Российская академия наук

Геофизическая обсерватория «Борок» – филиал Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН

Глобальная Электрическая цепь

МАТЕРИАЛЫ ВТОРОЙ ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

Борок 5 – 9 октября 2015 г.

Ярославль

2015

УДК 621.3.01(063) ББК 31.211я431 Г54

Глобальная электрическая цепь. Материалы Второй Всероссийской конференции / Геофизическая обсерватория «Борок» – филиал Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН – Ярославль : Филигрань, 2015. – 140 с.

ISBN 978-5-906682-39-0

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

В сборнике материалов второй 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 РФФИ, ФАНО, ИФЗ РАН, ГО «Борок» ИФЗ РАН.

ISBN 978-5-906682-39-0

© ГО «Борок» ИФЗ РАН макет, оформление, верстка, 2015 © Коллектив авторов, текст

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

- 1. Анисимов С. В. д.ф.-м.н., ГО «Борок» ИФЗ РАН, Борок (председатель);
- Гвишиани А. Д. академик РАН, д.ф.-м.н., Геофизический центр РАН, Москва;
- 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. Еланский Н. Ф. член-корреспондент РАН, д.ф.-м. н., Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва;
- 6. Катцов В. М. д.ф.-м.н., Главная геофизическая обсерватория им.А.И.Воейкова, Санкт-Петербург;
- 7. Лапшин В. Б. д.ф.-м.н., Институт прикладной геофизики, Москва;
- Мареев Е. А. член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., Институт прикладной физики РАН, Н.Новгород;
- Морозов В. Н. д.ф.-м.н., Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, Санкт-Петербург;
- 10. Мохов И. И. член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва;
- 11. Пилипенко В. А. д.ф.-м.н., Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва;
- 12. Потехин А. П. член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., Институт солнечноземной физики СО РАН, Иркутск;
- Похотелов О. А. д.ф.-м. н., Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва;
- 14. Соловьев С. П. д.ф.-м.н., Институт динамики геосфер РАН, Москва;
- 15. Тихоцкий С. А. д.ф.-м. н., Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва;
- 16. Шалимов С. Л. д.ф.-м.н., Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва;
- Шлюгаев Ю. В. к.ф.-м.н., Институт прикладной физики РАН, Н.Новгород;
- 18. 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 РФФИ, ФАНО, ИФЗ РАН, ГО «Борок» ИФЗ РАН

Предисловие

Вторая Всероссийская конференция «Глобальная электрическая цепь» (ГЭЦ'2015) организована Геофизической обсерваторией «Борок» – филиалом Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ГО «Борок» ИФЗ РАН) и пройдет с 5 по 9 октября 2015 г. в пос. Борок Ярославской области.

ГЭЦ'2015 планируется как закономерное продолжение первой Всероссийской конференции «Глобальная электрическая цепь» (ГЭЦ'2013), прошедшей 28 октября - 01 ноября 2013 г. в пос. Борок. В ГЭЦ'2013 приняли участие специалисты из ведущих геофизических центров России: ААНИИ Росгидромета (Санкт-Петербург), ВГИ Росгидромета (Нальчик), ГАГУ (Горно-Алтайск), ГГО Росгидромета (Санкт-Петербург), ГО «Борок» ИФЗ РАН (Борок), ГЦ РАН (Москва), ИВМ СО РАН (Красноярск), ИДГ РАН (Москва), ИЗМИРАН (Троицк), ИКИР ДВО РАН (Паратунка), ИМКЭС СО РАН (Томск), ИПФ РАН (Нижний Новгород), ИФА РАН (Москва), ИФЗ РАН (Москва), ИЯИ РАН (Москва), ННГУ (Нижний Новгород), ПГИ КНЦ РАН (Апатиты), ЦАО Росгидромета (Долгопрудный), ЦНИИМаш (Москва), ЮФУ (Таганрог, Ростов-на-Дону) и др., а также из ИГН НАН Украины (Киев) и РАИ НАН Украины (Харьков). Соавторами нескольких представленных на ГЭЦ'2013 работ являлись ученые из Венгрии, Польши, США, Украины, Японии. В ходе дискуссий был отмечен высокий научный уровень представленных докладов, затронуты актуальные фундаментальные вопросы атмосферного электричества, математического моделирования глобальной электрической цепи, интерпретации данных натурных аэроэлектрических наблюдений и геоинформатики. ГЭЦ'2013 стала заметным событием в жизни геофизического сообщества.

Основная задача конференции ГЭЦ'2015 состоит в представлении и обсуждении важнейших результатов теоретических и экспериментальных исследований геофизических процессов формирования глобальной электрической цепи. В конференции примут участие ученые, работающие в области физики атмосферы, атмосферного электричества, геомагнетизма, магнитосферноионосферной физики, геоэлектродинамики, глобальной электрической цепи и смежных областях теоретической и наблюдательной геофизики. Конференция послужит развитию творческих научных связей российских ученых с целью решения актуальных проблем геоэлектромагнитного окружения.

Конференция организована при финансовой поддержке РФФИ, ФАНО, ИФЗ РАН, ГО «Борок» ИФЗ РАН.

Председатель программного комитета, директор ГО «Борок» ИФЗ РАН, доктор физ.-мат. наук С. В. Анисимов

ГЛОБАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ — ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Разделение зарегистрированного на дневной поверхности электромагнитного поля по положению источников

П. Н. Александров

Центр геомагнитных исследований – филиал ИФЗ РАН, Троицк

В обработке данных магнитотеллурического зондирования (МТЗ) для изучения источников эндогенного происхождения основной является задача разделения поля по положению источников, при этом существенную роль играют ионосферные токи, создающие магнитотеллурическое поле.

В случае горизонтально слоистой геологической среды уравнения Максвелла для тангенциальных компонент электрического и магнитного полей заданной частоты с использованием преобразования Фурье по горизонтальным координатам приводятся к системе обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка по вертикальной координате. При этом связь тангенциальных компонент электрического поля E_0 и магнитного поля H_0 на дневной поверхности может быть представлена в виде

$$\mathbf{E}_0 = Z \, \mathbf{H}_0 + \mathbf{Y},\tag{1}$$

где Z — импеданс полупространства ниже земной поверхности, который может быть выражен через электромагнитные параметры среды [1–2], а **Y** выражается через характеристики эндогенных источников.

Таким образом, получена линейная связь между тангенциальными компонентами электромагнитного поля, зарегистрированными на границе нижнего слоистого полупространства с распределенными в нем источниками электромагнитного поля, вне зависимости от электромагнитных свойств верхнего полупространства и источников, расположенных там же. Выражение (1) противоречит теории Тихонова-Каньяра, в том смысле, что магнитотеллурический импеданс Z_0 зависит только от параметров верхнего полупространства в случае наличия источников в нижнем полупространстве. Рассмотрим этот парадокс более подробно. Для этого предположим, что верхнее полупространство также является горизонтально слоистым. Тогда E_0 и H_0 будут связаны аналогичными (1) соотношениями

$$\mathbf{E}_{\mathbf{0}} = Z^{\nu} \mathbf{H}_{\mathbf{0}} + \mathbf{Y}^{\nu}, \tag{2}$$

где Z^{ν} — импеданс полупространства над земной поверхностью, а \mathbf{Y}^{ν} выражается через характеристики источников над земной поверхностью.

Из системы уравнений (1–2) при заданных значениях Z, Z', Y и Y' могут быть найдены значения E_0 и H_0 , являющиеся решением прямой задачи геоэлектрики.

В практике МТЗ рассматривают линейную связь между компонентами E_0 и H_0 , выраженную через кажущийся импеданс Z_0 в виде

$$\mathbf{E}_{\mathbf{0}} = Z_0 \, \mathbf{H}_{\mathbf{0}}.\tag{3}$$

Из соотношений (1–3) следует, что в случае отсутствия источников в нижнем полупространстве ($\mathbf{Y} = \mathbf{0}$), кажущийся импеданс будет равен импедансу нижнего полупространства ($Z_0 = Z$). Аналогично, если источники отсутствуют в верхнем полупространстве ($\mathbf{Y}^{\nu} = \mathbf{0}$), то кажущийся импеданс будет равен импедансу верхнего полупространства ($Z_0 = Z^{\nu}$).

Для построения системы обработки данных МТЗ с целью изучения геодинамической активности геологической среды на основе соотношения (1) необходимо знать импеданс нижнего полупространства Z, который можно найти в период геодинамического затишья. Обратной задачей пассивного электромагнитного мониторинга современных геодинамических процессов является определение по известному импедансу нижнего полупространства Z электромагнитного поля источников в нижнем полупространстве:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{E}_0 - Z \,\mathbf{H}_0. \tag{4}$$

Уравнение (4) имеет место при любых источниках, находящихся в верхнем полупространстве (не обязательно слоистом) и его параметрах. Далее ставится задача определения по вычисленному на дневной поверхности значению **Y** местоположения области разрушения горной породы и количественной оценки интенсивности этих процессов.

Аналогично для изучения источников в верхнем полупространстве необходимо знать импеданс верхнего полупространства Z^v. При этом

$$\mathbf{Y}^{\nu} = \mathbf{E}_{\mathbf{0}} - Z^{\nu} \mathbf{H}_{\mathbf{0}}.$$
 (5)

Таким образом, уравнения (4–5) позволяют решить задачу о разделении электромагнитного поля, зарегистрированного на дневной поверхности, по положению источников.

Из вышеизложенного следует простой алгоритм обработки данных МТЗ: по известному импедансу нижнего полупространства нужно найти разность зарегистрированных на дневной поверхности тангенциальных компонент электромагнитного поля согласно уравнению (4).

- 1. Александров П.Н. Эффективные электромагнитные параметры капиллярной системы электропроводности горной породы // Физика Земли. 2000. № 2, С. 87–94.
- 2. Александров П.Н. Прямая задача геоэлектрики в одномерных бианизотропных средах // Физика Земли. 2001. № 4, С. 51–61.

Моделирование и анализ конвективных генераторов с помощью численных моделей высокого разрешения

<u>Н. В. Ильин</u>, С. О. Дементьева, Е. А. Мареев Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород

Одним из наиболее мощных инструментов исследования динамики атмосферы на сегодняшний день являются численные модели. Это сложный программно-аппаратный комплекс, который решает систему уравнений, описывающую эволюцию атмосферы: рассчитывает температуру, влажность, ветер и другие параметры на разных высотах в различных точках земного шара. Численные модели являются основой для систем оперативного мониторинга и прогноза погоды, играют важную роль в моделировании климата и усвоении данных метеонаблюдений.

