляется по выделению электронами энергии (10–30) МэВ, в рабочем веществе детектора. Качественно, это соответствует регистрации остановившихся в детекторе частиц. Мюоны, напротив, регистрируются как проскочившие детектор заряженные частицы. Их кинетическая энергия превышает 100 МэВ. На установке ведётся измерение приземного электрического поля. Измеритель – флюксметр, с защитой от дождя, размещён на крыше здания (11 м). Здание окружают деревья высотой ~10 м. Развитые в ходе эксперимента методы позволяют корректно выявить вариации интенсивностей регистрируемых частиц разной природы в зависимости от приземного поля. Измеренные коэффициенты регрессии опубликованы в [1,2]. В работе [1], сравнивая результат расчёта коэффициентов регрессии для мягкой компоненты с экспериментальным значением, делается вывод, что поле, действующее на частицы на конечном участке пути (~300 м), больше измеряемого на 43%. Там же указывалось на существование областей измеряемых на земле значений $|D_{z0}| > 7$ кВ/м, при которых вариации космических лучей не объясняются трансформацией спектра в поле, требуется дополнительная генерация частиц. Эти отклонения максимальны при значениях $|D_{z0}| = 10\text{--}12$ кВ/м. В отличие от мягкой компоненты, жёсткая, несет в себе информацию о более глубоких слоях атмосферы. В работе [3] описана теоретическая модель формирования вариаций интенсивности мюонов. Выделен ряд параметров определяющих их. Это средняя напряжённость приземного поля до высоты нижнего заряженного слоя, значение этой высоты, пространственная дисперсия реального поля и разность потенциалов в стратосфере. Измеряемое на земле значение поля связано со средними его характеристиками в приземной атмосфере корреляционным образом, но коэффициенты связи, имеют мало изменяемый во времени характер, поскольку определяются геометрией и качеством подстилающей поверхности. Это обстоятельство позволяет определить их значение по калибровке рассчитанных коэффициентов квадратичной регрессии на экспериментальный результат, полученный на большой статистике. Результат приведен в [3]. Зная средние значения измеряемой на земле напряжённости (среднеквадратичный разброс, максимально

достижимое значение и т. д.) и значения коэффициентов связи, можно определить усреднённые по событиям пространственные характеристики грозового поля в приземной области. Эти характеристики накладывают рамки на возможные модели распределения электрического поля по высоте. Высотный профиль поля, до нижнего заряженного слоя, должен удовлетворять измеряемым значениям среднего по пространству и дисперсии распределения по высоте. Например, линейная аппроксимация не удовлетворяет этому тесту, а значит, не реализуется у нас. Удачно вписывается модель гиперболической зависимости, с постоянной, напряжённостью, на протяжении последнего участка толщиной Δh .

$$D(z) = D(h) \frac{a \cdot \rho(z) / \rho(h)}{z + a - h - \Delta h}, \quad z \geq h + \Delta h, \quad D(z) = \frac{-1}{h-t} \int_h^{z_0} D(x) dx, \quad h \geq z > t \quad (1)$$

$$D(z) = D(h) \rho(z) / \rho(h), \quad h + \Delta h \geq z > h, \quad D(z) = 0, \quad t \geq z$$

Высота выражена в ($\text{г}/\text{см}^2$). Для установки $z_0=840 \text{ г}/\text{см}^2$. Параметры определялись из оценки влияния поля на транспорт космических лучей, требуя соответствия измеряемым средним характеристикам. Их значения: $h = 688(1 \pm 0.1) \text{ г}/\text{см}^2$ (3.3 ± 0.4) км, $\Delta h = 6(1 \pm 0.4) \text{ г}/\text{см}^2$ (80 ± 35) м, $a = 3.8(1 \pm 0.5) \text{ г}/\text{см}^2$ (44 ± 23) м. Из (1) следует $D_H/D_{z_0} = 33(1 \pm 0.2)$. Значения напряжённостей для высоты h , в единицах критической ($D_c = 218 \text{ кВ}/\text{м}$ при н. усл.) соответствующие «особым» точкам распределения вариаций [1], с ошибкой 20%: $D_H/D_{c(7\text{кВ}/\text{м})} = 1.57$, $D_H/D_{c(10)} = 2.25$, $D_H/D_{c(12)} = 2.70$. При этих напряжённостях должен идти пробой на убегающих электронах в при пороговом режиме. Что и было зарегистрировано. На основе модели влияния электрического поля на интенсивность мюонов, описывающей эксперимент, разработан независимый метод диагностики распределения поля в нижней атмосфере. Показано, что случаи аномальных возмущений интенсивности мягкой компоненты являются следствием пробоя на убегающих электронах в при пороговом режиме. Этот тип пробоя в условиях данных наблюдений является причиной ограничения роста приземной напряжённости.

Литература

1. Лидванский А.С. Влияние приземного электрического поля на интенсивность мягкой компоненты космических лучей / А.С. Лидванский, Н.С. Хаердинов // Изв. РАН, сер. Физ., 2007, т. 71, № 7, стр. 1052-1055.
2. Лидванский А.С. Вариации интенсивности мюонов космических лучей вызванные грозовыми электрическими полями / А.С. Лидванский, В.Б. Петков, Н.С. Хаердинов // Изв. РАН, сер. физ., 2004, т. 68, № 11, стр. 1605-1607.
3. Lidvansky A.S. Interpretation of Variations of Cosmic Ray Muon Flux during Thunderstorms / N. S. Khaerdinov, N.S., A. S. Lidvansky // IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series 409 (2013) 012230, <http://iopscience.iop.org/1742-6596/409/1/012230>

Фрактально-скейлинговый метод обработки данных о глобальной электрической цепи: эльфы, джеты, спрайты

А.А.Потапов

Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН, Москва

Как известно (см., например, [1–2]), физической причиной формирования глобальной электрической цепи (ГЭЦ) в атмосфере служит резкий рост проводимости воздуха с высотой. Высотные электрические разряды (20 – 100 км) подразделяются на несколько основных типов: эльфы, джеты, спрайты и гало. Динамические пространственно-временные особенности и морфология спрайтов могут быть объяснены, в частности, фрактальной геометрией разрядов [1-4]. Иначе обстоит дело с вопросами статистической обработки данных. Здесь по традиции используют классические методы.

В докладе приведены основные этапы развития и узловые пункты современных методов, использующие фрактальный анализ, свойства скейлинга и дробные интегропроизводные [4–6]. Дан обзор многочисленных результатов, полученные автором с учениками, на основе теории фракталов и теории дробной размерности при учете скейлинговых эффектов реальных радиосигналов и электромагнитных полей. Другими словами, показано, что применение математической теории дробной меры открывает для физиков и экспериментаторов целый ряд новых методологических принципов. Автор надеется, что нашел очередную эффективную точку соприкосновения современной нелинейной электродинамики ГЭЦ с разрабатываемым им глобальным фрактальным методом. Так ли это, покажет время.

Литература

1. *Мареев Е.А., Клименко В.В.* Нелинейная динамика высотного грозового разряда // *Нелинейные волны* 2006 / Под ред. А.В. Гапонова-Грехова, В.И. Некоркина. - Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2007. С. 337-359.
2. *Мареев Е.А., Трахтенгерц В.Ю.* Загадки атмосферного электричества // *Природа*, 2007. № 3. С. 24-33.
3. *Потапов А.А.* Фрактальные лабиринты как новый объект математической физики // *Материалы Третьей междунар. конф. “Математическая физика и ее приложения”* (Самара, 27 августа – 1 сентября 2012 г.). - Самара: СамГТУ, 2012. С. 239-240.
4. *Потапов А.А.* Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Университетская книга, 2005.- 848 с.
5. *Потапов А.А., Гуляев Ю.В., Никитов С.А., Пахомов А.А., Герман В.А.* Новейшие методы обработки изображений / Под ред. А.А. Потапова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.- 496 с.
6. *Потапов А.А.* Фрактальный метод и фрактальная парадигма в современном естествознании. - Воронеж: ИПЦ “Научная книга”, 2012.-108 с.

**ГЛОБАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ,
МЕТЕОРОЛОГИЯ И КЛИМАТ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
АСПЕКТЫ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ**

Термодинамическое состояние атмосферы при грозах, ливнях, граде и смерче

Т.В.Ершова¹, В.П.Горбатенко²

¹ Томский государственный педагогический университет, Томск

² НИ Томский государственный университет, Томск

Кучево-дождевые облака вертикального развития имеют самую большую электрическую активность по абсолютным значениям напряженности электрического поля и являются существенным звеном в глобальной электрической цепи. Поэтому исследование термодинамических характеристик атмосферы при опасных метеорологических явлениях (ливень, гроза, град и смерч), связанных с кучево-дождевой облачностью, является важнейшей задачей, как синоптиков, так и специалистов по атмосферному электричеству.

Цель данного исследования – сравнительный анализ термодинамических параметров атмосферы при грозах, ливнях, граде и смерче.

Материалом исследования послужила информация Института космических исследований РАН [1] о случаях с ливнями, грозами, градом и смерчем для 12 станций в умеренных широтах за период 2000–2012 гг.: России (Западная Сибирь – 4 станции), Китая (1 ст.), Германии (4 ст.), Польши (3 ст.). Данные радиозондирования были взяты на сайте американского университета Вайоминг (Wyoming) [2].

Средние значения термодинамических параметров атмосферы и среднеквадратических отклонений (X_{cp}/σ) при опасных метеорологических явлениях для станций Западной Сибири (Россия). 12 часов ВСВ. 2000-2012 гг.

Явление	SHOW	LIFT	SWEAT	KINX	TOTL	CAPE	CINS	EL	LFCT
Ливень (752 сл.)	4/3	2/4	134/65	24/9	46/5	181/362	-24/44	558/195	834/74
Гроза (594 сл.)	2/3	-1/3	157/72	28/7	48/5	423/535	-49/66	402/180	795/87
Смерч	2	-3	137	34	49	886	-33	272	856

Сравнивая частоту опасных явлений, можно отметить, что чаще всего отмечаются ливни. Причем над Центральной Европой количество ливней превышает грозы почти в три раза, а над Западной Сибирью в два раза. Град на метеорологических станциях отмечается довольно редко – от 2 до 16 раз меньше, чем случаев с грозой. Самое редкое явление – это смерч.

За исследуемый период индекс Шоултер (Showalter index) при ливнях на 1–2 °С превышал значение при грозах. Индекс подъема (Lifted index) для всей исследуемой территории при ливнях, также значительно превосходил этот же показатель при грозах. При этом минимальное значение параметра Lifted index (-1 °С) отмечалось на территории Западной Сибири [3]. Комплексный параметр SWEAT, характеризующий влажность, температуру, а

также сдвиг и направление ветра, для всей территории при грозах значительно выше, чем при ливнях. Значение параметра KINX при грозах на всех станциях в среднем на 3–4 °С выше, чем при ливнях. Индекс TOTL (или контраст температур и дефицит точки росы на высотах 1,5 и 5,5 км) во всех регионах при грозах в целом выше на 2–3 °С, чем при ливнях. Значение конвективной потенциальной энергии (CAPE) при грозах превышало значение при ливнях более чем в два раза. Максимальные показатели конвективной потенциальной энергии характерны для станций Западной Сибири. Минимальные значения данного параметра прослеживаются на территории Германии. Уровень свободной конвекции (LFCT) и уровень равновесия (EL) в грозовых облаках выше, чем в ливневых. Толщина слоя между уровнями LFCT и EL в грозовых облаках значительно выше, чем в ливневых.

При смерче уровень равновесия (EL) находился на высоте 10 км, что выше примерно на 3–5 км, чем при развитии грозы и ливня. Таким образом, при смерче развиваются более мощные облака.

В результате можно заключить, что в дальнейшем, требуется продолжение исследований термодинамических характеристик для территорий Западной Сибири с целью совершенствования методов прогноза опасных метеорологических явлений, связанных с кучево-дождевыми облаками.

Работа выполнена при частичной поддержке программы Эрасмус Мундус (Erasmus Mundus EMA 2 MULTIC 10-939)

Литература

1. Сервер Института космических исследований РАН «Погода России». URL: www.meteo.inospace.ru/ (дата обращения 29.05.2013).
2. University of Wyoming. Department of atmospheric science. URL: <http://www.weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (дата обращения 29.05.2013).
3. *Ершова, Т.В.* Термодинамическое состояние атмосферы при грозах и ливнях / В.П. Горбатенко, О.А.Клипова // Вестник Томского государственного педагогического университета. Томск: Изд-во ТГПУ. № 7. 2012. С. 9–14.

Экспериментальное определение удельного заряда сальтирующих песчинок на опустыненных территориях

Г.И.Горчаков¹, В.М.Копейкин¹, А.В.Карпов¹, Д.В.Бунтов³,
Г.А.Курбатов², А.В.Соколов¹

¹ Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва

² Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва

³ Московский государственный университет приборостроения и информатики,
Москва

В работах Рено и Кока, а также других авторов показано, что электрические процессы в ветропесчаном потоке заметно влияют на параметры сальтации. Один из механизмов этого влияния – воздействие электрического поля на заряженные сальтирующие песчинки. При оценке влияния электрического поля на полёт сальтирующей песчинки необходимо знать удельный заряд этой песчинки (соотношение заряда к массе). В работе [1] был измерен суммарный заряд некоторого количества сальтирующих песчинок, захваченных в ловушку Фарадея, и определена их суммарная масса. Полученное в [1] значение удельного заряда оказалось равным +60 мкКл/кг. Однако, при оценке удельного заряда авторы [1] не учитывали помехи со стороны отрицательно заряженных частиц. Согласно современным представлениям положительные заряды в ветропесчаном потоке переносятся, главным образом, крупными песчинками с размерами больше 60 мкм. Поэтому можно предполагать, что накопленная масса песчинок определяется вкладом положительно заряженных песчинок. Измерение токов сальтации [2] в ветропесчаном потоке дало возможность выделить из полной реализации суммарный положительный заряд, переносимый песчинками и рассчитать удельный заряд с учётом знакопеременности электрических токов сальтации. По данным нескольких серий измерений электрических токов сальтации и накопленной массы сальтирующих песчинок в 2011 г. на песчаной территории вблизи р. Волги удельный заряд в среднем оказался равным +50 мкКл/кг. Удельный заряд в ветропесчаном потоке зависит от целого ряда параметров, в том числе, и от высоты. Нами показано, что над слоем сальтации удельный заряд отрицательный и по модулю превышает удельный заряд в слое сальтации.

Литература

1. Schmidt D.S., et al. Electrostatic force on saltating sand //J. Geophys. Res. 1998. V. 103, No D8. P. 8997 – 9001.
2. Горчаков Г.И., Копейкин В.М., Карпов А.В., Бунтов Д.В., Соколов А.В. Удельный заряд сальтирующих песчинок на опустыненных территориях //Доклады АН. В печати.

Исследование взаимосвязи спектральных характеристик флуктуаций атмосферного давления и электрического поля

А.В.Кочин

Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный, Московская область

Исследование спектральных характеристик пульсаций атмосферного давления и флуктуаций электрического поля производились по данным измерений микробарографа и датчика электрического поля, установленных на полигоне Центральной аэрологической обсерватории в г. Долгопрудном. Измерение электрического поля производилось с помощью датчиков электрического поля (ДЭП), разработанных в ЦАО. Технические характеристики и описание ДЭП приведены в работе [1]. Микробарограф был изготовлен на базе дифференциального датчика давления с 16-ти разрядным АЦП. ДЭП был ориентирован измерительными пластинами вниз для удобства эксплуатации. На величину измеряемого поля большое влияние оказывает осадки, поэтому необходимо регистрировать мгновенную их интенсивность. Для этого был разработан регистратор интенсивности осадков (РИО), работающий в ИК диапазоне, который позволяет регистрировать начало и окончание осадков и точно до минуты. Обработка данных осуществлялась методом Вейвлет-анализа. Пример наблюдаемых спектров приведен на рис.1.

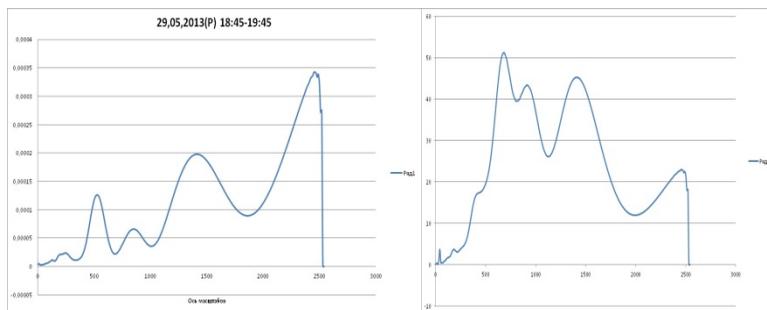


Рис.1. Спектры флуктуаций давления (слева) и электрического поля (справа).