Несмотря на непрерывное совершенствование как численных методов, так и вычислительных мощностей, современные общедоступные модели не имеют в своем ядре модулей решения уравнений электродинамики атмосферы, что делает их непригодными для прямого моделирования электрических атмосферных процессов. Это связано с рядом причин, так, например, широко используемая в моделях криволинейная сигма-система и гибридная система координат не удобна для решения уравнения Пуассона, трудности возникают и при задании граничных условий (ионосферного потенциала) и при параметризациях электрических процессов в облаках.

В данной работе проанализированы возможности моделирования конвективных генераторов с помощью численных моделей высокого разрешения. Предложены параметризации электрических токов и зарядов в конвективных системах, позволяющие рассчитывать электрическое поле отдельных грозовых ячеек. Подобный подход позволяет оценивать вклады в ионосферный потенциал как от отдельных генераторов регионального масштаба (например, тайфунов) при помощи мезомасштабных численных моделей, так и вариаций ионосферного потенциала с помощью глобальных прогнозных и климатических моделей. В качестве примера использования данного подхода приведены оценки вклада в ионосферный потенциал от идеализированных моделей грозового облака и тропического циклона.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ОФН РАН «Фундаментальные проблемы электродинамики и волновой диагностики атмосферы» и гранта Правительства Российской Федерации (договор № 14.В25.31.0023).

Направления развития теории глобальной электрической цепи

<u>Е. А. Мареев</u>¹, А. В. Калинин^{1,2}, Н. Н. Слюняев¹, А. А. Жидков^{1,2} ¹ Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород ² Нижегородский Государственный Университет им. Н. И. Лобачевского, Н. Новгород

В докладе дан краткий обзор последних достижений и проанализированы ближайшие перспективы развития теории глобальной электрической цепи (ГЭЦ).

В течение последних двух лет, уже после написания подробного обзора [1], был выполнен ряд интересных работ по моделированию ГЭЦ и параметризации ее основных составляющих. Исследованы достаточно простые варианты включения электрических процессов в глобальные модели общей циркуляции атмосферы и океана (GCMs — General Circulation Models) и в модель Земной системы (CESM — Community Earth System Model). Была предложена параметризация вклада областей конвекции (отождествляемых с электрифицированными облаками, то есть с генераторами ГЭЦ) в ионосферный потенциал [2]. Рассчитанные суточная и сезонная вариация ионосферного потенциала оказались в согласии с данными экспериментов; для сценария роста парниковых газов RCP 8.5 было предсказано снижение ионосферного потенциала в течение XXI века приблизительно на 10%, тогда как частота молниевых вспышек должна возрастать с глобальным потеплением примерно на 5 вспышек в секунду на градус. С помощью модели CESM исследовались эффекты возмущений проводимости [3], негрозовых облаков [4] и топографии земной поверхности [5] в глобальной цепи.

Были построены стационарная и квазистационарная модели ГЭЦ, в которых возможно однозначное определение пространственного распределения электрического потенциала при произвольном (заданном) распределении проводимости в атмосфере по известным генераторам, задаваемым в виде распределения плотности стороннего тока [6-8]. Важной особенностью этих моделей является постановка задачи, в которой ионосферный потенциал однозначно определяется из решения соответствующих уравнений для потенциала (как константа или функция времени) и не задаётся явно [6]. Показано, что учёт понижения проводимости внутри грозового генератора может приводить к значительному возрастанию его вклада в ГЭЦ [7]. При учёте понижения проводимости внутри облаков ионосферный потенциал наиболее чувствителен к возмущениям стороннего тока, а также проводимости вне источников [8]. При этом наблюдаемое влияние радиоактивности на динамику ионосферного потенциала не может быть объяснено повышением проводимости в средней атмосфере. В настоящее время коллектив авторов работ [6-8] разрабатывает трехмерную модель ГЭЦ. Можно надеяться, что вскоре будут разработаны нестационарные модели, которые

позволят описывать крупномасштабные геофизические возмущения и долгосрочную эволюцию ГЭЦ.

Активно обсуждались в литературе постановки адекватных задач о моделировании генераторов глобальной цепи [9-12]. Сделаны оценки возможной роли глобального конвективного (Austausch) генератора [12].

Одним из важных направлений развития теории ГЭЦ становится изучение влияние солнечной активности на характеристики составляющих цепи, включая возмущения атмосферной проводимости [8, 13]. Так, влияние солнечной активности на ионосферный потенциал исследовалось в [8].

Наряду с изучением квазистационарного токового контура в атмосфере (DC-цепь), продолжаются активные исследования низкочастотного резонатора земля-ионосфера, поддерживаемого глобальной грозовой активностью — АС-цепь (см. обзор в книге [14] и краткий обзор в [1]).

Среди интересных направлений развития теории ГЭЦ следует отметить изучение влияния сейсмических явлений [14, 15], а также особенностей электрических цепей других планет Солнечной системы [16].

Теоретические исследования ГЭЦ опираются на экспериментальные работы, среди которых особое значение приобрели исследования токовых генераторов регионального масштаба [17, 18], в том числе с использованием глобальной сети локации молниевых разрядов WWLLN. Важную роль играют измерения динамики электрических параметров цепи в области хорошей погоды [19, 20].

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации (договор №14.В25.31.0023), грантов РФФИ №13-05-01139 и №13-05-12103 и Программы ОФН РАН «Фундаментальные проблемы электродинамики и волновой диагностики атмосферы».

- 1. *Williams E., Mareev E.* Recent progress on the global electrical circuit // Atmos. Res. 2014. V.135-136. P.208-227, doi:10.1016/j.atmosres.2013.05.015.
- Mareev E. A., Volodin E. M. Variation of the global electric circuit and Ionospheric potential in a general circulation model // Geophys. Res. Lett. 2014. V.41, doi:10.1002/2014GL062352.
- Baumgaertner A. J. G., Thayer J. P., Neely III R. R., Lucas G. Toward a comprehensive global electric circuit model: Atmospheric conductivity and its variability in CESM1(WACCM) model simulations // J. Geophys. Res. Atmos. 2013. V.118(16). P. 9221-9232, doi:10.1002/jgrd.50725.
- Baumgaertner A. J. G., Lucas G. M., Thayer J. P., Mallios S. A. On the role of clouds in the fair weather part of the global electric circuit // Atmos. Chem. Phys. 2014. V.14(16). P.8599-8610, doi:10.5194/acp-14-8599-2014.
- Bayona V., Flyer N., Lucas G. M., Baumgaertner A. J. G. A 3-D RBF-FD elliptic solver for irregular boundaries: modeling the atmospheric global electric circuit with topography // Geosci. Model Dev. Discuss. 2015. V.8. P.3523–3564, doi:10.5194/gmdd-8-3523-2015.

- 6. Калинин А. В.; Слюняев Н. Н.; Мареев Е. А., Жидков А. А. Стационарные и нестационарные модели глобальной электрической цепи: корректность, аналитические соотношения, численная реализация // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 50, № 3. С. 355-364.
- Slyunyaev N. N., Mareev E. A., Kalinin A. V., Zhidkov A. A. Influence of large-scale conductivity inhomogeneities in the atmosphere on the global electric circuit // J. Atmos. Sci. 2014. V.71(11). P. 4382-4396, doi:10.1175/JAS-D-14-0001.1.
- Slyunyaev N. N., Mareev E. A., Zhidkov A. A. On the variation of the ionospheric potential due to large-scale radioactivity enhancement and solar activity // J. Geophys. Res. Space Physics. 2015. V.120, doi:10.1002/2015JA021039.
- Jansky J., Pasko V. P. Charge balance and ionospheric potential dynamics in timedependent global electric circuit model // J. Geophys. Res. Space Physics, 2014. V.119, doi:10.1002/2014JA020326.
- Davydenko S. S., Mareev E. A. Comment on "Charge transfer to the ionosphere and to the ground during thunderstorms" by S. A. Mallios and V. P. Pasko //J. Geophys. Res. Space Physics. 2014. V.119. P.2359–2362, doi:10.1002/2013JA019230.
- Mallios S. A., Pasko V. P. Reply to comments on the article by S. A. Mallios and V. P. Pasko "Charge transfer to the ionosphere and to the ground during thunderstorms" // J. Geophys. Res. Space Physics. 2014. V. 119. P.2363 –2364, doi:10.1002/2014JA019867.
- 12. *Mareev E.A.* Do fair weather regions contribute to the global circuit support? Proc. EGU General Assembly, Vienna 2014, NH1.4 (invited).
- 13. *Harrison R. G., Nicoll K. A., McWilliams K. A.* Space weather driven changes in lower atmosphere phenomena // J.Atmos. Sol.-Terr. Phys. 2013. V.98. P.22–30.
- 14. *Surkov V., Hayakawa M.* Ultra and Extremely low frequency electromagnetic fields. Springer, 2014. P. 57-144.
- Harrison R. G., Aplin K. L., Rycroft M. J. Brief Communication: Earthquake–cloud coupling through the global atmospheric electric circuit // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2014. V.14. P.773-777, doi:10.5194/nhess-14-773-2014.
- 16. Евтушенко А.А., Ильин Н.В., Кутерин Ф.А. О существовании глобальной электрической цепи в атмосфере Марса // Вестник Московского Университета. 2015. Серия 3: физика, астрономия. №. 1. С. 57–60.
- Hutchins M. L., Holzworth R. H., Brundell J. B. Diurnal variation of the global electric circuit from clustered thunderstorms // J. Geophys. Res. Space Physics. 2014. V.119. P. 620–629, doi:10.1002/2013JA019593.
- Anisimov S.V., Davydenko S.S. Mareev E.A., Shikhova N.M. Evidence for Duirnal and Seasonal Variations of the Local/Regional Convective Generators. Proc. XV International Conference on Atmospheric Electricity (ICAE 2014), Norman, Oklahoma, USA, 15-20 June 2014, P-10-02.
- Anisimov S.V., Galichenko S.V., Shikhova N.M. Space charge and aeroelectric flows in the exchange layer: An experimental and numerical study // Atmospheric Research. 2014. V.135–136. P.244–254.
- Harrison R.G., Nicoll K.A., Aplin K.L. Vertical profile measurements of lower troposphere ionization // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2014. V.119. P.203–210.

Проникновение ионосферных нестационарных электрических полей в нижние слои атмосферы

В. Н. Морозов

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова, Росгидромет, С.-Петербург

Рассматривается нестационарная двумерная задача о распространении возмущения потенциала электрического поля от ионосферного источника в нижние слои атмосферы. Основное уравнение, описывающее этот процесс, имеет следующий вид [1]:

$$\frac{1}{4\pi}\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2}\right) + \lambda\left(z\left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2}\right) + \alpha\lambda(z)\frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0, \quad \lambda(z) = \lambda_0 \exp(\alpha z), \quad (1)$$

где *х* — горизонтальная ось, *z* — вертикальная ось, $\alpha = (0,2-0,3)$ км⁻¹.

Предполагается, что на верхней границе нижней ионосферы потенциал электрического поля изменяется по следующему закону:

$$\varphi(x, z = H, t) = \Phi(z = H) \exp[i(\omega t - kx)] = \Phi_0 \exp[i(\omega t - kx)]$$
(2)

Решение уравнения (1) будем искать в следующем виде:

$$\varphi(x,z,t) = \Phi(z) \exp[i(\omega t - kx)].$$
(3)

Подставляя (3) в уравнение (1), получим уравнение, определяющее амплитуду колебаний потенциала электрического поля $\Phi(z)$:

$$\frac{d^2\Phi}{dz^2} + \frac{4\pi\alpha\lambda(z)}{i\omega + 4\pi\alpha\lambda(z)}\frac{d\Phi}{dz} - k^2\Phi = 0.$$
 (4)

Граничные условия для решения уравнения (4) имеют вид :

$$\Phi(z=0)=0, \quad \Phi(z=H)=\Phi_0.$$
(5)

В работе [1] было получено решение уравнения (4) при граничных условиях (5),которое выражается через гипергеометрическую функцию [2]. Приведем основные результаты исследования полученного решения. При $k^2/\alpha^2 \ll 1$ (характерный масштаб возмущения потенциала гораздо больше характерного масштаба изменения электрической проводимости атмосферы) и $\omega > 4\pi\lambda_0 \exp(\alpha z)$ получим:

$$\varphi(x,z,t) = \Phi_0 \frac{z}{H} \exp[i(\omega t - kx)], \quad E_z = -\frac{\Phi_0}{H} \exp[i(\omega t - kx)], \quad E_x = ik\varphi(x,z,t). \quad (6)$$

При $\omega < 4\pi\lambda_0 \exp(\alpha z)$, $\omega/(4\pi\lambda_0) << 1$ приходим к формулам для квазистационарного случая:

$$\varphi(x, z, t) = \Phi_0 \frac{1 - \exp(-\alpha z)}{1 - \exp(-\alpha H)} \exp[i(\omega t - kx)],$$
$$E_z = -\frac{\Phi_0 \alpha \exp(-\alpha H)}{1 - \exp(-\alpha H)} \exp[i(\omega t - kx)], \quad E_x = ik\varphi(x, z, t).$$

В промежуточном случае при фиксированной частоте ω имеет место переход из области $\omega > 4\pi\lambda_0 \exp(\alpha z)$ в область $\omega < 4\pi\lambda_0 \exp(\alpha z)$ при $z = h(\omega)\alpha^{-1}\ln\omega/4\pi\lambda_0$. Здесь использована методика аналитического продолжения из первой области во вторую [3]. В результате получены следующие выражения для потенциала электрического поля и напряженности электрического поля при малых *k*:

$$\varphi(x,z,t) = \Phi_0 \frac{z}{h(\omega)} \exp[i(\omega t - kx)], \quad E_z = -\frac{\Phi_0}{h(\omega)} \exp[i(\omega t - kx)]$$
(7)

В таблице приведены результаты расчетов амплитуды напряженности электрического поля по выражению (7) при $k = 0,001 \text{ кm}^{-1}$ при $\Phi_0 = 100 \text{ кB}$ в зависимости от частоты ω и высоты $h(\omega)$.

Ω	628	62,8	6,28	0,628	0,0628	0,00628
h(ω) [км]	64	53	41	30	18	6,6
$E_z^0 = \frac{\Phi_0}{h(\omega)} [B/M]$	1,56	1,89	2,44	3,33	5,56	15,56

- Морозов В.Н. Проникновение ионосферных нестационарных электрических полей в нижние слои атмосферы/ В.Н.Морозов // Труды ГГО. 2014. Вып.571. С. 162–171
- Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям / Э.Камке. М.: Наука, 1971. 576 с.
- 3. *Бейтмен Г*. Высшие трансцендентные функции. Гипергеометрическая функция. Функция Лежандра / Бейтмен Г., Эрдейи А. М.: Наука, 1984. 294 с.

Влияние солнечной активности на динамику ионосферного потенциала

<u>Н. Н. Слюняев</u>, Е. А. Мареев Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород

Экспериментальные данные, накопленные к началу 1980-х годов, позволили утверждать, что солнечная активность влияет на основные характеристики глобальной электрической цепи (ГЭЦ); в частности, была отмечена отрицательная корреляция между ионосферным потенциалом и солнечной активностью на масштабе 11-летнего солнечного цикла [1]. Такую динамику ионосферного потенциала связали с возмущениями атмосферной проводимости вследствие модуляции потока галактических космических лучей солнечным ветром; как показал Р.Марксон, результаты наблюдений качественно согласуются с элементарными оценками, если считать грозовые облака источниками постоянного напряжения [2].

Однако практически во всех современных моделях ГЭЦ грозовые облака описываются не как источники напряжения, а как некоторое распределение постоянного стороннего тока. Различные подходы к описанию генераторов ГЭЦ соответствуют различным гипотезам о процессе разделения зарядов внутри них, однако структура существующих распределённых моделей ГЭЦ допускает лишь такой способ задания источников. Нетрудно показать, что в этом случае возмущения атмосферной проводимости на масштабе солнечного цикла с необходимостью должны приводить к противоположному характеру динамики ионосферного потенциала по сравнению с наблюдавшимся; это подтверждают и элементарные оценки, и более аккуратные расчёты в рамках численных моделей ГЭЦ.

Отмеченные расхождения между результатами наблюдений и моделирования носят фундаментальный характер. Можно показать, что зависимость стороннего тока от электрического поля может играть важную роль в этом вопросе; учёт этой зависимости в моделях ГЭЦ — важное направление их развития. Также может быть существенным непосредственное влияние солнечной активности на характеристики источников тока.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации (договор № 14.В25.31.0023) и грантов РФФИ № 13-05-01139 и № 13-05-12103.

- Markson R., Muir M. Solar wind control of the Earth's electric field // Science. 1980. V. 208, № 4447. P. 979–990.
- 2. *Markson R*. Solar modulation of atmospheric electrification and possible implications for the Sun-weather relationship // Nature. 1978. V. 273, № 5658. P. 103–109.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЫ В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Суточные вариации электрического поля атмосферы при погодно-климатических изменениях

<u>А. Х. Аджиев</u>, З. А. Даурова Высокогорный геофизический институт, Росгидромет, Нальчик

Суточный ход значения напряженности электрического поля атмосферы служит объектом разделения глобальных и локальных факторов атмосферного электричества. Наиболее значительные искажения в естественный ход напряженности поля атмосферы вносят грозовые процессы, связанные с генерацией объемного заряда в облаках, туманах и зонах осадков [1].

На основании экспериментальных данных непрерывной регистрации напряженности электрического поля, полученных при различных метеоусловиях, можно выявить роль погодных факторов на особенности суточного ее динамики.

С целью более детального пространственно-временного анализа изменений электрического поля атмосферы при выпадении осадков, в данной работе проведены исследования суточных вариаций напряженности электрического поля атмосферы в зависимости от интенсивности выпадения осадков в зоне репрезентативной регистрации датчиками электрического поля. Рассмотренные случаи относятся к не грозовым ситуациям, которые определялись грозопеленгационной сетью LS8000 [2].

Для измерения напряженности электрического поля атмосферы при различных метеоусловиях был разработан аппаратно-программный комплекс, включающий в себя измерители электрического поля атмосферы EFM 550 фирмы Vaisala.

Метеорологическая информация использовалась главным образом для интерпретации результатов измерений градиента потенциала — выбора дней «хорошей» погоды и измерения характеристик осадков. С помощью метеорологической станции измерялась относительная влажность, скорость ветра и количество выпадающих осадков.

Как видно из рисунка 1 выпадение осадков приводит к значительному отклонению динамики электрического поля от естественного хода. При осадках напряженность поля может резко меняться, доходя до 10000 В/м. При этом облака, дающие осадки, вызывают нерегулярные резкие изменения поля. Облака без осадков вызывают некоторое искажение поля.

Для выявления корреляционной связи между динамикой электрического поля атмосферы и погодными факторами на данном этапе были выбраны две характеристики:

а) длительность периода значительного искажения T естественного хода напряженности электрического поля (участок а-б на рисунке 1) и продолжительность выпадения осадков t (участок в-г на рисунок 1);

б) абсолютное значение амплитуды искаженного электрического поля A при выпадении осадков (отрезок д–е) и амплитуды максимальных значений количества осадков W (отрезок ж–з).

Выпадение осадков приводит к значительному отклонению динамики электрического поля от естественного хода. При осадках напряженность поля может резко меняться, доходя до 10000 В/м. При этом облака, дающие осадки, вызывают нерегулярные резкие изменения поля. Выполнен поиск корреляционных взаимосвязей между характеристиками искажения поля: продолжительность T искаженного состояния поля; амплитуда искажения поля A и параметрами осадков: продолжительность выпадения осадков t; максимальные значения осадков a.



Рис. 1. Суточные изменения значения напряженности электрического поля атмосферы и количества осадков 6 мая 2013 г. Е — Напряженность электрического поля (кривая 1); W — Количество осадков (кривая 2).

Результаты корреляционного анализа взаимосвязей парных характеристик T c t u A c W показали:

- между рассматриваемыми характеристиками есть линейная связь вида: $y = a + b \cdot x$;

- коэффициент корреляции между характеристиками *T* и *t* составляет около +0,8; а между характеристиками *A* и *W* коэффициент корреляции составляет +0,7.

Столь высокие коэффициенты корреляции (0,7–0,8) свидетельствуют о сильной взаимосвязи *E* с наблюдаемым метеорологическим явлением — осадками. Вклад последних в изменении естественной динамики электрического поля может доходить согласно проведенным исследованиям для положительной полярности около +5000 В/м и до –3000 В/м для отрицательной полярности. Изменения составляют 2000% и 1200%, соответственно.

- Имянитов И.М., Шифрин К.С. Современное состояние исследований атмосферного электричества // Успехи физических наук. 1962. т. LXXVI, вып. 4. С. 593– 642.
- Аджиев А.Х., Тапасханов В.О., Стасенко В.Н. Система грозопеленгации на Северном Кавказе // Метеорология и гидрология. 2013. № 1. С. 5–11.

Вариации электрического поля атмосферы при снегопадах и метелях

<u>А. Х. Аджиев</u>, Л. М. Малкандуева Высокогорный геофизический институт, Росгидромет, Нальчик

При снегопадах отмечается резкое увеличение градиента потенциала атмосферного электрического поля, или напряженности электрического поля, которая при сильных метелях может достигать 6000 В/м и более [1]. Несмотря на повышенный интерес к данному явлению, достаточно надежных количественных измерений вариаций электрического поля атмосферы при снегопадах, метелях, вклада в их динамику и в электризацию снежинок погодных факторов к настоящему времени отсутствуют. Имеющиеся в данной области исследования характеризуются либо качественными оценками электрических явлений в снежных метелях [1], либо количественными измерениями электризации различных объектов при их обдуве воздушноснежной массой [2, 3].