В спектрах самым «высокочастотным» является пик с периодом около 600 секунд. Флуктуации атмосферного давления с периодом 10 минут зарегистрированы довольно давно, но удовлетворительного объяснения они не получили [2]. Для объяснения предлагается следующая модель. Возмущение в некотором слое атмосферы (например, нагрев) вызывает расширение слоя в выше- и нижерасположенную часть атмосферы. Когда давление становится равным гидростатическому ускорение в слое равно нулю, но вертикальная скорость не равна нулю. Поэтому слой по инерции будет расши-

ряться дальше, появится противодействующая сила и в некоторый момент уже скорость станет равной нулю. Возникнут колебания около положения равновесия. Подобный процесс не является гравитационной волной с частотой Брента-Вайсяля, возникающей из-за разности температур между некоторым объемом газа и газом в окружающем пространстве. Это независимый вид плоских колебаний в упругой среде, которые можно назвать ВАВ-процессом (вертикальные атмосферные возмущения). Колебания обусловлены упругими свойствами слоя газа, который выполняет роль пружины с жесткостью k , определяемой его вертикальной протяженностью L с учетом изменения давления по вертикали ($k=(P_0-P_L)\gamma/L$), и массой атмосферы ($m=P/g$). Приблизительно период подобных колебаний ($T=2\pi(m/k)^{1/2}$) можно записать в следующем виде

$$T=2\pi(4L/\gamma g)^{1/2}.$$

Для политропной атмосферы (с постоянным отрицательным градиентом температуры за счет адиабатического расширения или охлаждения воздуха в процессе подъема и опускания) $L \sim 30$ Км, γ для воздуха 1,4, таким образом, период равен 581 секунде, что совпадает с первым пиком, учитывая отличия реальной атмосферы от политропной. ВАВ-процесс также должен приводить к флуктуациям в электрическом поле. Колебания всей атмосферы, как единого целого, вызывают изменения положения зарядов во всей атмосфере, что должно приводить к появлению соответствующей составляющей в спектре флуктуаций электрического поля. По данным радиозондирования вертикальная скорость подъема радиозонда меняется примерно на 1 м/с. Это дает синхронное смещение высоты стратосферы и ионосферы на 300 и более метров. Однако необходимое для формирования подобного особенностей спектра изменение напряженности электрического поля составляет десятки В/м, что не может быть объяснено, например, только механическим смещением ионосферы. Поэтому установленные взаимосвязи нуждаются в корректном физическом обосновании.

Появление пика на 1400 секунд может быть обусловлено биениями низкочастотных колебаний или особенностями методов получения и обработки сигнала, потому что в спектрах флуктуаций давления, полученных методами Фурье преобразования, на этих частотах регистрируется непрерывный спад от нулевой частоты без отчетливо выраженных пиков

Литература

1. *Балугин Н.В., Кочин А.В., Дубовецкий А.З., Хайкин М.Н.* Радиозондовые измерения вертикального профиля электрического поля Земли. VII Всероссийская конференция. по атмосферному электричеству. Санкт-Петербург. 2012. С. 35–36.
2. *Госсард Э., Хук У.* Волны в атмосфере. - М.: Мир, 1978. – 532 с.

Суточные вариации напряженности электрического поля приземной атмосферы в дымах от летних лесных пожаров

*П.М.Нагорский¹, С.Ю.Золотов¹, И.И.Ипполитов¹, М.В.Кабанов¹,
О.Г.Ланская¹, Ю.А.Пхалагов², С.В.Смирнов¹*

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск

³ Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск

К числу недостаточно изученных атмосферных процессов, вносящих явно нестационарный вклад в формирование глобальной электрической цепи, относятся те, которые реализуются в дымовом смоге от лесных пожаров. Так, во время лесных пожаров в Томской области в 2004 году было обнаружено [1], что с усилением задымления (при увеличении концентрации дымовых частиц) среднесуточная напряженность электрического поля в приземном слое не увеличивается в соответствии с электрооптическим соотношением, а уменьшается с ~ 200 В/м до $30\text{--}60$ В/м.

В докладе представлены результаты исследований атмосферно-электрических величин во время длительных лесных пожаров в Сибири летом 2012 года, при которых впервые был обнаружен эффект суточных колебаний напряженности электрического поля в приземном слое от $+300$ В/м днем до -300 В/м ночью в условиях постоянного и сильного задымления. Эксперимент по исследованию вариаций напряженности электрического поля в приземном слое дымового шлейфа от лесных пожаров проводился в рамках комплексного мониторинга метеорологических и актинометрических величин, а также УФ-радиации и концентрации аэрозоля. Метеорологическая дальность видимости определялась по данным Томской метеостанции Росгидромета.

Лесные пожары 2012 года в Сибири с переменным задымлением в городе Томске продолжались с июня по август 2012 года. Но устойчивые условия для проведения экспериментальных исследований сложились только в третьей декаде июля (25–28 июля 2012 г.), когда дымовой шлейф от удаленных очагов пожара на несколько дней оставался на территории города. Синоптическая ситуация в этот период над всей восточной частью Западной Сибири была обусловлена малоградиентным барическим полем. Температура воздуха изменялась в пределах от $+15^\circ\text{C}$ в ночные часы до $+30^\circ\text{C}$ днём, ветер был слабым ($1\text{--}3$ м/с) северного направления (от 300° до 60°), осадки отсутствовали, метеорологическая дальность видимости S_m уменьшалась до 500 м и менее, а вариации напряженности электрического поля в приземном слое были максимальными.

Напряженность электрического поля в эти дни систематически изменялась от положительных величин днем до отрицательных – ночью. Выявленные нами суточные вариации напряженности поля кардинальным образом отличаются как от суточных вариаций напряженности поля над океанами

(кривая «Карнеги»), так и от усредненных вариаций поля в средних широтах летом с полусуточным периодом [2]. В первом случае выявленные вариации опережают ход кривой «Карнеги» по фазе приблизительно на π , а во втором – периоды вариаций отличаются в ~ 2 раза. С уменьшением S_m полярные электропроводности – уменьшаются. Обнаруженный нами эффект по суточной вариации электрического поля в приземном слое от +300 В/м днем до –300 В/м ночью выделяется из известных тем, что он установлен при дымовом смоге от лесных пожаров, часто и надолго охватывающих большие территории многих регионов. Частицы дымового аэрозоля оказывают влияние на вариации напряженности приземного электрического поля атмосферы в областях, покрытых дымовым шлейфом.

Отсутствие строгой идентичности по ежесуточным изменениям напряженности поля E объясняется естественной неоднородностью дымового шлейфа. Наблюдаемые при этом отклонения суточных колебаний от строго гармоничных отражают неизбежную мелкомасштабную неоднородность дымового шлейфа и всегда присутствующие локальные особенности.

Взаимосвязь суточных вариаций напряженности электрического поля с наблюдаемыми вариациями метеорологических характеристик допускает следующую интерпретацию обнаруженного эффекта. После захода Солнца при температуре, близкой к температуре точки росы, частицы дымового аэрозоля начинают аккумулировать на себя водяной пар, более крупные из них становятся заряженными отрицательно и, вследствие оседания под действием силы тяжести, формируют вблизи поверхности отрицательный объемный заряд. Этот объемный заряд и приводит к инверсии направления поля ночью. Днем данный слой частиц разрушается вследствие процессов испарения воды с частиц аэрозоля и турбулентного перемешивания.

Принципиальное значение обнаруженного эффекта связано с той ролью, которую локальные атмосферно-электрические поля играют как в формировании глобальной электрической цепи, так и в эко и биосистемных процессах (например, в осморегуляции).

Литература

1. Пхалагов Ю.А. Электрооптические связи в атмосфере в условиях дымового смога / Ю.А. Пхалагов, В.Н. Ужegov, М.В. Панченко, И.И. Ипполитов // Оптика атмосферы и океана. 2006. Т.19. № 10. С. 861-864.
2. Анисимов С.В. Геофизические исследования глобальной электрической сети / С. В. Анисимов, Е. А. Мареев // Физика Земли. 2008. № 10. С. 8-18.

Электрические параметры нижней атмосферы под воздействием метеорологических факторов

Н.В. Чернева¹, П.П. Фирстов²

¹ Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка, Камчатский край

² Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский

Приходящие с юго-западного направления на Камчатку циклоны, оказывают существенное воздействие на все параметры нижней атмосферы. В этой работе рассмотрена изменчивость вертикальной составляющей (E_z) напряженности электрического поля атмосферы (ЭПА) от метеорологических величин: атмосферного давления, температуры воздуха, высоты снежного покрова, а также эманации радона в атмосферу, и как следствие, сезонное изменение ЭПА. Мониторинг циклонической активности на обсерватории «Паратунка» (Камчатка) осуществляется при помощи регистрации электромагнитного излучения грозových разрядов (атмосфериков) с помощью пеленгатора электромагнитного излучения в очень низком диапазоне частот (ОНЧ). Исследование факторов, влияющих на формирование сезонного хода E_z ЭПА проводилось с привлечением среднесуточных значений E_z ЭПА дней с условиями «хорошей» погоды за период 2002–2006 гг. На основании проведенного анализа показана связь E_z ЭПА со стоком радона в приземный слой атмосферы. Показано, что в период отрицательных среднесуточных температур (ноябрь – апрель) приход циклонов с южных направлений сопровождается значительным уменьшением E_z ЭПА за счет увеличения эманации радона под воздействием сильного падения атмосферного давления и резкого потепления на 10–15°. Приводятся модельные расчеты вклада в напряженность атмосферного электрического поля E_z АЭП объемных зарядов с простой конфигурацией (вертикального диполя), транспортируемых ветром над проводящей поверхностью рядом с пунктом регистрации.

Литература

1. Пономарев Е.А., Чернева Н.В., Фирстов П.П. Формирование локального электрического поля атмосферы под влиянием факторов ионизации // Геомагнетизм и аэрономия. 2011. Т. 51, № 3. С. 405–411.
2. Чернева Н.В., Пономарев Е.А., Фирстов П.П., Бузевич А.В. Базовые модели источников вариаций вертикальной компоненты атмосферного электрического поля // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2007. N 2. Вып. 10. С. 72–76.
3. Чернева Н.В., Фирстов П.П. Влияние метеорологических факторов на электрические параметры нижней атмосферы // Метеорология и гидрология. 2013. №3. С.56–65.

Влияние характеристик аэрозолей на проводимость воздуха

В.В. Чукин, У.А. Шермухамедов

Российский государственный гидрометеорологический университет,
Санкт-Петербург

В данном докладе рассматривается влияние аэрозоля на проводимость воздуха — один из основных электрических параметров атмосферы. Проводимость атмосферы обусловлена наличием в ней положительных и отрицательных ионов, которые являются носителями тока в атмосфере. Проводимость воздуха определяется следующим уравнением [1, 2]:

$$\lambda = N_+ b_+ q_+ + N_- b_- q_- \approx 1.6 \cdot 10^{-19} N(b_+ - b_-), \quad (1)$$

где λ — проводимость воздуха, См/м; N_+ , N_- — концентрация положительных и отрицательных ионов, соответственно, м^{-3} ; b_+ , b_- — подвижность положительных и отрицательных ионов, $\text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$; q_+ , q_- — заряд легких ионов, Кл.

Основной фактор, от которого зависит проводимость атмосферы — это концентрация ионов (N), которая в свою очередь зависит от источника ионизации и двух коэффициентов, один из которых, коэффициент прилипания ионов к аэрозольным частицам (β), характеризует не только свойства ионов, но и свойства аэрозолей, присутствующих в воздухе. В равновесных условиях концентрация ионов определяется уравнением вида [2, 3]:

$$N = 0.5\alpha^{-1} \left(\sqrt{\beta^2 N_A^2 - 4\alpha J - \beta N_A} \right), \quad (2)$$

где J — скорость ионизации, $\text{м}^{-3}\text{с}^{-1}$; N_A — концентрация аэрозолей, м^{-3} ; α — коэффициент рекомбинации ионов, $\text{м}^3/\text{с}$; β — эффективное значение коэффициента прилипания ионов к аэрозолям, $\text{м}^3/\text{с}$.

Концентрация ионов зависит не только от концентрации аэрозолей (N_A), но и от модального радиуса аэрозолей (r_m), как видно из параметризации, полученной нами на основе данных численного интегрирования произведения зависимости коэффициента прилипания от радиуса аэрозолей на функцию распределения аэрозолей по размерам:

$$\bar{\beta} = 1.32 \cdot 10^{-4} r_m^{1.04}, \quad (3)$$

где r_m — модальный радиус аэрозолей, м.

Литература

1. *Матвеев Л.Т.* Физика атмосферы / Л.Т.Матвеев. — СПб.: Гидрометеиздат, 2000. — 778 с.
2. *Тверской П.Н.* Курс метеорологии (Физика атмосферы) / П.Н.Тверской. — Л.: Гидрометеиздат, 1962. — 700 с.
3. *Атмосфера.* Справочник. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 510 с.

**МОНИТОРИНГ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
ЦЕПИ — НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ
И БАЗЫ ДАННЫХ**

База данных Геофизической обсерватории «Борок» для аэроэлектрических исследований

С.В.Анисимов, К.В.Афиногенов, А.В.Гурьев, Э.М.Дмитриев, А.А.Прохорчук
Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

Базы данных обсерваторских наблюдений – важнейшая экспериментальная основа геофизических исследований. Характер процессов, протекающих в глобальной электрической цепи, делает необходимым использование при ее изучении комплексных баз данных обсерваторских наблюдений, содержащих результаты наблюдений аэроэлектрических, аэрофизических, метеорологических и геофизических полей, формирующих электромагнитное окружение Земли. Одной из таких комплексных баз данных является база данных среднеширотной Геофизической обсерватории «Борок» ИФЗ РАН (ГО «Борок») [1–3].

Наблюдения на ГО «Борок» [58°04'N; 38°14'E] ведутся при низком уровне электромагнитного и сейсмического шума. Обсерватория удалена от источников электромагнитных и аэрозольных загрязнений. В настоящее время обсерваторский измерительный комплекс (рис. 1) [4] позволяет проводить как геомагнитные [6], так и аэрофизические [5] наблюдения. Непрерывно измеряются атмосферный электрический ток (антенна «токовый кол-

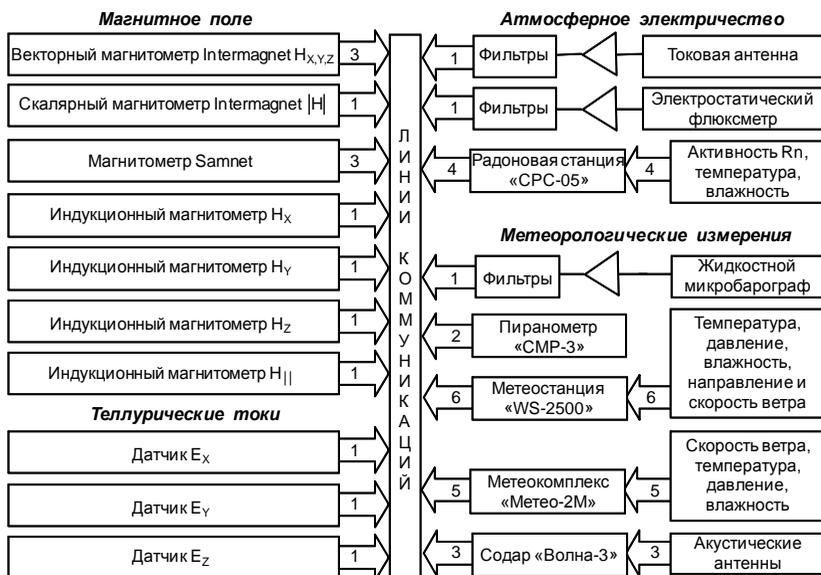


Рис. 1. Измерительный комплекс ГО «Борок» ИФЗ РАН.

лктор»); электрическое поле атмосферы (электростатический флюксметр); объемная активность приземного радона и торона (радоновая станция «СРС-05»); вариации атмосферного давления (жидкостной микробарограф); плотность потока солнечного излучения (пиранометр «СМР-3»). Регистрируются основные метеорологические параметры (цифровая метеостанция «WS-2500»); пульсации трех компонент скорости ветра и температуры, давление и влажность (ультразвуковой метеоконкомплекс «Метео-2М»); вертикальный профиль трех компонент скорости ветра до высот ~800м (доплеровский атмосферный акустический локатор «Волна-3»).