Целью настоящей работы являлось исследование потенциала электростатического поля во время снегопада и оценка интенсивности электризации снежинок в зависимости от погодных условий. Задача работы состояла в том, чтобы, путем разработки и применения современных методов исследования, проводя измерения на высокогорной станции, где представляется возможным исключить воздействие антропогенных факторов на вариации электрического поля атмосферы, выявить роль снегопадов и метелей на динамику их суточного хода. Планировалось получить количественные данные о процессах электризации в атмосфере, проследить связь значений напряженности поля с интенсивностью снегопада, скоростью ветра и температурой окружающей среды.

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

Для измерения напряженности электрического поля атмосферы при различных метеоусловиях был разработан аппаратно-программный комплекс, включающий в себя:

- измерители электрического поля атмосферы EFM550 фирмы Vaisala;

погодная автоматическая станция MAWS 3010 фирмы Vaisala для автоматических измерений метеорологических параметров: температуры воздуха, относительной влажности воздуха, скорости и направления воздушного потока, атмосферного давления, количества осадков.

 программное обеспечение для решения задач измерения, передачи и визуализации значений напряженности электрического поля атмосферы и характеристик погоды. Используемая аппаратура обеспечивала регистрацию данных — облачность (в баллах), вид осадков, время начало и окончания осадков, дальность видимости (м), высота снега (м), сумма осадков за период измерений (мм) и напряженность электрического поля атмосферы у поверхности земли (В/м). На Рис. 1 показаны изменения значений напряженности электрического поля атмосферы и количество выпадающего снега в период с 18 по 19 февраля 2013 г. при кратковременных снегопадах.

Выявлено, что при снегопадах и резких порывах ветра имеет место значительные скачки поля, характеризующиеся:

- изменениями поля от +200 В/м электрическое поле «хорошей погоды» до 10 кВ/м при снегопаде;

- продолжительностью пульсаций напряженности поля от 10 с до 30 мин;

- знак изменения поля при снегопаде всегда положительный.

Показано наличие хорошей корреляции (до 0,8) межу амплитудой изменения напряженности поля и интенсивностью снегопада. Получено аналитическое выражение указанной взаимосвязи.



Рис. 1. Значения напряженности электрического поля атмосферы с 18 по 19 февраля 2013 г. (кривая 1) и количество осадков (кривая 2) на станции «Пик Чегет» при снегопаде с метелями. Скорость ветра ~12 м/с.

- 1. Дюнин А.К. В царстве снега. Глава З. Бураны. Раздел: «Метелевое электричество». Академия наук СССР. Наука. Новосибирск. 1983. 161 с.
- 2. Арабаджи В.И. Загадки простой воды // М.: Знание, 1973. 503 с.
- Schmidt D.S., Schmidt R.A., Dent J.D. Electrostatic Force in Blowing Snow. J. Boundary-Layer Meteorology, October 1999, Volume 93, Issue 1, C. 29–45.

Электричество невозмущенной нижней атмосферы в глобальной электрической цепи

<u>С. В. Анисимов</u>^{1,2}, К. В. Афиногенов¹, С. В. Галиченко^{1,2}, Э. М. Дмитриев¹, *Н. М. Шихова*¹ ¹ Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок ² Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород

Атмосфера Земли представляет собой неоднородную газообразную среду, Атмосфера Земли представляет собой неоднородную газообразную среду, основные электрические характеристики которой непрерывно меняются с высотой. Характер электрической проводимости и совокупность атмосферных электрических генераторов порождают некоторую пространственную аэроэлектрическую стратификацию атмосферных областей, объединенных непрерывностью вертикального электрического тока. Глобальная электрическая цепь (ГЭЦ) — интегральная замкнутая система, состоящая из совокупности твердых и газоплазменных оболочек и физически реализующаяся токовым контуром, образованным проводящими слоями нижней ионосферы, океана и земной коры, с грозовыми генераторами в качестве основных атмосферных источников электродвижущих сил и невозмущенными областями свободной атмосферы в качестве зон возвратных токов [1, 2]. В докладе представлены некоторые результаты исследования процессов формирования ГЭЦ, которые заключаются в натурных наблюдениях и математическом моделировании электрической стратификации нижней атмосферы, включающей электрически активные слои и высоту пограничного слоя, объемный заряд приземного атмосферного слоя, ионизирующее действие радиоактивных эманаций земной поверхности, слои повышенной ионизации верхней тропосферы, формируемые действием галактических космических лучей.

В рамках аэроэлектрической стратификации атмосферный пограничный слой (АПС) рассматривается как нижний участок глобальной электрической цепи (ГЭЦ), обладающий малой толщиной по сравнению с расстоянием между ионосферой и поверхностью Земли и характеризующийся широкой вариабельностью электродинамического состояния. При этом вследствие малой ионизации и значительного содержания аэрозольных частиц АПС вносит существенный вклад в полное электрическое сопротивление столба атмосферы, который достигает 70% в зависимости от состояния и высоты АПС. В условиях конвекции АПС представляет собой электродинамически активную среду, в которой наряду с диссипативным протеканием тока проводимости действует конвективная ЭДС, осуществляющая турбулентный перенос объемного электрического заряда и генерирующая электрический ток, не согласованный с направлением вектора напряженности глобального атмосферного электрического поля. Исследовано электрическое состояние

среднеширотного конвективного атмосферного пограничного слоя, невозмущенного облачностью, осадками, туманом, промышленными аэрозолями. Разработана численная модель, позволяющая оценивать электроаэродинамическое состояние конвективного АПС. Выполнена параметризация предлагаемой модели посредством результатов натурных наблюдений и лабораторных экспериментов. Согласно модели в горизонтально однородном приближении с высоким пространственно-временным разрешением рассчитаны высотные профили напряженности атмосферного электрического поля, плотности объемного заряда, удельной электрической проводимости и плотности атмосферного электрического тока [3, 4].

На основании натурных наблюдений аэроэлектрического поля и высотных профилей компонент скорости ветра проведено детальное исследование динамической составляющей электрического поля приземной атмосферы в условиях температурной инверсии и зарождающейся конвекции. Установлено, что формирование слоя приподнятой температурной инверсии сопровождается положительным трендом напряженности аэроэлектрического поля и генерацией короткопериодных аэроэлектрических пульсаций. Приведены оценки переноса пространственно неоднородного объемного заряда и формирования электрически активных слоев в атмосферном пограничном слое. Исследован отклик электрического поля на движение в окрестности точки наблюдения объемных зарядов, имитирующих когерентные структуры электрогазодинамической турбулентности. Проанализированы основные параметры модельных распределений объемного заряда. Линейные размеры модельных структур находятся в диапазоне 20–500 м, а плотность переносимого заряда — 0,1–1 нКл/м³. Высота слоя, содержащего модельные структуры, варьируется в интервале 60–300 м. Показано, что пространственное распределение и перенос объемного электрического заряда формируют динамическую составляющую приземного аэроэлектрического поля. Короткопериодным аэроэлектрическим пульсациям поля соответствует перенос пространственно-неоднородного объемного заряда в атмосферном пограничном слое, а положительный тренд аэроэлектрического поля обусловлен аккумуляцией объемного заряда в подынверсном слое. Скорость увеличения напряженности поля в начале конвекции для случаев инверсии, зарегистрированных содаром, составила в среднем 100 В/(м·ч) [5].

Приземный слой атмосферы толщиной около десяти метров по своему электрическому состоянию отличается от остальной атмосферы, прежде всего наличием электродного эффекта, обусловленного электростатическим отталкиванием от земной поверхности отрицательно заряженных аэроионов и аэрозолей. Наряду с электродным эффектом одним из основных факторов формирования электрического состояния приземного слоя является турбулентный режим. Рассмотрена краевая задача, описывающая турбулентный электродный эффект в приземной атмосфере. Получены ее приближенные асимптотические решения при слабом турбулентном перемешивании для случаев устойчивой и нейтральной атмосферной стратификации. Найденные асимптотические решения для различных типов стратификации приземной атмосферы сравниваются с соответствующими численными решениями. Показана пригодность асимптотических решений для описания электродного эффекта в реальной приземной атмосфере при слабом турбулентном перемешивании [6].

По данным многолетних обсерваторских и сезонных полевых наблюдений проанализирована динамика электрического поля приземной атмосферы средних широт в широком диапазоне временных масштабов. Обнаружено, что суточный ход аэроэлектрического поля в средних широтах наиболее достоверно повторяет унитарную вариацию в зимнее время года. Утверждается, что короткопериодные пульсации электрического поля (ΔE_{τ}) имеют самоподобный степенной спектр. Оценены пространственно-временные масштабы интервала самоподобия, определен характер обобщённого диффузионного процесса генерации аэроэлектрических пульсаций. Проанализированы характеристики турбулентных пульсаций ΔE_z . Получены оценки взаимосвязи динамических (фрактальные размерности, показатели перемежаемости) и энергетических (показатели наклона спектра и структурной функции) характеристик ΔE_z . Исследованы взаимные корреляции вариаций напряженности атмосферного электрического поля, плотности вертикального атмосферного электрического тока, плотности объемного заряда и электрической проводимости атмосферы. Определено, что вариации концентраций легких аэроионов и плотности объемного заряда связаны с вариациями объемной активности радона-222 в воздухе. Проведен спектральный анализ вариаций плотности объемного заряда. Показано, что электродинамическое состояние приземной атмосферы зависит от температурной стратификации и турбулентного режима атмосферного пограничного слоя [7].

На основе результатов натурных наблюдений выявлены закономерности суточной динамики скейлинговых (фрактальная размерность, показатель Херста) и энергетических (показатели наклона спектра и структурной функции) характеристик аэроэлектрического поля при различных состояниях приземной атмосферы. Исследованы скейлинговые свойства и перемежаемость динамики аэроэлектрического поля невозмущенной приземной атмосферы. Показано, что короткопериодные аэроэлектрические пульсации в диапазоне частот $\Delta f = 0,001-1$ Гц обладают свойством самоподобия и фрактальной размерностью D = 1,1-1,8. Обнаружены участки с перемежаемостью на временных интервалах, характеризующихся сменой стратификации атмосферного пограничного слоя. Показано, что перемежаемость аэроэлектрического поля характеризуется мультифрактальностью с существенно отличной от ноля шириной мультифрактального спектра, негауссовостью распределения приращений поля, изменением показателей спектральной плотности от -2,3 до -4 для $\Delta f = 0,01-1$ Гц. Предложены методы количественной диагностики однородности и изотропности короткопериодных аэроэлектрических пульсации [8].