Сбор данных обсерваторских наблюдений и пополнение базы данных в реальном времени осуществляется через локальную сеть сбора данных. Веб-сайт базы данных (<http://geobr.k.adm.yar.ru>) содержит наряду с описанием и графическим представлением данных, интерфейсные формы для запроса данных пользователями. Предоставлен свободный доступ к результатам измерений вариаций геомагнитного поля Земли, К-индексам геомагнитной активности, результатам измерений атмосферного электрического поля и метеопараметров. На основе базы данных создаётся сетевой информационный ресурс для фундаментальных исследований аэроэлектрических процессов в нижней атмосфере и глобальной электрической цепи.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-07-00575-а) и Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН №7.

Литература

1. С.В.Анисимов, К.В.Афиногенов, А.В.Гурьев, Э.М.Дмитриев Атмосферные электрические наблюдения на Геофизической обсерватории «Борок» / в сб. трудов VII Всероссийской конференции по атмосферному электричеству. С.-Петербург. 2012. С. 24–26.
2. 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.
3. 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).
4. 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.
5. 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.
6. Chulliat A., Anisimov S.V. The Borok INTERMAGNET magnetic observatory // Russian Journal of Earth Sciences. 2008. V. 10, ES3003, doi:10.2205/2007ES000238.

База данных измерений приземных атмосферных электрических полей в центральной Антарктиде, веб представление

А.А.Круглов^{1,2}, *А.В.Франк-Каменецкий*¹, *А.Л.Котиков*^{2,3}

¹ Арктический и Антарктический НИИ, Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

³ Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН, Санкт-Петербург

В работе представлены результаты многолетних (1997–2013 год) наблюдений вертикальной компоненты приземного атмосферного электрического поля (E_z) на Антарктической станции Восток ($\varphi = 78.45^\circ \text{ S}$; $\lambda = 106.87^\circ \text{ E}$, высота 3500 м). За счёт абсолютной калибровки [1] были получены реальные значения E_z для всего периода наблюдений независимо от способа установки датчика.

Собранный архив экспериментальных данных был полностью перенесён в электронную БД. С результатами можно ознакомиться на сайте отдела геофизики Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (http://geophys.aari.ru/interface2_ru.html). Данные с временным разрешением от 10 секунд, доступны по запросу.

В заключении стоит отметить уникальность положения станции Восток с точки зрения измерений приземного электрического поля. Годовая сумма атмосферных осадков и ветровой режим, характеризующийся слабыми стоковыми ветрами, минимизирует влияние локальных аномалий связанных с переносимым снегом. Толстый ледяной щит, препятствующий эксхалляции почвенного радона и крайне низкая концентрация аэрозольных частиц в воздухе (следствие удалённости от промышленных центров и пустынных регионов планеты) формируют стабильную проводимость приземного слоя атмосферы. Это позволяет разделять E_z на сумму вкладов глобального грозового и магнитосферного генератора. Выделенный таким образом суточный ход глобальной грозовой активности удовлетворительно согласуется с классическими данными Карнеги.

Литература

1. *Франк-Каменецкий А.В.* Определение реальной величины атмосферного электрического поля на станции «Восток» в Антарктиде / *А.В. Франк-Каменецкий, Р.Ю. Лукьянова, В.Н. Морозов, Г.Б. Барнс* // VI Российская конференция по атмосферному электричеству – Н. Новгород, 2007. – 61с.

Применение многопунктовой грозопеленгации для мониторинга грозоопасности

Ф.А.Кутерин, Ю.В.Шлюгаев, В.Н.Якимов

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Система грозопеленгации состоит из трех однопунктовых грозопеленгаторов [1], включающих персональный компьютер, грозопеленгатор Boltek StormTracker [2] и погодную станцию Oregon WMR88, а также сервера базы данных MySQL, работающего под управлением ОС Ubuntu Linux. Для установки точного времени в пунктах грозопеленгации используются приемники GPS.

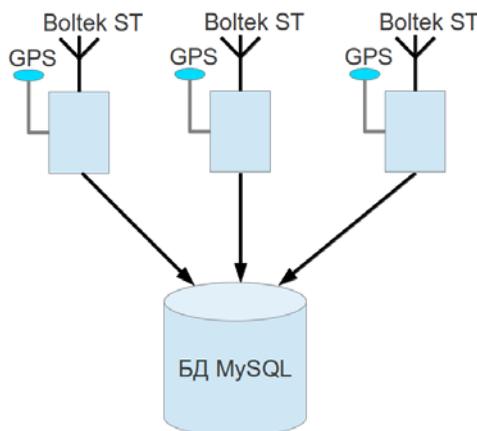


Рис. 1 Структура системы грозопеленгации.

База данных включает в себя сведения о наблюдательных пунктах (приведены в Таблице 1) и данные с грозопеленгационной системы Boltek StormTracker, перечень сведений приведен в Таблице 2.

Таблица 1. Сведения о наблюдательных пунктах.

№	Долгота	Широта	Название
1.	44.023578	56.323787	ИПФРАН, Нижний Новгород
2.	43.432331	56.686950	Волжская ГМО, Городец
3.	44.488095	56.67626	д. Светлое.

По данным грозопеленгации за 2013 год составлена карта грозоопасности Нижегородской области и проведен корреляционный анализ сведений о молниевых вспышках с трех грозопеленгационных пунктов, а также произведено сравнение с радарными картами системы АКСОПРИ.

Таблица 2. Перечень сведений о молниевых вспышках.

1	id	int(10)
2	apparatus_id	int(10)
3	phi0	double
4	phi1	double
5	seconds	int(11)
6	distance0	int(11)
7	distance1	int(11)
8	flag_type	int(11)
9	flag_polarity	int(11)
10	milliseconds	int(11)
11	reserved10	int(11)
12	reserved11	int(11)
13	reserved20	int(11)
14	reserved21	int(11)
15	reserved22	int(11)
16	year	int(11)
17	month	int(11)
18	day	int(11)

В связи с тем, что часть вспышек регистрируется не всеми пеленгаторами, а только двумя или одним, предлагается рассматривать не только одиночные вспышки, но и группы вспышек, образующие один очаг (кластер).

Настоящая работа выполнена при поддержке гранта Правительства РФ № 14.В25.31.0023, Настоящая работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ОФН РАН «Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследований атмосферных процессов» и при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант № 13-05-01139, грант № 13-05-12103)

Литература

1. Бару Н.В., Кононов И.И., Соломоник М.Е. Радиопеленгаторы-дальномеры ближних гроз. Гидрометеиздат, Ленинград, 1976 г.
2. <http://boltek.com/stormtracker.html>.

Алгоритм определения дней малой облачности по показаниям пиранометра

А.А.Прохорчук, Э.М.Дмитриев

Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

Для интерпретации данных натуральных аэроэлектрических наблюдений необходимо учитывать, удовлетворяются ли критерии «хорошей погоды»: атмосферное электрическое поле направлено сверху вниз, ветер менее 3 м/с, отсутствуют осадки, облачность менее 5 баллов. Наибольшую трудность вызывает определение облачности, которую невозможно измерить непосредственно. В докладе рассматривается алгоритм выделения периодов малой облачности по данным непрерывных измерений плотности потока солнечного излучения с помощью пиранометра.

Измеряемая датчиком пиранометра интенсивность потока солнечного излучения может быть представлена в виде $J_S \cos i + J_D + \Delta J$. Здесь J_S и J_D – плотности потоков прямого и рассеянного солнечного излучения соответственно, ΔJ – плотность потока быстро меняющейся «шумовой» компоненты излучения, i – угол падения прямых солнечных лучей, который зависит лишь географических координат места и времени наблюдения. Определение величин J_S и J_D из показаний пиранометра J_M по методу наименьших квадратов дало возможность заключить, что для дней с малой облачностью $J_D \ll J_S$. Таким образом, можно полагать, что $J_D \approx 0$.

Алгоритм выделения дней малой облачности основан на аппроксимации величины плотности потока попадающего на датчик прямого солнечного излучения J_{SA} , с учетом изменений солнечной постоянной, относительной оптической массы атмосферы, поглощения и рассеяния света в атмосфере. Значения параметров аппроксимации находятся путем минимизации отклонений аппроксимирующей кривой J_{SA} от измеренных значений J_M по методу наименьших квадратов. Мерой облачности для каждого момента времени служит величина отклонения измеренного для этого момента значения J_M от аппроксимирующей кривой J_{SA} . В качестве периодов малой облачности выделяются интервалы времени, для которых $J_M \approx J_{SA}$.

Алгоритм апробирован на данных непрерывных измерений плотности потока солнечного излучения на Геофизической обсерватории «Борок» ИФЗ РАН в период 2011–2013 гг. Измерения проводились пиранометра «СМР-3». Программная реализация алгоритма используется в базе данных среднеширотной Геофизической обсерватории «Борок» для выделения дней, удовлетворяющих критериям «хорошей погоды».

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 12-07-00575-а) и Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН №7.

Сопоставление грозовой активности и вистлеров

*Н.В. Чернева¹, Д.В. Санников¹, И.В. Агранат¹, Г.И. Дружин¹, В.П. Сивоконь¹,
Г.М. Водинчар¹, J.Lichtenberger², R.Holzworth³*

¹ Институт космофизических исследований и распространения радиоволн

ДВО РАН, Паратунка, Камчатский край

² Eotvos University, Венгрия

³ University of Washington, США

Сеть для автоматического обнаружения и анализа вистлеров (The Automatic Whistler Detector and Analyzer Network) (AWDANet) в 2013 году была расширена дальневосточной станцией Карымшина, Камчатка, на базе комплексной геофизической обсерватории ИКИР ДВО РАН (широта: 52.83, долгота: 158.13, $L=2.13$). Полученные промежуточные результаты автоматического детектирования свистящих атмосфериков были сопоставлены с данными международной сети определения местоположения гроз (World Wide Lightning Location Network – WWLLN). С целью изучения антропогенного воздействия на ионосферу, и, как следствие, на изменение потока вистлеров был проанализирован промежуток времени работы HAARP за 2012 год, и проведено сопоставление связи потока вистлеров с увеличением грозовой активности в магнито-сопряженных точках (Камчатка, Россия и Канберра, Австралия). Амплитуды обнаруженных возмущений, сравнимы с амплитудами естественных процессов и не могут представлять серьезной опасности для функционирования различных технических систем. Но совершенствование технологий использования энергии природных процессов могут привести к более значительным уровням проявления возмущений в ионосфере, магнитосфере. Поэтому необходимы дальнейшие исследования и регулярные наблюдения в стратегически важных для России регионах.

Литература

1. *Lichtenberger J., Ferencz C., Bodnár L., Hamar D., Steinbach P.* (2008), Automatic whistler detector and analyzer system: Automatic whistler detector, *J. Geophys. Res.*, 113, A12201, doi:10.1029/2008JA013467.
2. *Lichtenberger J.* (2009), A new whistler inversion method, *J. Geophys. Res.*, 114, A07222, doi:10.1029/2008JA013799.
3. *Чернева Н.В., Агранат И.В.* Автоматическое детектирование свистящих атмосфериков и их сопоставление с грозовой активностью // Сборник трудов . Т.2. VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству, 24-28 сентября 2012 г. Санкт-Петербург. С.45-46.
4. *Cherneva N.V., Sivokon' V.P., Agranat I.V.* Spectral characteristics of whistlers // IX Int. Conference "Problems of Geocosmos", Proc. of the 9th Intern. Conf. "Problems of Geocosmos" (St. Petersburg, Russia, 8-12 October 2012). P.212-217.
5. http://nova.stanford.edu/vlf/research_topics/raytracing/raytracing.mp4.

Модернизация аппаратуры для наблюдений за атмосферным электрическим полем и токами на ГФО «Михнево»

С.П.Соловьев, В.А.Рыбаков, А.С.Полемаев

Институт динамики геосфер РАН, Москва

Комплекс аппаратуры, установленный на Геофизической обсерватории «Михнево» (ГФО «Михнево») ИДГ РАН [54,94N; 37,73E], предоставляет широкие возможности наблюдения взаимосвязанных геофизических процессов в условиях низкого уровня техногенных источников возмущений геофизических полей. В обсерватории проводятся сейсмологические наблюдения, осуществляется регистрация акустических, геомагнитных, геоэлектрических и электромагнитных полей, динамических параметров ионосферы, метеорологические параметры регистрируются цифровой метеостанцией. Полученные данные преобразовываются в цифровой вид и синхронизируются с помощью временных меток системы GPS, архивируются и сохраняются в виде базы данных. Интернет-доступ к базе данных обеспечивается через web-сайт ИДГ РАН.

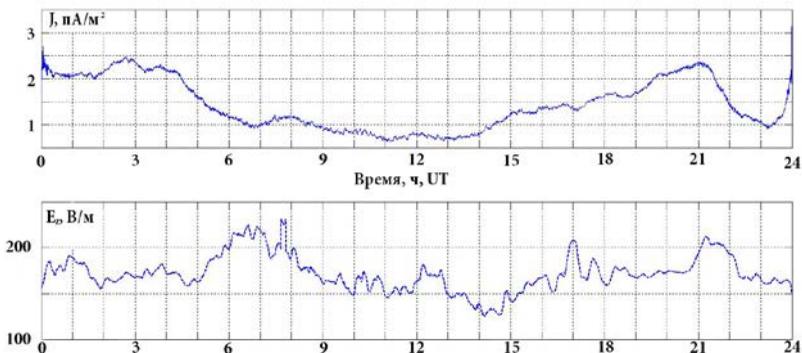
Стационарные наблюдения за электрическим полем в приземном слое атмосферы на ГФО «Михнево» были начаты в 2006 году. Регистрация вертикальной компоненты напряженности электрического поля проводилась с помощью электростатического флюксметра разработки ОКБ ИФЗ РАН (измеритель напряженности электрического поля – ИНЭП). Этот прибор в течение многих лет использовался во время экспедиционных работ в различных регионах и разнообразных климатических условиях. Конструкция прибора оказалась удачной и ИНЭП несколько раз выпускался мелкими сериями. Основным недостатком, выявленным за время непрерывной эксплуатации прибора на ГФО «Михнево», оказался ограниченный ресурс работы коллекторного двигателя постоянного тока. В 2009–2010 годах была проведена модернизация конструкции ИНЭПа – установлен бесколлекторный двигатель швейцарской компании Faulhaber, позволивший увеличить ресурс прибора и исключить щеточные контакты, вызывающие искрение в месте контакта с ротором двигателя. Электрическая схема ИНЭПа была полностью переработана, в ней использованы современные электронные компоненты, что, в целом, позволило увеличить динамический диапазон прибора. Модернизированный электростатический флюксметр пригоден для проведения измерений напряженности электрического поля в частотном диапазоне от 0 до 10 Гц с амплитудами от 1 В/м до 5000 В/м.

Для наблюдений за атмосферными электрическими токами был разработан компенсационный измеритель приземного атмосферного тока (КИПАТ), который включает две коллекторные пластины, имеющие одина-

ковую площадь поверхности, но разное поперечное сечение. Оба электрода должны находиться под одним потенциалом и иметь минимальный вертикальный размер, чтобы не вызвать возмущение окружающего поля. Плоская горизонтальная пластина представляет собой идеальный коллектор, если она расположена в плоскости параллельной эквипотенциалам поля. Для того чтобы обеспечить различие площади сечения электродов, имеющих одинаковую площадь поверхности, один из электродов выполнен плоским (ПЭ), а второй – гофрированным (ГЭ).

Размеры электродов КИПАТ выбраны таким образом, чтобы сделать датчик относительно небольшим и достаточно легким для транспортировки, но достаточным для измерения тока при удовлетворительном разрешении. В условиях измерительного комплекса ГЭ выполнен из 2 мм листа нержавеющей стали с прямоугольными гофрами высотой 4 см и шириной 4 см. ГЭ имеет ширину ~ 0,6 м и длину 1,0 м. ПЭ выполнен в виде квадрата со стороной 1,0 м. При этом, площадь поверхности ПЭ и ГЭ одинакова, а площади сечения относятся ~ 1,0:0,6.

Для тщательного исследования работы датчиков и всего измерительного тракта был создан лабораторный стенд, который представлял из себя плоский конденсатор размером 2×2 м и высотой 0,6 м. Внутрь этого конденсатора помещались плоский и гофрированный электроды. Использовалась измерительная аппаратура, которая затем была установлена в ГФО «Михнево». На пластины конденсатора подавалось либо постоянное напряжение, либо синусоидальное различной частоты, либо и то и другое вместе. Фактически можно было измерять отдельно как ток проводимости (при действии электрического поля напряженностью от нескольких В/м до 300 В/м), так и ток смещения. Такие измерения позволили получить поправочные коэффициенты для уравнений тока смещения и проводимости. Временное разрешение всего измерительного тракта оказалось равным 2–3 с. Ниже приведен пример суточной записи плотности электрического тока и поля 28.03.2013 на ГФО «Михнево».



Разнесенные наблюдения молниевых разрядов в широком диапазоне частот

Ю.В.Шлюгаев

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Современное состояние грозопеленгации в России, несмотря на продолжительную историю развития, трудно назвать удовлетворительным. Мировой опыт показывает, что даже в странах с несколькими конкурирующими грозопеленгационными сетями создаются и развиваются специализированные установки для решения специфических вопросов, связанных как с физикой молниевых разрядов, так и с характеристикой грозовой активности, как явления, имеющего климатические и геофизические аспекты. Такие работы требуют исследования радиоизлучения гроз в широком диапазоне временных и пространственных масштабов.

В докладе будут рассмотрены результаты наших исследований региональной грозовой активности, в частности пространственных характеристик прохождения гроз по территории региона с целью выработки уточненных критериев взаимосвязи электрических и метеорологических явлений.

Для наиболее интенсивных гроз исследованы пространственные распределения молниевых разрядов с помощью разработанного программного обеспечения многопунктового грозопеленгатора и использования промышленных грозопеленгаторов Boltek Stormtracker фирмы Boltek в дополнение к существующей системе СДВ приема и местоопределения, разработанной в ИПФ РАН. СДВ приемник является центральным элементом для использования метода грозовых часов, и позволяет зафиксировать радиоизлучение региональных гроз с высоким временным разрешением и на значительных промежутках времени (1 час). Полученная запись СДВ радиоизлучения в грозовых условиях позволяет в дальнейшем провести детальный анализ грозовых разрядов независимо от типа моделей разрядов, которые используются в готовых грозопеленгаторах.

Для исследования возможностей грозопеленгаторов Boltek были проведены эксперименты по использованию длинной искры в качестве контролируемого импульсного источника СДВ излучения. Для этого использовался Генератор импульсных напряжений (ГИН), расположенный на территории полигона Всероссийского электротехнического института ВЭИ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ N13-05-12103, программы РАН «Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследования».

Возможности мобильных геофизических технологий при поисках и разведке скоплений углеводородов

Н.А.Якимчук¹, С.П.Левашов¹, И.Н.Корчагин²

¹ Институт прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии, Киев, Украина,

² Институт геофизики НАНУ им. С.И.Субботина, Киев, Украина

Введение. Невысокая подтверждаемость вводимых в бурение объектов, а также низкая эффективность продуктивных скважин при разбуривании ловушек углеводородов (УВ), связывается исследователями с широким распространением малоразмерных залежей, сложным структурно-тектоническим строением объектов, нетрадиционными коллекторами в кристаллических породах. Это требует дополнительной оценки выдаваемых на бурение рекомендаций. Специалистами также акцентируется внимание на необходимость разработки новых геофизических технологий, обеспечивающих повышение детальности и достоверности обнаружения малоразмерных и слабоконтрастных залежей УВ на различных структурных этапах.

Применение мобильных технологий в процессе поисков нефти и газа, рудных полезных ископаемых и водоносных пластов позволяет существенно ускорить сам процесс поисков, а также повысить его эффективность. Особенности одной из таких технологий анализируются в докладе [1-4].

Компоненты технологии и аппаратура. Мобильная технология включает:

- специальный метод обработки и интерпретации данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [3];
- площадное картирование методом становления короткоимпульсного электромагнитного поля (СКИП) [2, 4];
- метод вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) [1-2, 4];
- компьютеризированные измерительные приборы для полевых наблюдений;
- программное обеспечение регистрации данных измерений, обработки и интерпретации;
- методику проведения полевых работ.

Неклассические методы СКИП и ВЭРЗ базируются на изучении локальных электрических особенностей приземного слоя атмосферы, в котором действует вертикальное электрическое поле глобальной электрической цепи. Экспериментальными исследованиями установлено, что геологические неоднородности разреза (в том числе и залежи углеводородов), формирующие локальные электронно-ионные потоки и их динамику, находят отражение в распределении зарядов в приземном слое атмосферы.

Решаемые задачи. Технология позволяет:

- провести предварительную оценку перспектив нефтегазоносности исследуемых участков с помощью специального метода обработки и интерпретации данных ДЗЗ;
- обнаружить и закартировать аномалии типа "залежь" (АТЗ), которые могут быть обусловлены скоплениями углеводородов (УВ);
- определить глубины залегания и мощности аномально поляризованных пластов (АПП) типа "нефть", "газ", "вода", и т.д.;
- оперативно проводить рекогносцировочное обследование крупных и труднодоступных нефтегазоносных территорий;
- выполнять детальные полевые работы в пределах отдельных аномальных зон с целью выбора мест для заложения скважин, предварительной оценки запасов УВ, принятия решений о дальнейших направлениях геолого-геофизических работ и бурения;
- находить и картировать в пределах шахтных полей зоны с повышенным содержанием свободного газа (метана);
- картировать соляные купола и соленосные отложения обнаруживать и проследивать надсолевые и подсолевые залежи УВ;
- картировать зоны разломов и скопления УВ в кристаллических породах;
- проводить поиски нефти и газа с борта судна в морских акваториях.

Апробация и эффективность. Мобильная технология прошла широкую апробацию на более чем 150 рудных объектах, месторождениях нефти и газа и перспективных на различные полезные ископаемые площадях в различных регионах мира. Это: Украина, Республика Казахстан, Россия, Беларусь, Туркменистан, Сирия, Колумбия, США, Болгария, Монголия, Турция, Словакия; Черное, Азовское, Баренцево, Каспийское, Печорское, Средиземное моря; Мексиканский залив; шельфы Камчатки, Вьетнама, Камбоджи, Индонезии, Венесуэлы, Тринидада и Тобаго, Антарктического полуострова, Фолклендских островов.

Литература

1. *Левашов С.П.* Электрорезонансное зондирование и его использование для решения задач экологии и инженерной геологии / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // Геологический журнал. - 2003. - № 4. - С. 24-28.
2. *Левашов С.П.* Экспресс-технология «прямых» поисков и разведки скоплений углеводородов геоэлектрическими методами: результаты практического применения в 2001-2005 гг. / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // Геоинформатика. - 2006. - № 1. - С. 31-43.
3. *Левашов С.П.* Новые возможности оперативной оценки перспектив нефтегазоносности разведочных площадей, труднодоступных и удаленных территорий, лицензионных блоков / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // Геоинформатика. - 2010. - № 3. - С. 22-43.
4. *Шуман В.Н.* Радиоволновые зондирующие системы: элементы теории, состояние и перспектива / В.Н. Шуман, С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // Геоинформатика. - 2008. - № 2. - С. 22-50.

АЭРОЭЛЕКТРИЧЕСТВО И ГЕОМАГНИТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ

Применение локальных аппроксимационных моделей для цифровой фильтрации наблюдений геомагнитных возмущений

В.Г.Гетманов, А.Д.Гвишиани, Р.В.Сидоров
Геофизический центр РАН, Москва

Применение локальных аппроксимационных моделей в задачах цифровой фильтрации наблюдений геомагнитного поля (ГМП) для секундной дискретизации и совместной обработки данных от векторных и скалярных магнитометров позволяет снизить погрешности оценок нестационарных геомагнитных возмущений в ULF-диапазоне (≈ 1.0 Гц – 0.001 Гц).

Предложен метод фильтрации на основе локальных аппроксимационных моделей, который реализуется для последовательностей дискретных наблюдений от магнитометров на локальных (малых) временных интервалах; находятся последовательности оценок координат векторов напряжённости ГМП, которые близки исходным функциям координат вектора напряжённости.

Для фильтрации используется математический аппарат локальных аппроксимационных параметрических моделей [1]. В случае секундной дискретизации эти модели могут представлять собой полиномиальные кусочно-постоянные, кусочно-линейные и т.д. функции. На локальных интервалах функциям координат векторов напряжённости ставятся в соответствие локальные аппроксимационные модели. Для наблюдений магнитометров и локальных моделей формируется локальные функционалы, определяющие взвешенные суммы значений квадратов разностей между наблюдениями и моделями. Оценки координат векторов напряжённости ГМП находятся на основе минимизации сформированных функционалов и нахождения оптимальных моделей.

Предложенный метод локальных аппроксимационных моделей для фильтрации 1- секундных наблюдений системы векторного и скалярного магнитометров оказался работоспособным. Как показало статистическое моделирование [2] метода, цифровая фильтрация наблюдений от магнитометров, снижает относительные погрешности в оценках геомагнитных ULF-возмущений на $\approx 50\%$.

Литература

1. *Гетманов В.Г.* Цифровая обработка нестационарных колебательных сигналов на основе локальных и сплайновых моделей. М.: Изд-во НИЯУ МИФИ. 2011. 298с.
2. *Гетманов В.Г.* Нелинейная фильтрация наблюдений системы векторного и скалярного магнитометров. /Измерительная техника. 2013. №6. С. 51-55.

Аппроксимационная сплайновая фильтрация наблюдений геомагнитного поля

В.Г.Гетманов, Р.В.Сидоров
Геофизический центр РАН, Москва

Фильтрация является важным этапом цифровой обработки наблюдений геомагнитного поля (ГМП) и может производиться традиционными методами, которые описаны во многих литературных источниках, например, в [1]. Однако, ряд задач цифровой обработки наблюдений ГМП в случае неравномерной дискретизации, ограниченных интервалов наблюдений и значительных нестационарностей реализуются с определёнными проблемами на основе традиционных фильтров.

Традиционные фильтры рассчитываются для равномерной дискретизации; нестационарности обуславливают динамические погрешности. Полиномиальная аппроксимационная фильтрация, иногда, не обеспечивает приемлемой эффективности: большие порядки полиномов приводят к вычислительным проблемам и, часто, обуславливают возникновение ложных экстремумов, не согласующихся с физикой исходных данных.

Цифровая фильтрация наблюдений ГМП с отмеченными особенностями может быть реализована на основе метода аппроксимационной сплайновой фильтрации [2], базирующегося на аппроксимационных сплайновых функциях (а.с.ф.). Для конечного временного ГМП-ряда, в общем случае с неравномерной дискретизацией, назначаются сплайновые узлы. Формируются а.с.ф. в виде суммы базисных сплайновых функций и сплайновых коэффициентов. Формируются условия равенства для нулевых и первых производных сплайновых функций, обеспечивающие гладкость а.с.ф. в узлах. Задаётся функционал, в виде суммы квадратов разностей между а.с.ф. и временным ГМП-рядом; функционал минимизируется с учётом условий равенств; вычисляются оптимальные сплайновые коэффициенты и соответствующая оптимальная а.с.ф.

Предлагаемая аппроксимационная сплайновая фильтрация была применена к наблюдениям ГМП с секундной дискретизацией. Полученные результаты продемонстрировали эффективность разработанного метода.

Литература

1. *Никитин А.А., Петров А.А.* Теоретические основы обработки геофизической информации. М.: РГТУ, 2008.- 112с.
2. *Гетманов В.Г.* Алгоритмы вычисления аппроксимационных сплайновых функций с учётом оптимизации расположения сплайновых узлов. Автотметрия. 2013. Т.49. №1. С.26-41.

Построение джерковых моделей на основе частично гладких сплайновых функций

В.Г.Гетманов, Р.В.Сидоров
Геофизический центр РАН, Москва

Джерком называется резкое изменение первой производной временного ряда среднегодовых значений вектора напряжённости геомагнитного поля (ГМП) [1]. Возможная необычность поведения ряда среднегодовых состоит в том, что на определённом временном интервале этот ряд может хорошо описываться модельной параболой, а затем, начиная с некоторого момента времени, имеет место резкое расхождение наблюдений и модели. Введение второй параболы устраняет это расхождение.

Для временного ряда среднегодовых рассматривается задача, заключающаяся в построении джерковой модели в виде частично гладкой сплайновой функции с изломами, которые соответствуют джеркам – разрывам первой производной, и оцениванию параметров джерковой модели -времени возникновения джерков и их значений.

Осуществляется обобщение традиционных сплайнов – построение частично гладких сплайновых функций на основе метода, базирующегося на аппроксимационных сплайнах [2]. Назначаются базисные сплайновые функции. Для временного ряда среднегодовых, в общем случае с неравномерной дискретизацией, определяются сплайновые узлы первого и второго рода. В узлах первого рода записываются условия равенства для нулевых и первых производных сплайновых функций, в узлах второго рода – условия равенства только для нулевых производных. Задаётся функционал в виде суммы квадратов разностей между значениями сплайновой модели в дискретных точках и временным рядом. Решается задача условной оптимизации функционала с учётом введённых условий – равенств первого и второго рода. Построение частично гладкой сплайновой джерковой модели и оценка параметров реализуются на основе оптимизационного поиска расположения узлов второго рода.

Предложенные модели с использованием частично гладких сплайнов были применены для цифровой обработки рядов среднегодовых значений векторов напряжённости ГМП. Полученные результаты подтвердили эффективность решения задачи построения джерковых моделей.

Литература

1. Кузнецов В.В. Физика Земли. Новосибирск.: ИГГ СО РАН. 2011. -840с.
2. Гетманов В.Г. Алгоритмы вычисления аппроксимационных сплайновых функций с учётом оптимизации расположения сплайновых узлов. Автометрия. 2013. Т.49. №1. С.26-41.

Воздействие на ионосферу сильных подводных землетрясений

М.Б.Гохберг, Е.В.Ольшанская, Г.М.Стеблов, С.Л.Шалимов
Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва

Рассмотрен ионосферный отклик на прохождение акустической волны (АВ) от ряда сильнейших (с магнитудой $M_w \geq 7.7$) подводных землетрясений, произошедших за последние несколько лет. Исследована зависимость амплитуды отклика в детренде общей электронной концентрации (ТЕС) от магнитуды и вертикальной компоненты поверхностной деформации. Показано, что геомагнитное поле может существенно влиять на форму ионосферного отклика в зависимости от того, куда распространяется возмущение – к экватору или к полюсу.

Исследование особенностей спектров УНЧ магнитного шума в периоды повышенной региональной грозовой активности

Е.Н.Ермакова¹, Д.С.Котик¹, А.В.Рябов¹, А.А.Панютин²

¹ Научно-исследовательский радиопизический институт, Нижний Новгород

² Нижегородский ЦГМС-Р, Нижний Новгород

В работе исследуются особенности спектров магнитного шума в диапазоне 0.1–15 Гц при наличии локальных грозовых очагов, расположенных в радиусе до 200–250 км от точки приемного пункта. Используются результаты обработки данных по регистрации тангенциальных компонент магнитного фонового шума $H_{\text{сЮ}}$ и $H_{\text{вз}}$ на среднеширотном пункте «Новая Жизнь» (NL), Нижегородская область, Россия. Известно, что в формирование спектров фонового шума от дальних грозовых очагов существенный вклад вносит влияние неоднородных ионосферных структур ИАР и суб-ИАР [1], расположенных непосредственно над точкой регистрации низкочастотных полей. Основной акцент сделан на изучение спектров поляризационного параметра ϵ магнитного шума, т.к. этот параметр наиболее адекватно описывает влияние структуры суб-ИАР на спектральные особенности УНЧ полей. В работе [2] на основе теоретических расчетов показано, что основные характеристики в спектре параметра ϵ не зависят от направления на источник и определяется параметрами локальной ионосферы. Влияние структуры суб-ИАР приводит к характерным вариациям в спектре ϵ . С уменьшением расстояния от приемного пункта до грозовых разрядов, являющихся источником низкочастотных полей, влияние ионосферы на спектры магнитных полей, уменьшается, т.к. сильно возрастает прямой (не отраженный от ионосферы) сигнал, приходящий в точку приема. Поэтому ближние грозы могут менять не только амплитудные спектры шума, но и поляризацию низкочастотного излучения. Изменения спектров поляризации, связанных с усилением локальных грозовых очагов, важно отделять в диагностических целях от изменений поляризации, связанных с вариациями ионосферных параметров. Одновременный анализ амплитудных и поляризационного спектров показали, что грозовые источники, удаленные на расстояния менее 50–60 км от приемного пункта могут изменять спектр поляризации, уменьшая степень эллиптичности УНЧ излучения. На Рис.1 (слева) приведены спектры поляризации для грозовых очагов, расположенных на расстоянии около 200 км. Использовалась оригинальная методика обработки УНЧ данных, позволяющая уменьшить импульсную составляющую магнитного шума выше некоторого порога (обрезание), и тем самым, исключить влияние локальной грозовой активности. Для определения положения локальных

очагов привлекались данные метеорологического радиолокационного комплекса МРЛ-5АКСОПРИ, расположенного в Нижнем Новгороде.