Заметим, что электроаэродинамические исследования нижней атмосферы могут служить дополнительным инструментом диагностики и прогнозирования состояния атмосферного пограничного слоя.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 15-05-04960, № 13-05-12060), а также гранта Правительства Российской Федерации (договор №14.В25.31.0023).

- 1. *Williams E., Mareev E.* Recent progress on the global electrical circuit, Atmos. Res. (2013), http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.05.015
- 2. Анисимов С.В., Мареев Е.А. Геофизические исследования глобальной электрической цепи // Физика Земли. 2008. № 10. С. 8–18.
- Анисимов С.В., Галиченко С.В., Шихова Н.М., Афиногенов К.В. Электричество конвективного атмосферного пограничного слоя: натурные наблюдения и численное моделирование // Физика атмосферы и океана, 2014, Т. 50, № 4. С. 445– 454.
- Anisimov S.V., Galichenko S.V., Shikhova N.M. Space charge and aeroelectric flows in the exchange layer: An experimental and numerical study Atmospheric Research // Volumes 135–136, January 2014, Pages 244–254, http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.01.012.
- 5. Анисимов С. В., Галиченко С. В., Шихова Н. М. Формирование электрически активных слоев атмосферы с температурной инверсией // Известия ран. Физика атмосферы и океана, 2012, том 48, № 4, с. 442–452.
- Дмитриев Э.М. Асимптотическое решение задачи приземного электродного эффекта при слабом турбулентном перемешивании // Геофизические исследования. 2011. Т. 12, № 4. С.52–58.
- 7. Анисимов С.В., Шихова Н.М., Афиногенов К.В. Динамика электричества невозмущенной атмосферы средних широт: от наблюдений к скейлингу // Изв. Вузов, Радиофизика, 2013, Т. 56, № 11–2. С. 787–802.
- 8. *Anisimov S.V., Shikhova N.M.* Intermittency of turbulent aeroelectric field // Atmospheric Research. http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.12.018.

Электричество приземной атмосферы: результаты натурных наблюдений и статистического анализа

С. В. Анисимов, <u>К. В. Афиногенов</u>, С. В. Галиченко Геофизическая обсерватория «Борок» – филиал ИФЗ РАН, Борок

В летний сезон 2014 года на полигоне Геофизической обсерватории «Борок» [58°04' N; 38°14' E] в условиях отсутствия промышленных загрязнений и электромагнитных помех проводились натурные полевые наблюдения аэроэлектрических характеристик приземного слоя атмосферы. Цель работы заключалась в изучении динамики электрических характеристик нижней атмосферы, исследовании турбулентных аэроэлектрических структур, создании банка данных входных параметров для построения стохастической лагранжевой модели электрического состояния атмосферного пограничного слоя [1]. Полевой измерительный комплекс включал электростатические флюксметры, ультразвуковые цифровые метеокомплексы «Метео-2М», датчики полярных электрических проводимостей атмосферы, токовый коллектор, пиранометр. Результаты измерений регистрировались цифровой автоматизированной системой сбора данных с частотой дискретизации 10 Гц. Объемная активность радона измерялась с помощью радиометра «AlphaGuard PQ2000» и сейсмической радоновой станции «СРС-05».

В ходе полевых натурных наблюдений получены суточные хода плотности объемного заряда, удельной электрической проводимости приземного слоя атмосферы, объемной активности радона. Получен суточный ход плотности вертикального атмосферного электрического тока проводимости по данным удельной электрической проводимости атмосферы и напряженности атмосферного электрического поля. Показана корреляция плотностей тока проводимости и полного вертикального атмосферного электрического тока. Продемонстрировано наличие корреляций напряженности атмосферного электрического поля, плотности вертикального атмосферного электрического тока, плотности объемного заряда и удельной электрической проводимости приземного слоя атмосферы. Исследована взаимосвязь суточных ходов объемной активности радона, удельной электрической проводимости и плотности объемного электрического заряда.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №12-05-00820, №12-05-31517, №13-05-10005, №13-05-12060, №15-05-04960) и Про-граммы фундаментальных исследований ОНЗ РАН №7.

Литература

 Анисимов С.В., Галиченко С.В., Шихова Н.М., Афиногенов К.В. Электричество конвективного атмосферного пограничного слоя: натурные наблюдения и численное моделирование // Физика атмосферы и океана, 2014, Т.50, № 4. С. 445– 454.

Влияние скорости эсхаляции почвенного радона на высотный профиль атмосферного электрического поля: результаты моделирования

С. В. Анисимов^{1,2}, <u>С. В. Галиченко</u>^{1,2}, А. П. Макрушин¹, К. В. Афиногенов¹ ¹ Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок ² Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород

Образование ионов в земной атмосфере объединяет в себе множество процессов различной природы и служит главным механизмом, определяющим электрическую проводимость атмосферы. Электрическая проводимость воздуха зависит от концентрации легких, обладающих наибольшей подвижностью, и частично средних ионов. Существенный вклад в ионизацию нижних слоев тропосферы обеспечивает радиоактивный распад радона и его дочерних продуктов [1]. Температурная стратификация и турбулентный режим атмосферного пограничного слоя оказывают влияние на вертикальный транспорт радиоактивных элементов и формирование высотного профиля интенсивности ионообразования, который, наряду с концентрацией в воздухе аэрозольных частиц, определяет высотный профиль электрической проводимости и объемного электрического заряда [2]. В соответствии с уравнениями электродинамики слабоионизированной турбулентной среды высотные профили электрических величин формируются под воздействием процессов дрейфа ионов в электрическом поле и турбулентного переноса электрических зарядов. Предложена адаптация лагранжевой стохастической модели турбулентного транспорта к задаче определения вертикальных профилей объемной активности продуктов радиоактивного распада изотопов радона²²²Rn и ²²⁰Rn. На основе модели получена оценка скорости проникновения радона из конвективного пограничного слоя в свободную атмосферу в отсутствие облачности. Исследовано влияние температурной стратификации атмосферы на высотный профиль интенсивности ионообразования. Представлены результаты расчета вариабельности высотного профиля атмосферного электрического поля в невозмущенной нижней атмосфере над сушей средних широт в зависимости от скорости эсхаляции почвенного радона. Параметризация модели выполнена с использованием результатов натурных наблюдений величин, характеризующих турбулентное состояние атмосферного пограничного слоя.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 15-05-04960, № 13-05-12060), а также гранта Правительства Российской Федерации (договор №14.В25.31.0023).

- 1. *Смирнов В.В.* Ионизация в тропосфере. С.-Пб.: Гидрометеоиздат. 1992. 312с.
- Hoppel W.A., Anderson R.V., Willet J.C. Atmospheric electricity in the planetary boundary layer // The Earth's electrical environment. Krider, E.P. and Roble, R.G., Eds. - Washington: Natl. Acad. Press. 1986. P. 149–165.

Воздействие лунных приливов на электрическое поле пограничного слоя атмосферы Земли

<u>Л. В. Грунская</u>¹, В. В. Исакевич², Д. В. Рубай¹, Д. В. Исакевич² ¹ Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, Владимир ² ООО «Бизнессофтсервис», Владимир

За период 1972-2015 годы создана система многоканального синхронного мониторинга электрического и геомагнитного полей на разнесенных в пространстве станциях: физический экспериментальный полигон ВлГУ; станция на оз. Байкал Института солнечно-земной физики СО РАН; станция в п. Паратунка (Камчатка), Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН; станция в г. Обнинск на базе научно-производственного объединения «Тайфун» [1]. Для достоверной интерпретации получаемых данных по электрическому полю приземного слоя использованы данные Гидрометеорологической службы: базы данных электрического поля приземного слоя атмосферы по станциям: Душети 1967–1980 гг., Воейково 1966–1995 гг., Верхняя Дуброва 1974–1995 гг.

Нами были разработаны модели возникновения приливного эффекта в электрическом и геомагнитном поле пограничного слоя атмосферы [2–4]. Модели дали оценки величин амплитуд вариаций электрического и геомагнитного полей, вызванных приливными процессами. В случае лунных вариаций геомагнитного поля их величина может составлять 0,18 нТл, для электрического поля величина лунных вариаций оставляет $E_z \approx (0,3-1)$ В/м. Ранее подобные оценки были известны только для ионосферных электромагнитных полей.

На первом этапе исследований для обнаружения воздействия приливного процесса на электрическое поле пограничного слоя атмосферы Земли был использован классический метод спектрального оценивания — корреляционный квадратурный приемник. Результаты исследований показали [2-4], что отношение сигнал/шум на частотах приливов недостаточно для вывода о достоверном обнаружении таких воздействий на электрическое поле. Поэтому была проведена работа по разработке метода исследования энергетически недоминирующих составляющих в электрическом поле пограничного слоя, вызванных геофизическими процессами. Был разработан и запатентован метод собственных векторов, позволивший сделать вывод о возможности достоверного обнаружения в электрическом поле таких процессов [5-9]. Анализ эффективности выявления в исследуемых временных рядах компонент, соответствующих приливным частотам, показал высокую эффективность метода собственных векторов, отбираемых по критерию МКК, который обеспечивает пренебрежимо малую вероятность ложной тревоги при вероятности пропуска обнаруживаемых признаков на уровне 10⁻⁴. Энергетический вклад собственных векторов, несущих информацию о частотах, соответствующих приливным процессам, выделенных в результате обработки экспериментальной информации, по электромагнитным полям составил –29,3 дБ (10⁻³). Отношение максимального значения амплитудного спектра у отобранных собственных векторов к его среднему значению — индекс когерентности (аналог отношения сигнал/шум) — для электрического поля при выделении периодов, соответствующих солнечным и лунным приливам составляет в среднем 267–179. Работа осуществлена при поддержке Государственного Задания 2014/13,2871, гранта РФФИ № 14-07-97510/14.

- Грунская Л.В., Морозов В.Н., Ефимов В.А., Золотов А.Н., Рубай Д.В., Закиров А.А. Мониторинг электромагнитных полей пограничного слоя атмосферы Земли // Монография Издатель: Germany, LAP LAMBERT Academic Publishing. – ISBN: 978-3-659-32919-7. 2013, 192 с.
- 2. Грунская Л.В., Морозов В.Н., Ефимов В.А., Закиров А.А. Лунные приливы в электрическом поле пограничного слоя атмосферы // Известия вузов. Физика. 2010. т. 53. №1. С.22–27.
- 3. Грунская Л.В., Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Рубай Д.В., Золотов А.Н. Исследование воздействия лунных приливов на электромагнитное поле пограничного слоя атмосферы с помощью метода собственных векторов/ Известия высших учебных заведений. Физика. 2013. Т. 56. № 4. С. 65–70.
- 4. Грунская Л.В.,. Исакевич В.В. Ефимов В.А., Сушкова Л.Т., Закиров А.А., Рубай Д.В. Решение задачи обнаружения лунных приливов в электрическом поле пограничного слоя атмосферы // Электромагнитные волны. Изд. Радиотехника. 2012. №3. С. 45–50.
- 5. Грунская Л.В., Исакевич В.В., Исакевич Д.В. Анализатор собственных векторов и компонент сигнала. Патент РФ на полезную модель №116242 от 30.09.2011.
- 6. Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Грунская Л.В., Батин А.С., Сушкова Л.Т. Использование собственных векторов ковариационных матриц для обнаружения гармонических составляющих временных рядов // Известия института инженерной физики. 2012. Т. 17. №3. С. 45–50.
- Грунская Л.В., Батин А.С., Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Сушкова Л.Т. Каскады дискриминантных функционалов в задачах анализа временных рядов в базисах собственных векторов ковариационных матриц //Нелинейный мир. Изд. Радиотехника. 2012. №4. С. 215–222.
- Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Сушкова Л.Т., Батин А.С. Функциональные модели целеустремленного поиска признаков природных явлений в собственных векторах ковариационных матриц временных рядов // Нелинейный мир. Изд. Радиотехника. 2010. №10. С. 651–657.
- 9. Исакевич В.В., Сушкова Л.Т., Закиров А.А. Применение базиса собственных векторов ковариационных матриц для выявления сложнопериодических составляющих временного ряда // Электромагнитные волны и электронные системы. Изд. Радиотехника. 2010. № 10. С. 24–28.

Электричество приземного слоя атмосферы: аналитические и численные модели

Э. М. Дмитриев

Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

Нагрузочная часть глобальной электрической цепи сосредоточена преимущественно в атмосферном пограничном слое (высота $\sim 10^2 - 10^3$ м), наиболее электрически активной и изменчивой составляющей которого является приземный слой атмосферы (высота до $\sim 10 - 100$ м) [1–2]. Полученные по результатам наблюдений и из модельных расчетов электрические параметры приземного слоя могут использоваться в моделях как атмосферного пограничного слоя, так и глобальной электрической цепи.

В докладе дан обзор аналитических [4–8] и численных [8–10] моделей электричества приземного слоя. Показано, что основную роль в формировании электричества приземной атмосферы играет электродный эффект. Рассмотрены точные решения задачи классического приземного электродного эффекта [11], приближенные решения задач классического [6] и турбулентного электродного эффекта для случаев слабой [7] и сильной [8] турбулентности, а также для сильных электрических полей [12]. Показано соответствие модельных формул и расчетов результатам наземных натурных измерений электрических параметров приземного слоя [8–10, 12]. Продемонстрирована зависимость электрических параметров приземного слоя от его состояния, стратификации, объемной активности радиоактивных газов, поступающих в приземный слой атмосферы с земной поверхности.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 15-05-04960, № 13-05-12060) и Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН №7.

- Анисимов С.В., Галиченко С.В., Шихова Н.М., Афиногенов К.В. Электричество конвективного атмосферного пограничного слоя: натурные наблюдения и численное моделирование // Физика атмосферы и океана, 2014, Т.50, № 4. С. 445– 454.
- Anisimov S.V., Galichenko S.V., Shikhova N.M. Space charge and aeroelectric flows in the exchange layer: An experimental and numerical study // Atmospheric Research, V. 135–136, January 2014, P. 244–254.
- 3. *Thomson J.J.* Conduction of electricity through gases. Cambride: 1903, 566 p.
- 4. *Hoppel W.A.* Electrode effect: comparison of theory and measurement, in: Planetary electodynamics, pp. 167–181.
- 5. *Tuomi T.J.* Atmospheric Electrode Effect: Approximate Theory and Wintertime Observations // Pure and Applied Geophysics, 12/1979, V.119(1), p.31-45.
- 6. Дмитриев Э.М., Филиппов В.А. Аналитическое решение задачи классического электродного эффекта в приземной атмосфере, Геофизические исследования, 2010, т. 11, № 4, С.53–59.
- 7. Дмитриев Э.М. Асимптотическое решение задачи приземного электродного

эффекта при слабом турбулентном перемешивании // Геофизические исследования, 2011, Т.12, №4, С. 52–58.

- 8. *Куповых Г.В., Морозов В.Н., Шварц Я.М.* Теория электродного эффекта в атмосфере. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1998. 123 с.
- 9. Анисимов С.В., Дмитриев Э.М. Численное моделирование электричества приземной атмосферы // Геофизические исследования, 9, №3, 2008, С. 7–15.
- 10. *Редин А.А., Куповых Г.В., Болдырев А.С.* Электродинамическая модель конвенктивно-турбулентного приземного слоя атмосферы // Известия вузов. Радиофизика. 2013. Т. 56, № 11/12. С. 820–828.
- Калинин А.В., Григорьев Е.Е., Жидков А.А., Терентьев А.М. Классификация и свойства решений системы уравнений теории классического электродного эффекта // Известия вузов. Радиофизика. 2013. Т. 56, № 11/12. С. 829–852.
- 12. Нагорский П.М., Морозов В.Н., Смирнов С.В., Пустовалов К.Н. Электродный слой в электрическом поле мощной конвективной облачности // Известия вузов. Радиофизика. 2013. Т. 56, № 11/12. С. 853–863.

Характеристики турбулентного режима атмосферного пограничного слоя по данным натурных наблюдений

<u>А. С. Козъмина</u>, Н. М. Шихова Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

При исследовании динамики аэроэлектрических величин в пограничном слое атмосферы (ПСА) основными входными параметрами моделей служат характеристики турбулентного режима приземной атмосферы. Полевые натурные наблюдения мгновенных значений компонент скорости ветра, давления, температуры и влажности воздуха, проведённые в летне-осенние сезоны 2010–2015 гг. на экспериментальном полигоне ГО «Борок» [58°04'N; 43°26' Е], позволили получить оценки параметров температурной и ветровой турбулентности для различных условий стратификации ПСА.

В качестве датчиков использовались два автоматизированных ультразвуковых метеорологических комплекса «МЕТЕО-2Н» [1], размещенных на высотах 2 м и 10 м и работающих в непрерывном режиме. Применение акустического метода позволило проводить практически безынерционные измерения и получать мгновенные значения параметров атмосферы с частотой 10 Гц. Данная частота квантования обеспечивала возможность расчёта временных рядов 1-минутных средних значений турбулентных пульсаций метеовеличин и их статистических характеристик. По известным формулам из теории атмосферной турбулентности Монина-Обухова вычислялись полная энергия турбулентных движений, турбулентный поток тепла, динамическая скорость трения, масштаб Монина-Обухова, скорость диссипации кинетической энергии и другие параметры турбулентности [2].

Установлены закономерности суточного хода указанных величин, оценены коэффициенты зависимостей потоковых и турбулентных характеристик от времени при различных типах стратификации на характерных временных масштабах. Выявлены и аналитически аппроксимированы взаимосвязи между моментами вертикальной скорости ветра 1–3 порядка и параметрами теории Монина-Обухова. Полученные оценки могут быть использованы при моделировании переноса носителей заряда и радиоактивных эманаций в ПСА.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 15-05-04960, № 13-05-12060).

- 1. Гладких В.А., Макиенко А.Э. Цифровая ультразвуковая метеостанция // Приборы. 2009. № 7(109). С. 21–25.
- 2. Бызова Н.Л., Иванов В.Н., Гаргер Е.К. Турбулентность в пограничном слое атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1989, 263 с.

Оптимизация расчетов при моделировании электричества нижней атмосферы

А. П. Макрушин

Геофизическая обсерватория «Борок» – филиал ИФЗ РАН, Борок

Динамическое описание ряда процессов в глобальной электрической цепи требует решения задачи переноса турбулентными течениями взаимодействующих с электромагнитным полем и компонентами среды электрически заряженных частиц [1]. Численное решение этой задачи представляет значительные трудности, связанные в основном с реализацией алгоритма, воспроизводящего особенности конкретного турбулентного течения. Статистическое описание требует рассматривать множественные численные реализации при фиксированном наборе входных параметров. В обоих случаях к вычислительным ресурсам предъявляются чрезвычайно высокие требования.

Оптимизация программных кодов позволила повысить эффективность и гибкость расчетов в рамках стохастической электродинамической модели нижнего нагрузочного участка глобальной электрической цепи — областей хорошей погоды. Для улучшения производительности участвующие в расчете массивы векторизованы. Время выполнения некоторых участков кода значительно сокращено распределением задачи для одновременного выполнения на множестве процессоров. Эти участки кода выполняются на графическом сопроцессоре Nvidia Tesla. Программирование выполнено на языке Си с CUDA API от Nvidia.

Литература

 Анисимов С.В., Галиченко С.В., Шихова Н.М., Афиногенов К.В. Электричество конвективного атмосферного пограничного слоя: натурные наблюдения и численное моделирование // Физика атмосферы и океана, 2014, Т.50, № 4. С. 445– 454.

Процессы формирования объёмного заряда в приземном слое атмосферы

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

Результаты нашего эксперимента [1, 2], как и наблюдения других авторов [3, 4], указывают на значительное изменение по высоте вблизи земной поверхности атмосферно-электрических характеристик. Это в полной мере относится к такому параметру, как плотность тока проводимости j_{λ} в атмосфере. Профили плотности тока проводимости, полученные в пунктах Ростовской области, обнаруживают характерную трансформацию в течение суток. В нижнем метровом слое атмосферы при устойчивой стратификации плотность тока по мере удаления от земной поверхности уменьшается, а при неустойчивой стратификации j_{λ} с высотой увеличивается [2]. В итоге вблизи земли формируется объемный заряд легких ионов, плотность которого пропорциональна дивергенции вертикального тока проводимости. В результате этого процесса изменяется величина и распределение плотности объемного заряда ρ , существующего в этом слое.

Для оценки плотности объемного заряда, образующегося у поверхности земли в результате изменения тока проводимости по высоте, можно использовать разность плотности тока проводимости Δj_{λ} на различных уровнях в атмосфере. Значения плотности тока проводимости на каждой высоте рассчитывались по результатам измерений удельной электропроводности и напряженности электрического поля в приземном слое атмосферы.

$$j_{\lambda} = (\lambda_{+} + \lambda_{-})E$$

где λ_+ и λ_- — положительная и отрицательная удельные электрические проводимости атмосферы, *E* — напряженность электрического поля.

Построены эмпирические ряды (рис.1) и рассчитаны уравнения регрессии (табл.1) плотности объемного заряда легких ионов по разности плотности тока проводимости Δj_{λ} в атмосфере для различных метеорологических условий в пунктах наблюдений Ростовской области.