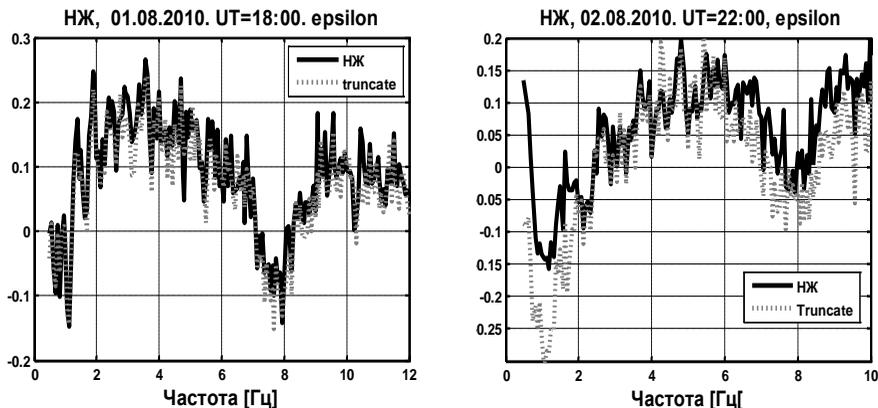


Рис. 1. Спектры поляризационного параметра для разных грозовых очагов.

Сплошная кривая на рисунке соответствует спектру параметра ϵ без обрезания. Наблюдается хорошее совпадение спектральных кривых на левой панели, что свидетельствует о том, что локальные грозовые очаги не меняют существенно спектр поляризации, а, следовательно, вносят вклад в формирование неоднородного спектра ϵ , характерного для влияния структуры суб-ИАР. Рис.1 (правая панель) – демонстрирует случай локальных грозовых очагов, которые возбуждают суб-ИАР, но с меньшей эффективностью, чем дальние грозы, т.к. спектр ϵ после процедуры обрезания обнаруживает более высокую степень эллиптичности УНЧ шума (большие значения абсолютной величины ϵ на частотах до 2 Гц). Таким образом, степень искажения и маскировки влияния структуры суб-ИАР определяется дальностью до пункта регистрации УНЧ шумовых полей.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №№ 13-02-97086 р_поволжье_a, 13-02-00723, 13-02-12074-офи_м, 13-05-12091-офи_м) и Министерства образования и науки РФ (грант 14.В37.21.0901).

Литература

1. *Ермакова Е.Н., Котик Д.С., Поляков С.В., Щенников А.В.* О механизме формирования широкополосного максимума в спектре фоновый шума на частотах 2-6 Гц. // Изв. вузов. Радиофизика. Т.50, №7. С.607-623. 2007.
2. *Ермакова Е.Н., Котик Д.С., Першин А.В., Рябов А.В. Бозингер Т., Чжоу К.* Исследование вариаций параметров широкополосного спектрального максимума в естественных шумовых полях КНЧ диапазона, // Изв. Вузов, Радиофизика, т.55, № 10-11, с. 671-682, 2012.

Единая концепция обнаружения признаков подготовки сильного землетрясения

К.А.Боярчук¹, А.В.Карелин², С.А.Пулинец³

¹ ОАО «НИИ электромеханики», Истра, Московская область

² ФГУП ЦНИИ машиностроения, Королев, Московская область

³ Институт космических исследований РАН, Москва

Если говорить о ключевых и регулярно обнаруживаемых предвестниках землетрясений, то к таким следует отнести вариации радона, тепловые аномалии в виде убегающего потока длинноволнового инфракрасного излучения, и ионосферные предвестники. Эти параметры обеспечивают «охват» практически всего диапазона активности предвестников на уровнях от поверхности земли до ионосферы и позволяют оценить наличие синхронизма в генерации предвестников, что чрезвычайно важно для их идентификации.

К сожалению, современное состояние доставки спутниковых данных еще далеко от возможностей их анализа в реальном масштабе времени. В то же время, краткосрочный прогноз требует немедленного развития ситуации, для чего необходима непрерывно поступающая информация, позволяющая определить момент начала финальной стадии подготовки землетрясения – прохождения системой точки невозврата. В соответствии с современной концепцией, финальная стадия подготовки землетрясения представляет собой переход системы от хаотического состояния к самоорганизации, целью которой является достижение критического состояния и переход системы в другое качество. Подобные процессы описываются в рамках нелинейной термодинамики и синергетики. При этом система должна обладать некими интегральными параметрами, которые имеют пороговое значение [1].

Одним из таких индикаторов являются дифференциальные вариации регионального содержания электронов относительно глобального содержания электронов. Впервые этот метод был опробован при анализе ионосферных вариаций в период подготовки разрушительного землетрясения в Японии 11 марта 2011. Источником данных служат глобальные карты полного электронного содержания, выпускаемые международной ионосферной группой IGS в табличном формате IONEX. Глобальное содержание электронов представляет собой среднее значение от суммы всех значений GPSTECза сутки. Затем рассчитывается региональное электронное содержание, представляющее собой также среднее от суммы всех суточных значений, но только над областью подготовки землетрясения. Обычно глобальное электронное содержание и региональное электронное содержание имеют достаточно высокий коэффициент корреляции. Но в случае появления аномальных вариаций, как это имеет место над областью подготовки землетрясения, наблюдаются довольно значительные отклонения, которые и

являются индикатором начала финальной стадии подготовки землетрясения.

Вторым интегральным индикатором может служить поправка химического потенциала. Химический потенциал представляет собой усредненную по объему энергию связи молекулы воды с ионом, к которому она присоединяется в процессе гидратации. При высокой концентрации паров воды увеличивается стабильности ионных кластеров, а соответственно увеличивается их время жизни и повышается концентрация тяжелых заряженных частиц с низкой подвижностью в пограничном слое атмосферы, что приводит к уменьшению ее электрической проводимости. Увеличение энергии связи можно выразить в виде поправки химического потенциала. Согласно [2] она может быть выражена в виде:

$$\Delta U \text{ (eV)} = 5.8 \times 10^{-10} (20 \cdot T_g + 5463)^2 \ln(100/H),$$

где T_g – температура воздуха (°C), а H – относительная влажность (%).

Как видно из приведенной формулы, поправка химического потенциала может быть легко получена путем использования доступных данных метеорологических измерений, что резко повышает оперативность оценки.

Процесс образования крупных кластерных ионов может быть обнаружен также оптическими средствами с помощью международной сети фотометров AERONET в случае, когда частицы достигают размеров аэрозолей. Как было показано в [3], именно такие частицы образуются перед сильными землетрясениями за несколько суток.

Комплексный анализ этих трех параметров был проведен для случая землетрясения M7.2 вблизи турецкого города Ван 23 октября 2011 г.

Следует отметить, что землетрясение имело место в отдаленном и незаселенном регионе Турции, где не имелось никаких средств наземного геофизического мониторинга, несмотря на довольно плотную сеть станций измерения вариаций радона в этой стране.

Литература

1. Боярчук К.А. Единая концепция обнаружения признаков готовящегося сильного землетрясения в рамках комплексной системы литосфера-атмосфера-ионосфера-магнитосфера/ Боярчук К.А., Карелин А.В., Пулинец С.А., Тертышников А.В., Узунов Д.П., Юдин И.А. // Космонавтика и ракетостроение. 2012. № 3(68). С. 21-31.
2. Боярчук К.А., Карелин А.В., Широков Р.В. Базовая модель кинетики ионизированной атмосферы. М.: НПП «ВНИИЭМ», 2006, 206 с.
3. Pulinet S. Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling (LAIC) model - an unified concept for earthquake precursors validation/ Pulinet S., Ouzounov D. // Journal of Asian Earth Sciences, 2011, 41, pp. 371-382.

Эффекты магнитосферных суббурь в вариациях атмосферного электрического поля в полярных широтах

Н.Г.Клейменова¹, О.В.Козырева¹, М.Кубицки², А.Оджимек²

¹ Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва

² Институт геофизики Польской Академии Наук, Варшава

Глобальная атмосферная электрическая цепь замыкается через высокоширотную ионосферу, поэтому большое влияние на состояние цепи и, следовательно, на вариации приземного атмосферного электрического поля (E_z) могут оказывать высокоширотные магнитосферные возмущения, приводящие к изменению проводимости ионосферы. Наиболее сильное влияние магнитосферных суббурь на вариации E_z отмечается в ночном секторе полярных и авроральных широт, что подтверждено многочисленными наблюдениями [например, 1-7].

Приводятся результаты исследования эффектов магнитосферных суббурь в вариациях вертикальной компоненты приземного электрического поля в полярной обл. Хорзунд (арх. Шпицберген) в условиях «хорошей погоды». Показано, что в утреннем секторе, когда данная обсерватория находилась в области положительного вихря полярной ионосферной конвекции, развитие суббури сопровождалось положительными отклонениями в E_z . В вечерние часы, когда обл. Хорунд находилась в области вечернего отрицательного конвективного вихря, суббури сопровождалась отрицательными отклонениями в E_z . Сделан вывод, что наблюдаемые эффекты являются результатом проникновения к земной поверхности горизонтальных электрических полей полярной ионосферной конвекции, усиливающейся во время суббури.

В дневные часы в магнитоспокойных или слабо возмущенных условиях, когда, как правило, геомагнитные возмущения на данном меридиане отсутствуют, в вариациях «остаточного» (ΔE_z) приземного электрического поля в обл. Хорзунд были обнаружены отрицательные аномалии, сопровождающиеся резким возрастанием значений АЕ индекса, за счет развития высокоширотных суббурь в ночной стороне магнитосферы, т.е. в антиподном полушарии.

Таким образом, наблюдаемые вариации в приземном атмосферном электрическом поле могут быть тонким индикатором изменений состояния глобальной электрической цепи, вызванных развитием магнитосферных суббурь.

Литература

1. Ансен А.Г., Канониди Х.Д., Чернышова С.П., Четаев Д.Н., Шефтель В.М. Магнитосферные эффекты в атмосферном электричестве. М.: Наука, 150 с. 1988.

2. Бандилет О.И., Канониди Х.Д., Чернышова С.П., Шефтель В.М. Эффекты магнитосферных суббурь в атмосферном электрическом поле // Геомагнетизм и Аэронавигация. 1986. Т. 26. № 1. С. 159-160.
3. Клейменова Н. Г., Козырева О. В., Михновски С., Кубицки М. Утренние полярные суббури и вариации атмосферного электрического поля // Геомагнетизм и аэронавигация. 2010. Т. 50. № 1. С. 51-60.
4. Клейменова Н.Г., Козырева О.В., Кубицки М., Оджимек А, Малышева Л.М. Влияние суббурь в ночном секторе Земли на вариации приземного атмосферного электрического поля в полярных и экваториальных широтах, Геомагнетизм и Аэронавигация, 2012. Т. 52, №4. С.494-500,
5. Belova E., Kirkwood S., Tammert H. The effect of magnetic substorms on near-ground atmospheric currents // Ann. Geophys. 2001. V. 18. P. 1623-1629.
6. Kleimenova N., Kozyreva O., Michnowski S., Kubicki M. Influence of geomagnetic disturbances on atmospheric electric field (E_z) variations at high and middle latitudes, J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2013. V.99. P.117-122.
7. Olson D.E. The evidence for auroral effects on atmospheric electricity // Pure Appl. Geophys. 1971. V. 84. P. 118-138.

Мониторинг сигналов шумановских резонансов в Антарктике в 11-ти летнем цикле солнечной активности

А.В.Колосков, В.Г.Безродный, О.В.Буданов, Ю.М.Ямпольский
Радиоастрономический институт НАН Украины, Харьков

С 2002 г. по инициативе Радиоастрономического института НАНУ на Украинской антарктической станции «Академик Вернадский» (УАС, 65°14'45" ю.ш., 64°15'27" з.д.) выполняются систематические наблюдения двух горизонтальных магнитных компонент УНЧ–СНЧ (0.001–80 Гц) полей. Удаленность станции от основных источников помех позволяет исследовать как поведение природного электромагнитного фона [1], так и излучение энергосистем Северной Америки [2]. В работе основное внимание уделено анализу многолетних данных наблюдений сигналов шумановского резонатора (ШР). Измеряемыми величинами являются резонансные частоты, интенсивности максимумов и поляризационные характеристики. В результате анализа были обнаружены долгосрочные тренды поведения пиковых частот и интенсивностей резонансных максимумов, хорошо коррелированные с 11-ти летним солнечным циклом. Активности мировых грозových центров для этого же интервала наблюдений оценивались независимо со спутника Lightning Imaging Sensor (LIS). Поскольку в этих данных значимые 11-ти летние вариации отсутствуют, предположено, что обнаруженные тренды интенсивности и частот ШР вызваны ионосферными изменениями, контролируемые солнечной активностью. В рамках модели ШР, разработанной авторами [3], установленные закономерности объяснены регулярными изменениями импеданса ионосферной границы резонатора.

Исследования выполнены совместно с Национальным антарктическим научным центром Украины при частичной финансовой поддержке НИР и НТР – 0111U000063, 0111U007683, 0113U002656 и 0113U004571.

Литература

1. *Колосков А.В.* Поляризационный мониторинг шумановских резонансов в Антарктике и восстановление характеристик мировой грозовой активности / А.В. Колосков, В.Г. Безродный, О.В. Буданов и др. // Радиофизика и радиоастрономия. 2005. -Т. 10, № 1, С. 11-29
2. *Колосков А.В.* Наблюдения излучения энергосистем Североамериканского континента в Антарктике / А.В. Колосков, Ю.М. Ямпольский // Радиофизика и радиоастрономия. 2009. -Т. 14, № 4, С. 367-376
3. *Bezrodny V.G.* Magnetic polarization of the Schumann resonances: An asymptotic theory / V.G. Bezrodny // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2007. V. 69, № 9, P. 995-1008.

Вариации спектров мощности электрического поля и метеорологических величин в приземной атмосфере на Камчатке во время солнечных событий в ноябре 2004 г.

С.Э.Смирнов¹, Г.А.Михайлова², О.В.Капустина²

¹ Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка, Камчатский край

² Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН, Троицк

В работе [1] исследованы эффекты солнечных вспышек и геомагнитных бурь 8 и 10 ноября 2004 г. во временных вариациях напряженности электрического поля в комплексе с другими геофизическими параметрами, одновременно наблюдаемыми в obs. «Паратунка» в период с 4 по 15 ноября. В частности, использованы данные хронологической последовательности солнечных событий в этот период, метеорологических величин (температуры, давления, влажности воздуха, скорости ветра), геомагнитных индексов, потоков космических и X-лучей. Вся совокупность этих данных позволила выделить явления с индивидуальными особенностями: 4–5 ноября – дни «хорошей погоды»; 6–7 ноября – дни с аномальным суточным ходом температуры и влажности; 8 ноября – период главной фазы первой геомагнитной бури с наложенными грозowymi процессами на суточные вариации напряженности электрического поля; 10 ноября – период второй геомагнитной бури и 11–12 ноября – период восстановления с наложенными грозowymi процессами.

Представляло интерес в эти выделенные периоды исследовать волновые процессы в приземной атмосфере путем оценки спектральной плотности мощности методом периодограмм (для краткости, спектров мощности) перечисленных выше параметров в широком диапазоне атмосферных волн: внутренних гравитационных волн (ВГВ, $T = 5$ мин – 3 ч), тепловых приливных волн (ТПВ, $T = 4 – 24$ ч) и волн планетарного масштаба (ВПМ, $T > 24$ ч). Детальный анализ спектров мощности рассмотренных параметров выполнен в работе [1]. Показано, что в спокойных геомагнитных условиях наибольшее влияние на электрическое поле в приземной атмосфере оказывают вариации относительной влажности атмосферы, усиливая компоненту с периодом $T \sim 24$ ч в его спектре. Геомагнитные бури сильно искажают спектр мощности электрического поля, подавляя интенсивность в полосе периодов ВГВ и ТПВ и усиливая почти на порядок по величине интенсивность компонент с периодом $T \sim 48$ ч по сравнению с условиями «хорошей погоды». Одновременно наблюдалось усиление этой компоненты в спектре мощности ГКЛ. Различие спектров мощности электрического поля и горизонтальной компоненты геомагнитного поля (и по составу, и по интенсив-

ности спектральных компонентов) как в условиях «хорошей погоды», так и во время геомагнитной бури 10 ноября позволяет делать вывод об отсутствии причинно-следственных связей между этими величинами. Последовательность сильных солнечных вспышек сопровождалась аномальным повышением температуры и влажности атмосферы, что привело к возникновению сильных грозových процессов во время геомагнитной бури 8 ноября и не позволило на этом фоне выделить эффекты, связанные с ГКЛ.