	Уравнение	Достоверность
	регрессии	аппроксимации
Устойчивая стратификация	y = 14,9x + 20,4	$R^2 = 0,88$
Неустойчивая стратификация	y = 14,7x + 10,9	$R^2 = 0,57$

Таблица 1. Михайловка Кашарского района Ростовской обл., август 1995–1998гг.

Обращает на себя внимание тот факт, что угловой коэффициент полученных линейных функций оказался одинаковым как для устойчивой, так и для неустойчивой стратификации, в то время как показатель ординаты точки пересечения прямой с осью ординат (т.е. при условии $\Delta j_{\lambda} = 0$) оказался при устойчивой стратификации примерно вдвое выше.





Михайловка Кашарского района Ростовской обл., август 1995-1998 гг.

- Petrov, A.I. Profiles of polar conductivities and of radon-222 concentration in the atmosphere by stable and labile stratification of surface layer. / A.I. Petrov, G.G. Petrova, I.N. Panchishkina // Proc.13th Int. Conf. Atm. Electricity. Beijing, China, 2007, P. 131–134.
- 2 Петров А.И. Экспериментальные исследования процессов переноса электрического заряда в приземном слое атмосферы / А.И. Петров, Г.Г. Петрова, И.Н. Панчишкина // Сборник трудов VII Российской конференции по атмосферному электричеству. Т.2. СПб, 2012. с. 194–197.
- 3 Семенов К.А. Особенности результатов измерений величин атмосферного электричества в Воейково / К.А. Семенов, Я.М. Шварц, М.П. Жукова, Л.Г. Соколенко, В.А. Камышанова // Труды ГГО, Вып.498, 1986, с. 3–9.
- 4 *Israelsson S.* Long-term measurements of the vertical electrical potential gradient in the atmospheric surface layers // Proc.13th Int. Conf. Atm. Electricity. Beijing, China, 2007, P. 88–91.

Временные вариации электрического поля атмосферы вблизи земной поверхности в разных пунктах наблюдений

<u>А. И. Петров</u>, Г. Г. Петрова, И. Н. Панчишкина, О. П. Старостина Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Временные вариации градиента электрического потенциала представляют собой совокупность периодичностей разного масштаба (типа годовой или суточной волны), непериодических колебаний (типа всплесков поля в результате эпизодических возмущений с последующей его релаксацией: молниевые разряды поблизости, наэлектризованная пыль, поднятая ветром с поверхности грунта, и т. п.) и так называемых шумов (турбулентные пульсации). Исследования рядов динамики градиента потенциала могут способствовать выявлению генераторов атмосферного электричества различной мощности и масштаба.

В работе использованы результаты комплексных измерений характеристик приземной атмосферы в ежегодных летних экспедициях лаборатории геофизических исследований физического факультета ЮФУ. Измерение градиента потенциала электрического поля в экспедициях производилось непрерывно флюксметром «Поле-2» круглосуточно системы ΓΓΟ им.А.И.Воейкова. Флюксметр устанавливался таким образом, что измерительная пластина располагалась на уровне земли. Сигнал с выхода флюксметра подавался на вход платы аналогово-цифрового преобразователя (АЦП L761 фирмы L-Card), установленной в персональный компьютер. Прием данных со всех каналов АЦП производился ежесекундно. При обработке данных измерений подсчитывалось среднечасовое значение напряженности поля, а в случае необходимости производилось осреднение за более короткие промежутки времени. Наряду с измерением атмосферно-электрических характеристик в экспедициях велась регистрация основных метеорологических параметров. В частности, с помощью цифровой метеостанции М-49 регистрировались ежеминутные значения температуры и влажности воздуха на высоте 2 м и скорости ветра на высоте 5 метров.

На основании данных экспедиционных измерений исследовались временные вариации градиента потенциала при различных периодах осреднения, прежде всего, суточные вариации.

Исследовались спектры как внутричасовых, так и многочасовых вариаций градиента электрического потенциала на уровне земли в Талловерове Кашарского района Ростовской области в августе 2008 года. Для получения спектрограмм градиента потенциала ряды его ежеминутных значений обрабатывались с помощью программы статистического анализа «SPSS11 For Windows». Существующие методики получения спектра вариаций рекомендуют избавляться от тренда, что и выполнялось. В спектрограммах внутричасовых вариаций после удаления тренда обнаружен экстремум, расположенный в интервале от 20 до 30 минут. Как выяснилось при построении спектрограмм температуры и влажности воздуха, а также скорости ветра, пик в этом интервале присутствует и на спектрограммах метеоэлементов. Полученные результаты заставляют предполагать, что обсуждаемые внутричасовые вариации градиента потенциала обусловлены метеопроцессами в приземном слое. В частности, авторы статьи [1] указывают на полученные ими высокие значения (до 0,9) коэффициента взаимной корреляции вариаций напряженности поля и температуры воздуха.

Достаточно длительные периоды наблюдений позволили построить многочасовые ряды вариаций градиента потенциала. После устранения тренда были построены спектрограммы 8-часовых рядов динамики. На каждой из них без исключения, независимо от времени суток и условий, наблюдаются пики, соответствующие 40–60 минутам (отмечались также авторами [2]), и — особенно отчетливо — 150–160 минутам (2,5 часа). Следует отметить, что на наблюдающийся в спектре колебаний электрического поля максимум, соответствующий 2–4 часам, указывают и другие авторы [3].

- Анисимов С.В. Моделирование электрического состояния конвективного планетарного пограничного слоя / С.В. Анисимов, С.В. Галиченко, Н.М. Шихова, К.В. Афиногенов // Сборник трудов VII Всероссийской конференции по атмосферному электричеству. Том 1. С.-Петербург, 2012. С. 26–28
- Шихова Н.М. Статистическая структура вариаций аэроэлектрического поля / Н.М. Шихова, С.В. Анисимов // Труды VI Российской конференции по атмосферному электричеству. Н.Новгород: Изд-во Института прикладной физики РАН. 2007. С. 95.
- Филиппов А.Х. Статистическая структура вариаций напряженности электрического поля атмосферы / А.Х. Филиппов, Ю.В. Шаманский Ю.В. // Труды III Всесоюзного симпозиума по атмосферному электричеству. Тарту, 1986. Гидрометеоиздат, 1988.

Результаты наблюдений аэрозольного состояния атмосферы в период экспедиций 2012-2014 гг.

<u>Г. Г. Петрова</u>, И. Н. Панчишкина, А. И. Петров, И. В. Королёв, В. И. Бондин Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Атмосферный аэрозоль, как естественного, так и антропогенного происхождения, оказывает существенное влияние на электрические процессы в атмосфере. В результате адсорбции легких ионов аэрозолями уменьшается электропроводность воздуха, а избирательная адсорбция аэрозолями зарядов одного знака приводит к появлению в воздухе значительных объемных зарядов. Понимание механизмов образования, заряжения и переноса аэрозолей необходимо при интерпретации результатов атмосферноэлектрических измерений и при моделировании электрических процессов в атмосфере.

Начиная с 2012 года в экспедициях лаборатории геофизических исследований физического факультета ЮФУ наряду с измерением атмосферноэлектрических характеристик производилась регистрация концентрации аэрозолей счетчиком АЗ-10 в шести размерных диапазонах (0,3–0,4 мкм, 0,4–0,5 мкм, 0,5–1,0 мкм, 1,0–2,0 мкм, 2,0–5,0 мкм, > 5,0 мкм) на высоте 1 м над земной поверхностью. Первые три диапазона относят к среднедисперсным аэрозолям, аэрозоли размером более 1 мкм — к грубодисперсным [1].

Данные о концентрации аэрозолей получены в летний период для трех пунктов Ростовской области. Как правило, во всех пунктах количество аэрозолей изменяется в течение суток синхронно во всех измеряемых диапазонах. В качестве примера на рисунке 1 представлены ряды динамики для одного из пунктов.



Рис. 1. Ряды динамики концентрации аэрозолей на высоте 1 м. х. Федоровка Кашарского района, 14–23 августа 2012 г.
При анализе результатов измерений обнаружено, что средние значения концентрации аэрозолей ночью превышают средние дневные значения для всех размерных диапазонов в 1,5–2 раза. Это связано, с одной стороны, с появлением в ночное время в атмосфере жидких аэрозолей в результате конденсации водяного пара, с другой стороны — с устойчивой стратификацией атмосферы ночью, при которой создаются условия для накопления разного рода примесей вблизи земной поверхности.

По результатам измерений получены размерные спектры аэрозольных частиц. Сравнение с обобщенными данными, приведенными В.В. Смирновым [2], показывает, что распределение аэрозольных частиц по размерам в рассматриваемом диапазоне для исследуемых пунктов Ростовской области соответствует фоновому спектру аэрозолей в приземном слое атмосферы с малым содержанием аэрозольных частиц.

Одновременные измерения концентрации атмосферных ионов, объемной активности радона-222 и концентрации аэрозолей позволили рассчитать критерий аэрозольного загрязнения атмосферы [3, 4]. Следует отметить, что предложенный критерий отреагировал адекватно на ситуацию степного пожара, вызвавшего значительную аэрозольную эмиссию. Характерно, что во время задымления измерительной площадки наблюдалось увеличение концентрации аэрозолей всех размеров, в то время, как при появлении пылевого облака над измерительной площадкой значительно повысились концентрации лишь грубодисперсных аэрозолей.

По результатам измерений обнаружен рост концентрации аэрозолей при увеличении относительной влажности, на что указывают эмпирические ряды регрессии.

- Ивлев Л.С. Физика атмосферных аэрозольных систем / Л.С. Ивлев, Ю.А. Довгалюк – СПб.: НИИХ СПбГУ, 1999. 194 с.
- 2. Смирнов В.В. Ионизация в тропосфере. СПб: Гидрометеоиздат, 1992. 310 с.
- Петров А.И. Возможность использования атмосферно-электрических характеристик для оценки аэрозольного и радиоактивного загрязнения приземного слоя / А.И. Петров, Г.Г. Петрова, И.Н. Панчишкина, Т.В. Кудринская // Сборник трудов VII Российской конференции по атмосферному электричеству. Т.2. 2012. с. 112–115
- Панчишкина И.Н. Атмосферно-электрический критерий аэрозольного и радиоактивного загрязнения атмосферы / И.Н. Панчишкина, Г.Г. Петрова, А.И. Петров // Сборник докладов VI Международной конференции «Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений», Петропавловск-Камчатский, 2013, с. 171–175.