Литература

1. *Смирнов С.Э., Михайлова Г.А., Капустина О.В.* Вариации квазистатического электрического поля в приземной атмосфере на Камчатке во время геомагнитных бурь в ноябре 2004г. // Геомагнетизм и аэрономия. 2013. Т.53. №4. С. 502-514 .

Вариации электрических и метеорологических величин в приземной атмосфере на Камчатке во время солнечных событий в октябре 2003 г.

С.Э.Смирнов¹, Г.А.Михайлова², О.В.Капустина²

¹ Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
Паратунка, Камчатский край

² Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В.Пушкова РАН, Троицк

Реакцию электрических и метеорологических процессов в приземной атмосфере во время солнечных событий в октябре 2003 г. целесообразно рассматривать в комплексе с другими геофизическими процессами [1]. В этой связи в работе использован широкий набор различных геофизических и метеорологических величин: напряженность квазистатического электрического поля, электропроводность, температура, давление, влажность воздуха, скорость ветра, геомагнитные индексы, потоки космических и Х-лучей, наблюдаемых одновременно в обл. «Паратунка» в период с 21 по 31 октября 2003 г. Этот период наблюдений включал также мощную геомагнитную бурю. Дополнительно была привлечена информация о хронологической последовательности солнечных событий [2].

Выполнен детальный анализ суточных вариаций перечисленных выше параметров. Показано, что электропроводность и напряженность электрического поля проявляют сильную зависимость от температуры и влажности воздуха в условиях как «хорошей погоды», так и высоких солнечной и геомагнитной активностей. Обнаружено увеличение электропроводности в течение двух дней накануне геомагнитной бури 29–30 октября в результате действия СКЛ и уменьшение ее во время Форбуш-понижения ГКЛ (с соответствующим усилением напряженности электрического поля). Обнаружено аномальное повышение температуры и влажности воздуха в процессе развития солнечной активности, что привело к образованию облаков различных форм, включая кучеводождевые, сопровождаемые грозовыми процессами и ливнями (данные наблюдений местной метеорологической станции).

Совпадение по времени нарушений регулярных метеорологических процессов с последовательностью вспышек, сопровождаемых усилением излучения в полосе ближнего ультрафиолета, видимой и инфракрасной частей спектра, позволяет рассматривать их в качестве источника дополнительного притока энергии в нижнюю атмосферу. Выполненный комплексный анализ всей совокупности явлений в рассматриваемый период позволил четко разделить эффекты глобальных и локальных источников в глобальной электрической цепи.

Литература

1. *Смирнов С.Э., Михайлова Г.А., Капустина О.В.* Вариации электрических и метеорологических величин в приземной атмосфере на Камчатке во время солнечных событий в октябре 2003 г. // Геомагнетизм и аэрономия, в печати.
2. *Веселовский И. С. и др.* Солнечные и гелиофизические явления в октябре – ноябре 2003 г.: причины и следствия // Космич. исслед. 2004. Т.42. №5. С.453-508.

**Влияние солнечных и галактических космических лучей
на величину атмосферного электрического поля
на ст. Восток в Антарктиде**

А.В. Франк-Каменецкий¹, В.А. Ульев¹, А.А. Круглов¹, Д.Д. Рогов¹, А.Л. Котиков²

¹ Научно-исследовательский институт Арктики и Антарктики, Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН, Санкт-Петербург

Исследованы вариации атмосферного электрического поля на ст. Восток в Антарктиде в периоды солнечных протонных событий и Форбуш понижений интенсивности галактических космических лучей. Показано, что во время ППШ (поглощение в полярной шапке) происходит уменьшение величины атмосферного электрического поля, а в периоды понижения уровня галактических лучей увеличение. Наблюдаемые эффекты объясняются изменениями проводимости атмосферы во время рассматриваемых событий.

Электрические, магнитные, электромагнитные и плазменные эффекты Челябинского метеорита

Л.Ф.Черногор

Харьковский национальный университет им. В.Н.Каразина, Харьков, Украина

Механизмы возникновения электромагнитных (а также электрических и магнитных) эффектов при падении крупных (более 1 м) космических тел остаются малоизученными.

Цель доклада – анализ возможных механизмов электрических, магнитных, электромагнитных и плазменных эффектов в атмосфере и геокосмосе, вызванных полетом и взрывом Челябинского метеорита.

Электрические эффекты могли быть вызваны частичным разделением зарядов в плазменном следе (плюме) метеороида, убеганием электронов в системе плазма следа + воздух, генерацией электродвижущей силы (ЭДС) на фронте ударной волны и возникновением электрического тока во внешнем электрическом поле Земли. Все эти механизмы проявлялись одновременно. По оценкам, потенциал электрического поля на поверхности плазменной оболочки мог достигать ~ 40 МВ, напряженность электрического поля – 5 МВ/м, заряд – 0.3 Кл, а сила тока в плазменном следе – 0.1–1 МА. Пролет тела сопровождался слабыми электрическими разрядами с энергией 1–10 МДж, которые вызывали электрофонный эффект.

Магнитные эффекты могли быть обусловлены «запутыванием» магнитных силовых линий в турбулентном плазменном следе (значение индукции в следе $B \sim 10^{-2}$ Тл при времени турбулизации $t_t \sim 0.01$ –0.1 с, ЭДС ~ 1 кВ, сила тока $I \sim 1$ МА), протеканием тока в следе (плюме) метеороида (значение B под эпицентром ~ 0.1 –1 нТл) и модуляцией ионосферных токов акустико-гравитационными волнами, сгенерированными метеороидом ($B \sim 0.1$ –1 нТл). Механизмы генерации B за счет дипольного момента, создаваемого космическим телом, и за счет диамагнитного возмущения, вносимого ударной волной, оказались малоэффективными.

Электромагнитные эффекты могли быть связаны с резким изменением $B(t)$ в следе (при $B \sim 10^{-2}$ Тл имеем амплитуду электрического поля $E \sim 1$ кВ/м), протеканием электрического тока в плазменном следе (при $I \sim 0.1$ –1 МА мощность электромагнитного излучения в диапазоне частот 1–10 кГц достигала 1–100 ТВт). Излучение способно было вызвать пробой атмосферы на высотах 45–60 км, где поле пробоя $\sim 3 \cdot 10^3$ – $3 \cdot 10^2$ В/м соответственно, нагрев электронов и возмущение концентрации электронов на границе ионосферы, образование фокусирующей линзы для радиоизлучения в широком диапазоне частиц с горизонтальным размером ~ 100 –1000 км, а также генерацию альвеновского импульса и МГД волн. По оценкам, амплитуда альвеновского импульса составляла ~ 0.1 –1 мВ/м.

Электромагнитные волны наряду с ударной волной и акустико-гравитационными волнами вызвали значительные (или заметные) возмущения в атмосфере и геокосмосе на удалениях $\sim 100\text{--}1000$ км от траектории метеороида. Альвеновский импульс мог наблюдаться в магнито-сопряженной области.

Плазменные эффекты вызваны ионизацией следа метеороида движущимся с высокой (около 18 км/с) скоростью тела и ударной волной, сопровождающей его падение. Линейная и объемная концентрации электронов достигали $\sim 10^{26} \text{ м}^{-1}$ и 10^{22} м^{-3} соответственно. На всех высотах плазма, однако, оставалась слабоионизированной. Время релаксации t_N концентрации электронов N за счет прилипания к молекулам воздуха и рекомбинации с метеорными ионами составляло $\sim 10\text{--}100$ мс. Время релаксации температуры электронов $\sim 10\text{--}100$ нс. При $t \sim t_N$ проводимость плазмы σ от N почти не зависела и составляла $\sim 10^3 \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$. При $t > t_N$ значения σ быстро уменьшались пропорционально $N(t)$.

При помощи плазменного следа (плюма) осуществлялось взаимодействие нижележащих слоев атмосферы с вышележащими (ионосферой и отчасти с магнитосферой). Скорость подъема вещества в горячем следе достигала 2–6 км/с, время подъема – 10–20 с. Движение плазмы и заряженных частиц в геомагнитном поле порождало вторичные электромагнитные, МГД и плазменные эффекты (электрические токи, волны, неустойчивости и др.).

Результаты наблюдений. Ряд из эффектов наблюдался при помощи радиофизических и магнитометрических методов. Измерения выполнены в радиофизической и магнитометрической обсерваториях Харьковского национального университета имени В.Н.Каразина. Кроме того, привлекались данные сети ионозондов, магнетометров и радиоприемников сигналов спутников GPS. Ионосферные эффекты, в отличие от магнитных, были существенными. Их проявления регистрировались на расстояниях $\sim 2\text{--}3$ тыс. км. Экспериментально установлено, что падение метеороида сопровождалось генерацией акустических и гравитационных волн. Первые имели периоды около 2–10 мин, а вторые – 60–130 мин. Эти волны на расстояниях $\sim 2\text{--}3$ тыс. км приводили к регистрируемым изменениям концентрации электронов с относительной амплитудой порядка единиц процентов (для акустических волн) и десятков процентов (для гравитационных волн).

Наблюдения показали, что магнитный эффект Челябинского метеорита в диапазоне периодов 1–1000 с оказался незначительным (менее 1 нТл). Н-компонента главного магнитного поля изменялась на 1–2 нТл с периодом 30–60 мин, длительность возмущения – около 2ч, скорость распространения этого возмущения была близка к 300 м/с. Для сравнения укажем, что падение Тунгусского тела привело к возмущению геомагнитного поля на величину около 30 нТл длительностью 2–3 ч.

**ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ГЛОБАЛЬНОЙ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ, СТРУКТУРА ПОЛЯ
ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ**

Распространение ультра и сверх низкочастотных сигналов в волноводе Земля – Ионосфера

*О.И.Ахметов, И.В.Мингалев, О.В.Мингалев, Ю.В.Федоренко,
В.С.Мингалев, О.М.Лебедь*

Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Апатиты

Изучение распространения низкочастотных электромагнитных сигналов с частотами около 200 Гц и ниже от естественных и искусственных источников в волноводе Земля—ионосфера имеет большое прикладное значение. Такие сигналы нельзя рассматривать в рамках приближения геометрической оптики. Ввиду большой сложности задачи, любая достаточно реалистичная постановка не поддается анализу чисто аналитическими методами. Начиная с 1994 года за рубежом опубликовано большое число работ, в которых для исследования распространения электромагнитных сигналов в нижнем диапазоне частот используются различные численные модели, основанные на конечно-разностной аппроксимации уравнений Максвелла со 2-м порядком точности как по времени, так и по пространству (см., например, обзоры [1, 2] и статьи [3, 4]). Такой подход в англоязычной литературе принято называть *finite-differences time-domain method* и использовать сокращение *FDTD method*. Рассматривались как локальные модели для определенного отрезка в нижней части диапазона частот, так и глобальные *FDTD*-модели для очень низкочастотных сигналов.

Авторами разработана глобальная 3-мерная численная модель распространения ультра и сверх низкочастотных сигналов (ниже 100 Гц) с малой амплитудой в волноводе Земля–ионосфера, основанная на разностной аппроксимации уравнений Максвелла. По сравнению с зарубежными глобальными *FDTD*-моделями впервые учитывается реалистичная тензорная проводимость ионосферы, используются в разы меньшие шаги пространственной сетки, реалистичное граничное условие на границе атмосфера–литосфера, а также новая более эффективная методика численного решения уравнений Максвелла. Был выполнен набор расчетов распространения образовавшегося на экваторе атмосферика сигнала от сильного разряда молнии, а также сравнение результатов расчетов с имеющимися в ПГИ экспериментальными данными, которое обнаружило хорошее качественное и количественное соответствие между ними. В частности, получена наблюдаемая в эксперименте зависимость сигналов от времени в данной точке и затухание антиподного (обошедшего вокруг Земли) сигнала по сравнению с прямым сигналом, а также совпадающая с экспериментальными данными различная скорость распространения сигналов на дневной и на ночной стороне.

Кроме того, выполненные расчеты продемонстрировали принципиальное влияние тензорной проводимости нижней ионосферы, в особенности её холловской составляющей, на распространение сигналов, в том числе и в приземном слое.

Создание модели открывает принципиально новые возможности в диагностике состояния нижней высокоширотной ионосферы по данным наземных измерений на радиотрассе длиной 1300 км между Баренцбургом (на о. Шпицберген) и Ловозеро (на Кольском п-ве).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-01-000-63.

Литература

1. *Simpson J.J.* Current and future applications of 3-D global Earth-ionospheric models based on the full-vector Maxwell's equations FDTD method. // *Surveys Geophys.* 2009. Vol. 30. PP. 105–130. DOI 10.1007/s10712-009-9063-5.
2. *Simpson J.J., Taflove A.A.* review of progress in FDTD Maxwell's equations modeling of impulsive subionospheric propagation below 300 kHz. // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation.* 2007. Vol. 55. NO. 6 (June 2007). PP. 1582–1590. DOI 10.1109/TAP.2007.897138.
3. *Paul D.L., Raitlon C.J.* Spherical ADI FDTD method with application to propagation in the Earth ionosphere cavity. // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation.* 2012. Vol. 60. NO. 1 (January 2012). PP. 310–317. DOI 10.1109/TAP.2011.2167940.
4. *Yu Y., Simpson J.J.* An collocated 3-D FDTD model of electromagnetic wave propagation in magnetized cold plasma. // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation.* 2010. Vol. 58. NO. 2 (February 2010). PP. 469–478. DOI 10.1109/TAP.2009.2037706.

Наблюдения Ионосферного Альфвеновского Резонанса сетью пространственно-разнесенных магнитометров

*Н.А.Бару*¹, *А.В.Колосков*¹, *Ю.М.Ямпольский*¹, *Р.А.Рахматуллин*²

¹ Радиоастрономический институт НАН Украины, Харьков

² Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск

На поверхности Земли сигналы ионосферного Альфвеновского резонанса (ИАР) регистрируются в виде резонансной структуры спектра (РСС) естественного электромагнитного фона [1] в диапазоне частот от 0.1 до 30 Гц. Длительные систематические наблюдения этих структур с помощью идентичных установок выполнены авторами в Антарктике на Украинской Антарктической Станции (65° 15' ю.ш., 64° 16' з.д.), в Украине на обсерватории НЧО (49° 56' 0.5" с.ш., 36° 57' 10" в.д.) и в Сибири на Саянской солнечной обсерватория Монды (51° 37' с.ш., 100° 55' в.д.). Анализ суточных и сезонных зависимостей поведения параметров ИАР позволил установить ряд закономерностей. Вероятность регистрации РСС максимальна в конце осени – зимой и не зависит от к-индексов. В течение суток максимум вероятности появления резонансов приходится на локальную полночь, минимум – на полдень. Параметры ИАР сопоставлены с характеристиками ионосферы. Надежно установлена зависимость частотного разнеса максимумов ИАР от характеристик ионосферы, что позволило разработать алгоритм восстановления критической частоты [2]. Обнаружены «высокочастотные» (вплоть до частоты 30 Гц) моды резонатора. Как правило, такие спектральные структуры формируются в спокойных ионосферных и магнитных условиях. Впервые зарегистрировано «расщепление» резонансных максимумов ИАР на два «сателлита». Чаще всего этот эффект наблюдается для второй моды. Еще одной особенностью резонатора являются квазипериодические колебания собственных частот с периодом в несколько часов, по-видимому, связанные с прохождением над точками наблюдения перемещающихся ионосферных возмущений.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке в рамках НИР 0111U000063, 0113U004571 и 0113U000703.

Литература

1. *Поляков С.В.* Ионосферный альфвеновской резонатор / С.В. Поляков, В.О. Рапопорт // Геомагнетизм и аэрономия, 1981, Т. 21, № 5, С. 610–614
2. *Колосков А.В.* Определение критической частоты F-слоя ионосферы по данным наблюдений ионосферного альфвеновского резонанса / А.В. Колосков, Н.А. Бару // Украинский антарктический журнал, 2011/2012, № 10-11, С. 114-120

Исследования пространственной структуры геомагнитных пульсаций $Pi2$ с помощью методов дискретного математического анализа

Н.Р.Зелинский¹, Н.Г.Клейменова², А.Л.Котиков³

¹ Геофизический Центр РАН, Москва

² Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва

³ Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН, Санкт-Петербург

Известно, что геомагнитные пульсации $Pi2$ наблюдаются в ночном секторе и являются индикатором времени начала магнитосферной суббури (onset timing). Максимум амплитуд $Pi2$ пульсаций обычно отмечается в авроральных геомагнитных широтах ($\Phi \sim 64-66^\circ$), однако эти колебания могут наблюдаться одновременно в большой области широт и долгот. Анализ пространственно-временных особенностей $Pi2$ важен для изучения физического механизма генерации этого типа пульсаций и локализации их источника.

Приводятся результаты применения методов дискретного математического анализа (ДМА) для исследования пространственного распределения иррегулярных геомагнитных пульсаций типа $Pi2$ на примере двух выбранных событий: 04 декабря 2010 г. – во время особого типа геомагнитной суббури, наблюдающейся только в полярных областях на геомагнитных широтах $\Phi > 70^\circ$ («полярная суббурия»), и 14 апреля 2010 г. – во время суббури, дрейфующей из авроральных широт в полярные.

При анализе пульсаций сначала проводилась фильтрация исходных данных наблюдений с 10-ти секундным разрешением в полосе частот 8–25 мГц с использованием фильтра Баттерворда 6-го порядка. Затем вычислялась обобщенная дисперсия матрицы ковариации горизонтальных компонент поля пульсаций (вертикальная компонента поля не использовалась, поскольку она сильно зависит от геологического строения в области точки регистрации) в выбранном временном окне («сглаживание» в терминах ДМА). По вычисленным матрицам ковариации исследовалась временная динамика амплитудных и поляризационных характеристик всплесков $Pi2$ пульсаций на разных широтах.

Впервые проведен анализ одновременных геомагнитных наблюдений на геомагнитных широтах от полярных до экваториальных по данным наблюдений на скандинавском профиле IMAGE ($\Phi = 56-76^\circ$) с 10 с дискретизацией и экваториальных и среднеширотных обсерваториях INTERMAGNET с дискретизацией в 1 с. Полученные результаты сопоставлены с модельными расчетами пространственной динамики положения ионосферных токов (электроджетов) во время исследуемых суббурь.

Установлено, что в первом событии (во время полярной суббури) максимальные амплитуды $Pi2$ пульсаций наблюдались вблизи границы полярной шапки в области расположения центра авроральной электроструи. Во втором событии (дрейфующая суббури) амплитудный максимум $Pi2$ пульсаций со временем перемещался из авроральных широт в полярные одновременно с суббурей, т.е. динамика $Pi2$ контролировалась динамикой пространственного расположения ионосферного тока.

Показано, что всплески пульсаций $Pi2$ во время начала суббури (substorm onset) были глобальными и регистрировались синхронно в очень большом интервале широт, от полярных до экваториальных. При этом на экваторе отсутствовало типичное для пульсаций околополуденное усиление волн, и в ночном секторе приэкваториальных широт интенсивность $Pi2$ пульсаций была почти втрое выше, чем в дневном. Широтное перемещение электроструи во время дрейфующей суббури не сопровождалось глобальными пульсациями, и их усиление носило локальный характер. В субавроральных широтах вблизи проекции плазмопаузы интенсивность ночных $Pi2$ пульсаций в обоих событиях почти в 5 раз превышала их интенсивность в средних широтах (т.е. внутри плазмосферы).

В результате сопоставления характеристик $Pi2$ пульсаций в разных широтных областях сделан вывод, что механизмы генерации этих пульсаций в разных структурных областях магнитосферы могут быть различными.

О сезонной зависимости ИНЧ-ОНЧ-атмосфериков по измерениям в Арктике (Кольский п-ов)

М.И.Белоглазов, В.И.Кириллов, В.В.Пчелкин

Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Апатиты, Мурманская область

Исследованы суточные вариации интенсивности атмосфериков в ИНЧ-ОНЧ-диапазоне (на частотах 600 Гц и 6 кГц) в магнитных горизонтальных компонентах «север-юг» и «запад-восток» по данным obs. «Ловозеро» (Кольский п-ов) на протяжении с июня 2012г. по май 2013г. В разных геомагнитных условиях. При этом день считался спокойным, если планетарный Кр-индекс не превышал 2-х баллов в каждом из 8-ми трехчасовых интервалов за данные сутки. Если Кр-индекс был больше 4-х баллов хотя бы в одном из 8-ми трехчасовых интервалов за данные сутки, то они считались геомагнитно-возмущенными.

На основе проведенных измерений установлено, что при нулевом пороге отсечки амплитуды атмосфериков летом независимо от уровня геомагнитной возмущенности наблюдается широкий дневной максимум потока атмосфериков $N_{час}$, обусловленный, по всей вероятности, молниевой активностью в среднеширотных областях, гораздо более близких к пункту наблюдения по сравнению с мировыми грозовыми центрами. При этом переход от спокойных к возмущенным условиям приводит к существенному изменению суточных ходов $N_{час}$ в обеих компонентах и на обеих частотах во все сезоны, за исключением лета. Суточные вариации средних амплитуд атмосфериков $A_{час}$ существенно отличаются от суточных вариаций $N_{час}$ и в значительной степени отражают изменения условий освещенности на трассах распространения атмосфериков, особенно на частоте 6 кГц. При этом изменение геомагнитной возмущенности не приводит к таким радикальным изменениям суточных ходов $A_{час}$, как это наблюдается для $N_{час}$.

Кроме того, обнаружено, что средние величины потока атмосфериков в северо-южной компоненте больше в несколько раз по сравнению с западно-восточной независимо от сезона и уровня возмущенности. Существенно, что средняя амплитуда атмосфериков в северо-южной компоненте примерно в 2–3 раза меньше по сравнению с западно-восточной компонентой. Это говорит о том, что с направления «север-юг» в obs. «Ловозеро» поступает интенсивный поток атмосфериков малой амплитуды. Проведенное увеличение порога отсечки с нуля до 25 отн.ед (максимальный уровень регистрации равен 830 отн.ед.) показало, что эта мера существенно снижает обнаруженный контраст. Предполагается, что причина данного явления – наличие в северо-южном направлении нескольких крупных населенных пунктов на удалении более 90–100 км (Мурманск, Североморск, Апатиты и др.).

РсЗ пульсации, наблюдаемые на ночной стороне в ионосфере и на поверхности Земли

Н.В.Ягова¹, Н.С.Носикова^{1,2}, Б.Хэйлиг³, К.Юмото⁴

¹ Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва

² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

³ Обсерватория Тихань, Венгрия

⁴ Университет Кюсю, Япония

Проанализированы свойства ночных РсЗ пульсаций на Земле и в F-слое ионосферы по данным сетей наземных магнитометров ММ210, ММ100 и спутника CHAMP. Показано, что ночные РсЗ не являются продолжением обычной дневной активности в том же частотном диапазоне. Высокодобротные колебания в ночное время наблюдаются на широтах, где силовая линия полностью погружена в ионосферу. Вероятность появления низкоширотных ночных РсЗ максимальна в предутренние часы. Вариация частоты появления ночных РсЗ от дня к дню демонстрирует квази-27-дневный цикл и коррелирует с вариациями плотности тепловых ионов в F-слое.

ULF emissions in the upper ionosphere detected by the electric sensor of Chibis microsatellite

D.Dudkin¹, V.Pilipenko², V.Korepanov¹, S.Klimov²

¹ Lviv Centre of Institute for Space Research, Ukraine

² Space Research Institute, Moscow

In this paper we tried to answer: is it possible with the current ULF/ELF instruments onboard Chibis microsatellite to reveal in the upper ionosphere such electromagnetic structure as IAR (Ionospheric Alfvén Resonator)? Whereas observations of the IAR signatures with ground magnetometers at nightside are quite common, in-situ satellite observations of IAR are very rare. Several ULF events detected by the Chibis electric sensor show a possibility of triggered excitation of IAR. These observations show that in contrast to dominating view, IAR can be effectively excited on the dayside, too. The absence of the daytime IAR features on the ground is probably caused by the elevated absorption of ULF waves in the lower ionosphere during daytime hours.

Роллы внутренних гравитационных волн в атмосфере и ионосфере Земли

О.А.Похотелов, О.Г.Онищенко

Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва

Перенос энергии от земной литосферы к атмосфере и ионосфере Земли является фундаментальной проблемой геофизики и прикладных исследований. Внутренние гравитационные волны (ВГВ) играют важную роль в этом процессе. ВГВ, например, распространяющиеся наверх от земной поверхности к верхней атмосфере и ионосфере способны переносить заметное количество энергии и импульса. Эти волны играют важную роль в атмосферной конвекции, генерации атмосферной турбулентности и могут играть важную роль в глобальной циркуляции. ВГВ и связанные с ними нелинейные структуры довольно часто наблюдаются в верхних и нижних слоях атмосферы и в ионосфере. В данной работе рассматривается воздействие ветрового шира на нелинейные структуры типа роллов в земной атмосфере с вертикальным температурным градиентом. Выведена замкнутая система уравнений, описывающая нелинейную динамику ВГВ в присутствии температурного градиента и ветрового шира. Найдены их решения в форме роллов. Получены новые условия существования таких структур. Показано, что структуры в форме роллов могут существовать в динамически неустойчивой атмосфере.

Экспериментальные наблюдения высокоамплитудных аномалий в угловых распределениях естественных электромагнитных эмиссий КНЧ диапазона

В.В.Пчелкин

Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Апатиты

Предлагаемая вниманию работа выполнена на основе анализа результатов измерений шумовых электромагнитных импульсов КНЧ диапазона (6–11 Гц), проведённых в высокоширотной обсерватории «Ловозеро» в 2006–2009 гг. Измерения горизонтальной составляющей магнитной компоненты поля осуществлялись при помощи двухкомпонентного индукционного магнитометра, подробное описание которого содержится в [1]. Основными источниками электромагнитных эмиссий в этом диапазоне частот являются грозовые разряды, магнитосферные возмущения и различные технические устройства. Применяемая методика сортировки экспериментального материала [2] позволяла выделить дни, свободные от техногенных помех и магнитосферных возмущений, оставляя преимущественно шумы грозового происхождения.

Основной целью работы был анализ угловых распределений регистрируемых шумов при разных порогах дискриминации. Распределение шумов по амплитудам может быть описано формулой вида $P(X) = [1 + (X/X_{50})^k]^{-1}$, где X – регистрируемая амплитуда, а X_{50} – медиана распределения [3–5]. Так как для разных источников эмиссий функции распределения, обычно, существенно различаются, то изменение порога дискриминации позволяет обнаруживать, различать и изучать эти источники эмиссий.

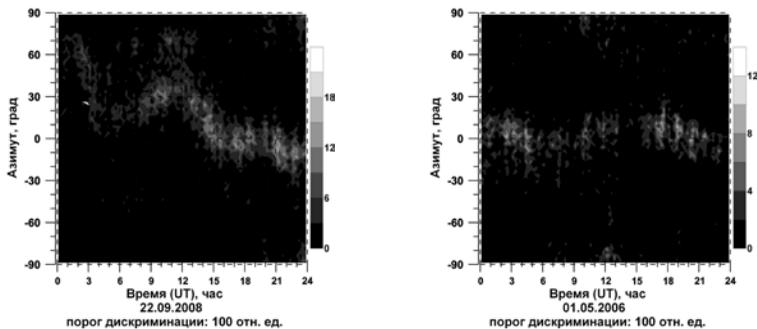


Рис. 1 Примеры обнаруженных аномальных угловых распределений

Основные результаты и выводы

1) В угловых распределениях высокоамплитудных (пороги дискриминации порядка 80–100 отн. единиц при среднем уровне шумов в 17 единиц)

шумовых сигналов изучаемого диапазона частот обнаружены аномальные квазинепрерывные треки характерной временной протяженности 3–12 часов и разбросом азимута в диапазоне от 10 до 40 градусов (см. рис.1).

2) Подобные аномалии наблюдаются в разные сезоны (в том числе и зимний сезон северного полушария). Однако большинство найденных на данный момент событий приходится на осень.

3) Возможными источниками высокоамплитудных шумовых сигналом могут быть электрические разряды из областей мезомасштабных конвективных комплексов или тропических циклонов. Однако требуется основательная проверка данных гипотез на основе сопоставлений с данными метеонаблюдений

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. *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.
3. *Лихтер Я.И.* Об аппроксимационной формуле закона распределения амплитуды огибающей атмосферных радиопомех. // Геомагнетизм и аэрономия. Том 1. №2. 1961, 281 с.
4. *Махоткин Л.Г.* Статистика атмосферных радиопомех. // Геомагнетизм и аэрономия. Том 3. №2. 1963, с. 284 – 292.
5. *Белоглазов М.И., Пчелкин В.В.* Особенности распределения уровней высокоширотного атмосферного шумового электромагнитного поля в окрестности первого шумановского резонанса. // Геомагнетизм и аэрономия, №5, с. 677-682, 2011.

Импульсное электромагнитное взаимодействие атмосферы и ионосферы/магнитосферы

В.А.Пилипенко, Е.Н.Федоров

Институт Космических Исследований РАН, Москва
Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва

Характерной особенностью природных процессов является то, что наиболее интенсивные возмущения концентрируются преимущественно на малых пространственных и временных масштабах. Мощным, но малоисследованным, каналом воздействия атмосферы на околоземное пространство являются грозовые электрические разряды. В обзоре рассмотрены различные аспекты такого воздействия. В результате грозовых разрядов происходит возбуждение и накопление волновой МГД энергии в альвеновском резонаторе и магнитозвуковом волноводе в верхней ионосфере. Численное моделирование УНЧ поля электрического разряда в система ионосфера-атмосфера-земля показывает, что молнии возбуждают связанную систему волноводных и резонаторных МГД мод, в результате чего на земной поверхности должна наблюдаться сложная интерференционная картина.

В настоящее время существуют уникальные возможности для комплексного исследования механизмов импульсной связи между атмосферой и магнитосферой с помощью начатых и планируемых космических экспериментов (Чибис, CHAMP, Firefly, SWARM, ASIM, Taranis, JEM-GLIMS, и др.) и наземных сетей регистрации электромагнитных излучений.

УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

И. В. Агранат	88	Н. Р. Зелинский	119
А. Х. Аджиев	56	С. Ю. Золотов	77
В. М. Алешков	35	А. А. Игнатъев	49
С. В. Анисимов	6, 20, 22, 23 26, 45, 82	Н. В. Ильин	10
К. В. Афиногенов	22, 82	И. И. Ипполитов	77
О. И. Ахметов	116	М. В. Кабанов	77
Н. А. Бару	118	С. Т. Казакова	48
В. Г. Безродный	106	А. В. Калинин	12, 17, 27
М. Н. Бейтуганов	48	К. Х. Канониди	64
М. И. Белоглазов	121	О. В. Капустина	107, 109
К. А. Боярчук	102	А. В. Карелин	102
О. В. Буданов	106	А. В. Карпов	25, 74
О. Н. Булыгина	58	В. И. Кириллов	121
Д. В. Бунтов	74	Н. Г. Клейменова	104, 119
Н. Е. Веремей	49	С. И. Климов	123
Г. М. Водинчар	88	В. И. Козлов	28
С. В. Галиченко	23	В. Н. Козлов	54
А. Д. Гвишиани	96	О. В. Козырева	104
В. Г. Гетманов	96, 97, 98	А. Б. Колесникова	25
В. П. Горбатенко	72	А. В. Колосков	106, 118
Г. И. Горчаков	25, 74	В. М. Копейкин	25, 74
М. Б. Гохберг	99	В. Е. Корепанов	123
Е. Е. Григорьев	27	И. Н. Корчагин	92
А. В. Гурьев	82	Н. А. Коршун	54
Р. А. Гятов	56	Д. С. Котик	100
Д. В. Давиденко	16	А. Л. Котиков	84, 111, 119
С. С. Давыденко	51	А. В. Кочин	30, 75
В. В. Денисенко	8	И. А. Краснова	52
Э. М. Дмитриев	26, 82, 87	А. А. Круглов	84, 111
В. А. Довгалоук	49	М. Кубицки	104
Г. И. Дружин	88	Д. В. Кудин	33
Д. Ф. Дудкин	123	Т. В. Кудринская	32
А. А. Евтушенко	10, 62	Н. Г. Кудрявцев	33
Е. Н. Ермакова	100	Г. В. Куповых	32, 43
Н. С. Ерохин	52	Г. А. Курбатов	74
Т. В. Ершова	72	Ф. А. Кутерин	10, 62, 85
А. А. Жидков	12, 17	О. Г. Ланская	77
М. А. Затевахин	49	О. М. Лебедь	116
		С. П. Левашов	92

А. С. Лидванский	64, 66, 68	Д. В. Санников	88
Д. Лихтенбергер	88	В. П. Сивоконь	88
Е. А. Мареев	10, 12, 13, 17	Р. В. Сидоров	96, 97, 98
Х. Х. Машуков	48, 56	Н. Н. Слюняев	12, 17
И. В. Мингалев	116	С. В. Смирнов	37, 77
О. В. Мингалев	116	С. Э. Смирнов	107, 109
В. С. Мингалев	116	А. В. Соколов	25, 74
Г. А. Михайлова	107, 109	С. П. Соловьев	89
Л. А. Михайловская	52	Г. М. Стеблов	99
С. И. Молодых	35	Ю. И. Стожков	18
В. Н. Морозов	15, 37, 43, 49	Л. Д. Тарабукина	28
И. И. Мохов	58	А. А. Торопов	28
В. А. Муллаяров	28	В. А. Ульянов	111
П. М. Нагорский	37, 77	Е. О. Учайкин	33
Н. С. Носикова	122	Ю. В. Федоренко	116
А. Оджимек	104	Е. М. Федоров	127
Е. В. Ольшанская	99	П. П. Фирстов	79
О. Г. Онищенко	124	А. В. Франк-Каменецкий	84, 111
И. Н. Панчишкина	39, 41	М. Н. Хаердинов	64, 66, 68
А. А. Панютин	100	Н. С. Хаердинов	64, 66, 68
А. И. Петров	39, 41	Р. Хольцворт	88
Г. Г. Петрова	39, 41	Б. Хэйлиг	122
В. А. Пилипенко	123, 127	Н. В. Чернева	79, 88
А. С. Полетаев	89	Л. Ф. Черногор	112
А. А. Потапов	70	А. В. Чернокульский	58
О. А. Похотелов	124	В. В. Чукин	80
А. А. Прохорчук	82, 87	М. В. Шаталина	10
С. А. Пулинец	16, 102	С. Л. Шалимов	99
К. Н. Пустовалов	37	У. А. Шермухамедов	80
Ю. А. Пхалагов	77	Н. М. Шихова	45
В. В. Пчелкин	121, 125	Ю. В. Шлюгаев	85, 91
Р. А. Рахматулин	118	К. Юмото	122
А. А. Редин	32, 43	Н. В. Ягова	122
Д. Д. Рогов	111	В. Н. Якимов	85
В. А. Рыбаков	89	Н. А. Якимчук	92
А. В. Рябов	100	Ю. М. Ямпольский	106, 118
А. А. Рязанов	37		

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ	3
ПРЕДИСЛОВИЕ	4
ГЛОБАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ —	
ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ	
<i>С.В.Анисимов</i> Глобальная электрическая цепь геосферных оболочек	6
<i>В.В.Денисенко</i> О проникновении атмосферного электрического поля в ионосферу	8
<i>Н.В.Ильин, А.А.Евтушенко, Ф.А.Кутерин, Е.А.Мареев, М.В.Шаталова</i> Глобальные электрические цепи планет земной группы	10
<i>А.В.Калинин, Е.А.Мареев, Н.Н.Слюняев, А.А.Жидков</i> Корректность постановок и алгоритмы решения стационарных и квазистационарных задач глобальной электрической цепи	12
<i>Е.А.Мареев</i> Современное состояние исследований глобальной электрической цепи	13
<i>В.Н.Морозов</i> Влияние молниевых разрядов грозовых облаков на глобальную электрическую цепь	15
<i>С.А.Пулинец, Д.В.Давиденко</i> Изменчивость ионосферы и глобальная электрическая цепь	16
<i>Н.Н.Слюняев, Е.А.Мареев, А.В.Калинин, А.А.Жидков</i> Оценка изменения ионосферного потенциала вследствие крупномасштабных возмущений проводимости в атмосфере	17
<i>Ю.И.Стожков</i> Роль космических лучей в атмосферном электричестве	18
ЭЛЕКТРИЧЕСТВО СВОБОДНОЙ НЕВОЗМУЩЕННОЙ НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЫ	
В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ	
<i>С.В.Анисимов</i> Электричество невозмущенной атмосферы средних широт по данным наземных наблюдений	20
<i>К.В.Афиногенов, С.В.Анисимов</i> Наблюдения вариаций электрической проводимости приземного слоя атмосферы	22
<i>С.В.Галиченко, С.В.Анисимов</i> Электрическое состояние конвективного пограничного слоя атмосферы: натурные наблюдения и численное моделирование	23
<i>Г.И.Горчаков, В.М.Копейкин, А.В.Карпов, А.Б.Колесникова, А.В.Соколов</i> Аэроэлектрические структуры в приповерхностном слое атмосферы на пустынных территориях	25
<i>Э.М.Дмитриев, С.В.Анисимов</i> Электрическое состояние приземного слоя атмосферы	26
<i>А.В.Калинин, Е.Е.Григорьев</i> Система уравнений теории электродного эффекта. Качественный анализ и аналитические соотношения	27
<i>В.И.Козлов, В.А.Муллаяров, Л.Д.Тарабукина, А.А.Торопов</i> Вариации электрического поля в Якутске в 2009-2012гг.	28
<i>А.В.Кочин</i> Исследование изменчивости напряженности электрического поля в зимний период	30
<i>Т.В.Кудринская, Г.В.Куповых, А.А.Редин</i> Результаты одновременных измерений электрического поля атмосферы в высокогорных и равнинных условиях	32

<i>Н.Г.Кудрявцев, Д.В.Кудин, Е.О.Учайкин</i> Об эффекте измерений атмосферного электрического поля похожем на унитарную суточную вариацию _____	33
<i>В.М.Алешков, С.И.Молодых</i> Сезонные изменения суточной вариации параметров атмосферного электричества на высокогорных станциях _____	35
<i>В.Н.Морозов, П.М.Нагорский, К.Н.Пустовалов, А.А.Рязанов, С.В.Смирнов</i> Воздействие зимней конвективной облачности на динамику электродного слоя _____	37
<i>И.Н.Панчишкина, Г.Г.Петрова, А.И.Петров</i> Сравнение методик определения условий «хорошей погоды» _____	39
<i>Г.Г.Петрова, А.И.Петров, И.Н.Панчишкина</i> Закономерности изменения электрической структуры приземного слоя атмосферы _____	41
<i>А.А.Редин, Г.В.Куповых, В.Н.Морозов</i> Оценка вклада электричества приземного слоя в формирование параметров ГЭЦ _____	43
<i>Н.М.Шихова, С.В.Анисимов</i> Нелинейные свойства турбулентных аэроэлектрических пульсаций _____	45

**ГРОВОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МОЛНИЕВЫЕ РАЗРЯДЫ —
ВКЛАД В ФОРМИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ**

<i>М.Н.Бейтуганов, Х.Х.Машуков, С.Т.Казакова</i> Инициирование искусственных молний противорадовыми ракетами с электропроводящей поверхностью _____	48
<i>Н.Е.Веремей, Ю.А.Довгалюк, М.А.Затевахин, А.А.Игнатъев, В.Н.Морозов</i> Исследование эволюции электрической структуры конвективного облака по данным численной нестационарной трехмерной модели _____	49
<i>С.С.Давыденко</i> Глобальные и региональные аспекты электрического отклика атмосферы на молниевый разряд _____	51
<i>Н.С.Ерохин, В.И.Краснова, Л.А.Михайловская</i> Структурные характеристики электрической турбулентности в грозовой облачности _____	52
<i>В.Н.Козлов, Н.А.Кориун</i> Использование заряженного водного аэрозоля для активных воздействий на облака _____	54
<i>А.Х.Аджиев, Р.А.Гятов, Х.Х.Машуков</i> Влияние грозových явлений на формирование локального электрического поля атмосферы _____	56
<i>А.В.Чернокульский, О.Н.Булыгина, И.И.Мохов</i> Оценка изменений грозовой активности на территории России по данным наземных наблюдений _____	58

**ЭЛЕКТРИЧЕСТВО СРЕДНЕЙ И ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ;
ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ В АТМОСФЕРЕ**

<i>А.А.Евтушенко, Ф.А.Кутерин</i> О влиянии спрайта/гало на химический состав мезосферы _____	62
<i>К.Х.Канониди, А.С.Лидванский, М.Н.Хаердинов, Н.С.Хаердинов</i> Корреляция вторичных частиц космических лучей с вариациями геомагнитного поля во время гроз _____	64
<i>А.С.Лидванский, М.Н.Хаердинов, Н.С.Хаердинов</i> Комплексное исследование медленно текущего пробоя стратосферы в Баксанской нейтринной обсерватории _____	66
<i>А.С.Лидванский, М.Н.Хаердинов, Н.С.Хаердинов</i> Средние характеристики приземного электрического поля во время гроз по исследованию вариаций вторичных частиц космических лучей _____	68

А.А.Потапов Фрактально-скейлинговый метод обработки данных о глобальной электрической цепи: эльфы, джеты, спрайты _____ 70

ГЛОБАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ, МЕТЕОРОЛОГИЯ И КЛИМАТ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Т.В.Ершова, В.П.Горбатенко Термодинамическое состояние атмосферы при грозах, ливнях, граде и смерче _____ 72

Г.И.Горчаков, В.М.Копейкин, А.В.Карпов, Д.В.Бунтов, Г.А.Курбатов, А.В.Соколов Экспериментальное определение удельного заряда сальтирующих песчинок на опустыненных территориях _____ 74

А.В.Кочин Исследование взаимосвязи спектральных характеристик флуктуаций атмосферного давления и электрического поля _____ 75

П.М.Нагорский, С.Ю.Золотов, И.И.Инполитов, М.В.Кабанов, О.Г.Ланская, Ю.А.Пхалагов, С.В.Смирнов Суточные вариации напряженности электрического поля приземной атмосферы в дымах от летних лесных пожаров _____ 77

Н.В.Чернева, П.П.Фирстов Электрические параметры нижней атмосферы под воздействием метеорологических факторов _____ 79

В.В.Чукин, У.А.Шермухамедов Влияние характеристик аэрозолей на проводимость воздуха _____ 80

МОНИТОРИНГ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ — НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И БАЗЫ ДАННЫХ

С.В.Анисимов, К.В.Афиногенов, А.В.Гурьев, Э.М.Дмитриев, А.А.Прохорчук База данных Геофизической обсерватории «Борок» для аэроэлектрических исследований _____ 82

А.А.Круглов, А.В.Франк-Каменецкий, А.Л.Котиков База данных измерений приземных атмосферных электрических полей в центральной Антарктиде, веб представление _____ 84

Ф.А.Кутерин, Ю.В.Шлюгаев, В.Н.Якимов Применение многопунктовой грозопеленгации для мониторинга грозоопасности _____ 85

А.А.Прохорчук, Э.М.Дмитриев Алгоритм определения дней малой облачности по показанием пиранометра _____ 87

Н.В.Чернева, Д.В.Санников, И.В.Агранат, Г.И.Дружин, В.П.Сивоконь, Г.М.Водичар, J.Lichtenberger, R.Holzworth Сопоставление грозовой активности и вистлеров _____ 88

С.П.Соловьев, В.А.Рыбаков, А.С.Полетаев Модернизация аппаратуры для наблюдений за атмосферным электрическим полем и токами на ГФО «Михнево» _____ 89

Ю.В.Шлюгаев Разнесенные наблюдения молниевых разрядов в широком диапазоне частот _____ 91

Н.А.Якимчук, С.П.Левашов, И.Н.Корчагин Возможности мобильных геофизических технологий при поисках и разведке скоплений углеводородов _____ 92

АЭРОЭЛЕКТРИЧЕСТВО И ГЕОМАГНИТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ

В.Г.Гетманов, А.Д.Гвишиани, Р.В.Сидоров Применение локальных аппроксимационных моделей для цифровой фильтрации наблюдений геомагнитных возмущений _____ 96

В.Г.Гетманов, Р.В.Сидоров Аппроксимационная сплайновая фильтрация наблюдений геомагнитного поля _____ 97

<u>В.Г.Гетманов, Р.В.Сидоров</u> Построение джерковых моделей на основе частично гладких сплайновых функций _____	98
<u>М.Б.Гохберг, Е.В.Ольшанская, Г.М.Стеблов, С.Л.Шалимов</u> Воздействие на ионосферу сильных подводных землетрясений _____	99
<u>Е.Н.Ермакова, Д.С.Котик, А.В.Рябов, А.А.Панютин</u> Исследование особенностей спектров УНЧ магнитного шума в периоды повышенной региональной грозовой активности _____	100
<u>К.А.Боярчук, А.В.Карелин, С.А.Пулинец</u> Единая концепция обнаружения признаков подготовки сильного землетрясения _____	102
<u>Н.Г.Клейменова, О.В.Козырева, М.Кубицки, А.Оджимек</u> Эффекты магнитосферных суббурь в вариациях атмосферного электрического поля в полярных широтах _____	104
<u>А.В.Колосков, В.Г.Безродный, О.В.Буданов, Ю.М.Ямпольский</u> Мониторинг сигналов шумановских резонансов в Антарктике в 11-ти летнем цикле солнечной активности _____	106
<u>С.Э.Смирнов, Г.А.Михайлова, О.В.Капустина</u> Вариации спектров мощности электрического поля и метеорологических величин в приземной атмосфере на Камчатке во время солнечных событий в ноябре 2004 г. _____	107
<u>С.Э.Смирнов, Г.А.Михайлова, О.В.Капустина</u> Вариации электрических и метеорологических величин в приземной атмосфере на Камчатке во время солнечных событий в октябре 2003 г. _____	109
<u>А.В.Франк-Каменецкий, В.А.Ульев, А.А.Круглов, Д.Д.Рогов, А.Л.Котиков</u> Влияние солнечных и галактических космических лучей на величину атмосферного электрического поля на ст. Восток в Антарктиде _____	111
<u>Л.Ф.Черногор</u> Электрические, магнитные, электромагнитные и плазменные эффекты Челябинского метеорита _____	112

ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ,

СТРУКТУРА ПОЛЯ ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ

<u>О.И.Ахметов, И.В.Мингалев, О.В.Мингалев, Ю.В.Федоренко, В.С.Мингалев, О.М.Лебедь</u> Распространение ультра и сверх низкочастотных сигналов в волноводе Земля – Ионосфера _____	116
<u>Н.А.Бару, А.В.Колосков, Ю.М.Ямпольский, Р.А.Рахматуллин</u> Наблюдения Ионосферного Альфвеновского Резонанса сетью пространственно-разнесенных магнитометров _____	118
<u>Н.Р.Зелинский, Н.Г.Клейменова, А.Л.Котиков</u> Исследования пространственной структуры геомагнитных пульсаций P _{i2} с помощью методов дискретного математического анализа _____	119
<u>М.И.Белоглазов, В.И.Кириллов, В.В.Пчелкин</u> О сезонной зависимости ИНЧ-ОНЧ-атмосфериков по измерениям в Арктике (Кольский п-ов) _____	121
<u>Н.В.Ягова, Н.С.Носикова, Б.Хэйлиг, К.Юмото</u> P _{s3} пульсации, наблюдаемые на ночной стороне в ионосфере и на поверхности Земли _____	122
<u>D.Dudkin, V.Pilipenko, V.Korepanov, S.Klimov</u> ULF emissions in the upper ionosphere detected by the electric sensor of Chibis microsatellite _____	123
<u>О.А.Похотелов, О.Г.Онищенко</u> Роллы внутренних гравитационных волн в атмосфере и ионосфере Земли _____	124

<i>В.В.Пчелкин</i> Экспериментальные наблюдения высокоамплитудных аномалий в угловых распределениях естественных электромагнитных эмиссий КНЧ диапазона _____	125
<i>В.А.Пилипенко, Е.Н.Федоров</i> Импульсное электромагнитное взаимодействие атмосферы и ионосферы/магнитосферы _____	127
УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ _____	129

Научное издание

ГЛОБАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ

*Материалы
всероссийской конференции*

Редактор, корректор
Э.М. Дмитриев

Оригинал-макет подготовлен в ГО «Борок» ИФЗ РАН
152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, д. 142.

Отпечатано в типографии ООО «Филигрань».
150049 г. Ярославль, ул. Свободы, д. 91.
Тел. (4852) 982705,
pechataet@bk.ru