Экспедиционные исследования электрических процессов в приземной атмосфере с учётом аэрозолей

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

Как известно, в рамках представлений классического электродного эффекта вблизи земной поверхности формируется положительный объёмный заряд, вследствие чего поле в электродном слое увеличивается по мере приближения к земной поверхности. В то же время неоднократно упоминалось об электродном эффекте, осложнённом формированием слоёв отрицательного объёмного заряда, возникновение которых связано с вертикальным градиентом интенсивности ионообразования. Длительное существование таких слоёв возможно при наличии аэрозолей, адсорбирующих объёмный заряд лёгких ионов и аккумулирующих его.

В данной работе продолжены многолетние натурные исследования закономерностей формирования электрической структуры приземного слоя. Измерительно-вычислительный комплекс, используемый в экспедициях последних лет, подробно описан в работе [1]. С 2012 года данный комплекс пополнился измерителем концентрации аэрозолей АЗ-10, который позволяет определять концентрации аэрозолей в шести интервалах диаметров частиц субмикронного и микронного диапазонов: 0,3–0,4; 0,4–0,5; 0,5–1,0; 1,0– 2,0; 2,0–5,0; более 5,0 µ. Измерения концентрации аэрозолей производятся ежечасно на высоте 1 метр, время осреднения 10 минут.

На протяжении ряда лет в геофизических экспедициях кафедры физики физического факультета ЮФУ осуществляются наблюдения за вертикальным распределением электрического потенциала атмосферы вблизи земли. Значения градиента потенциала, средние для соответствующих слоёв, рассчитываются на основании разностей потенциалов между соответствующими уровнями и расстояний между ними. Посредством флюксметра осуществляется регистрация градиента потенциала на уровне земли.

По результатам наблюдений электрической структуры приземного слоя в летний период обнаружено, что в условиях устойчивой температурной стратификации в атмосфере в 4-метровом слое вертикальный профиль поля, будучи изрезанным, в целом наклонён вправо. Это свидетельствует о преимущественном росте поля с высотой в пределах этого слоя и, соответственно, преимущественном отрицательном объёмном заряде в этом слое [2]. Оценка плотности объёмного заряда, средней по 4-метровому слою, сделана по данным о вертикальном распределении поля на основании уравнения Пуассона. В таблице 1 представлены значения рассчитанной таким образом плотности объёмного заряда для трёх градаций концентрации аэрозолей в условиях устойчивой стратификации. Очевидно, что при более высоких концентрациях аэрозолей наблюдаются более значительные плотности отрицательного объёмного заряда. Косвенно это свидетельствует о преимущественно отрицательном заряде аэрозолей.

		Ι	II	III
Концентрация аэрозолей, 10 ⁸ м ⁻³	среднее	0,34	0,52	0,83
	ст.ошибка	0,04	0,01	0,03
Плотность объёмного заряда, пКл/м ³	среднее	-6	-28	-49
	ст.ошибка	9	19	11
Число часов измерений		12	15	8

Таблица 1. Федоровка Кашарского района Ростовской обл., август 2012.



Рис. 1. Ряды регрессии градиента потенциала по концентрации аэрозолей с диаметром частиц от 0,3 µ и более.

Тенденция к снижению значений градиента потенциала вблизи земли с ростом содержания аэрозолей в атмосфере при устойчивой её стратификации отчётливо выражена в рядах регрессии, представленных на рисунке 1. Аналогичные зависимости обнаружены для всех уровней нижнего 4метрового слоя атмосферы.

Таким образом, при изучении электрических процессов в приземном слое учёт содержания в воздухе аэрозолей необходим.

- 1. Петров А.П. Измерительный комплекс для исследования электричества приземного слоя атмосферы / А.И.Петров, Г.Г.Петрова, И.Н.Панчишкина, Т.В.Кудринская, Н.А.Петров // Известия высших учебных заведений, Сев.- Кав. рег., Естест. науки, №3 2010, с. 47–52.
- Petrova G.G. Experimental research of the surface layer electric structure with different concentration of radon-222 / G.G.Petrova, A.I.Petrov, I.N.Panchishkina, O.P.Starostina // Proc.15th Int. Conf. Atm. Electricity. Norman, Oklahoma, USA, 2014. http://www.nssl.noaa.gov/users/mansell/icae2014/preprints/Petrova_218.pdf.

Моделирование воздействия зимней конвективной облачности на динамику электродного слоя

<u>К. Н. Пустовалов</u>¹, В. Н. Морозов², П. М. Нагорский¹, А. А. Кобранова³
¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск
² Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова, С.-Петербург
³ Томский государственный университет, Томск

Во время метелей, выпадения осадков в виде ливневого снега зарегистрировано как возрастание напряжённости электрического поля, так и его уменьшение. При прохождении мощной конвективной облачности одним из выявленных видов являются согласованное уменьшение числа легких ионов обеих полярностей зимой [1]. Осадки, которые осаждают атмосферный аэрозоль и дочерние продукты распада (ДПР) радона, являются одним из параметров, управляющими электропроводностью (λ_{\pm}) приземного слоя атмосферы.

В этом случае систему уравнений, описывающих динамику числа легких ионов, запишем в следующем виде:

$$\frac{\partial n_{1,2}}{\partial t} \pm b_{1,2} \frac{\partial}{\partial z} \left(E(t) n_{1,2} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{\mathrm{T}}(z) \frac{\partial n_{1,2}}{\partial z} \right) = q(z,t) - \alpha n_{1} n_{2} - \eta n_{1,2} N_{0},$$
$$\frac{\partial E}{\partial z} = 4\pi e \left(n_{1} + N_{1} - n_{2} - N_{2} \right),$$

где η – коэффициент взаимодействия легких ионов и гидрометеоров (коэффициент коагуляции); N_0 , $N_{1,2}$ – концентрация нейтральных и заряженных гидрометеоров, $\eta = 10^{-4} \text{ м}^3/\text{c}$; $D_{\text{T}} = (Kz+\gamma)/(z+\beta)$ — коэффициент турбулентной диффузии (K = 5; $\gamma = 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{c}$; $\beta = 10 \text{ м}$); $b_{1,2}$ — подвижность ионов; $\alpha(z)$ — коэффициент рекомбинации легких ионов. Концентрация выпадающих осадков определялась по соотношению:

$$N(z,t) = \begin{cases} N_{\rm C} \left[1 - (z - (z_{\rm C} - V_{\rm C} t))^2 / \Delta z_{\rm C}^2 \right]^2, & |(z - (z_{\rm C} - V_{\rm C} t)) / \Delta z_{\rm C}| < 1, \\ 0, & |(z - (z_{\rm C} - V_{\rm C} t)) / \Delta z_{\rm C}| > 1, \end{cases}$$

где $N_{\rm C} = 10^2 {\rm m}^{-3}$ — максимальная концентрация в центре снежного заряда; $z_{\rm C} = 1,8 {\rm \, km}$ — высота первоначального расположения снежного заряда; $\Delta z_{\rm C} = 0,4 {\rm \, km}$ — полутолщина снежного заряда; $V_{\rm C} = 50 {\rm \, m/muh}$ — скорость падения снежинок. Поскольку частицы осадков являются проводящими, то электростатическая индукция будет способствовать коагуляции, а величина $\eta = \varepsilon_1 \varepsilon_2$ будет определяться произведением вероятности столкновения ε_1 на вероятность их слияния ε_2 . Из-за конечности размеров возможно зацепление мелкой частицы за крупную. Эффект зацепления играет основную роль при вымывании $n_{1,2}$. Представленные в [1] результаты моделирования получены в предположении, что основной источник поступления легких ионов в атмосферу постоянен и не зависит от высоты.

Рассмотрим изменения $n_{1,2}$ при совместном воздействии вариаций поля *E*; вымывания $n_{1,2}$ осадками и вариаций источников ионизации.

Представим ионизацию атмосферы радионуклидами в виде $q(z,t) = q_{\rm S}(z) + q_{\rm V}(z,t)$. Стационарную часть, обусловленную радоном и тороном, запишем в виде: $q_{\rm S}(z) = q_0 + C_{\rm a} \exp(-z/\Delta z_{\rm a}) + C_{\rm b} \exp(-z/\Delta z_{\rm b})$, где $C_{\rm a} = 5q_0$; $C_0 = 3q_0$; $\Delta z_{\rm a} = 20$ м; $\Delta z_{\rm b} = 200$ м; а вариативную — в виде:

$$q_{\rm V}(z,t) = \begin{cases} C_0 \left[1 - (z - (z_{\rm H} - V_{\rm H} t))^2 / \Delta z_{\rm H}^2 \right]^2, & |(z - (z_{\rm H} - V_{\rm H} t)) / \Delta z_{\rm H}| < 1, \\ 0, & |(z - (z_{\rm H} - V_{\rm H} t)) / \Delta z_{\rm H}| > 1. \end{cases}$$

где $C_b = 2q_0$; $\Delta z_H = 500$ м; $z_H = 1,5$ км, $V_H = 60$ м/мин — скорость осаждения ДПР.

Если под воздействием электрического поля происходят противофазные изменения в n_1 и n_2 , а воздействие осадков приводит к согласованному исчезновению легких ионов обеих полярностей [1], то перенос и распад в атмосфере ДПР приводит к согласованному росту n_1 и n_2 . Учет в модели вышеперечисленных факторов позволит разделить эффекты их воздействия на приземную атмосферу во время зимних гроз.

Проведенные модельные эксперименты по воздействию основных факторов на электрическое состояние приземной атмосферы показывают сложность и возможную неоднозначность в динамике электрической структуры приземной атмосферы во время одного из наиболее быстропротекающих и опасных природных явлений.

Литература

 Nagorskiy P. M., Winter Convective Clouds and Unstationary Electrode Layer / Nagorskiy P. M., Morozov V.N., Pustovalov K.N., Ryazanov A.A., Smirnov S.V. // XV International Conference on Atmospheric Electricity, June 15–20, 2014, Norman, Oklahoma, USA, Proc., 4 p.

http://www.nssl.noaa.gov/users/mansell/icae2014/preprints/Nagorskiy_202.pdf.

Пресейсмические вариации активности атмосферного радона как возможная причина аномальных атмосферных эффектов

В. В. Сурков

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва

Приводится теоретический анализ возможных атмосферных эффектов, связанных с вариациями активности радона в приземном атмосферном слое, которые иногда наблюдаются перед землетрясениями. Вначале приводится модель высотного распределения проводимости нижней атмосферы в зависимости от концентраций радона и аэрозолей. На основе этой модели вычисляется изменение полного сопротивления атмосферного столба воздуха, вызванное аномальным увеличением активности радона в сейсмически активной зоне. Оцениваются горизонтальные компоненты электрического поля и плотности тока на границе региона сейсмической активности. Проводимый анализ позволяет предположить, что дополнительная ионизация воздуха, вызванная повышенным выходом радона из почвы, может оказать влияние на электрические спектры ультранизкочастотных пульсаций, которые обусловлены движением аэроэлектрических структур в нижней атмосфере. Особое внимание уделено гипотезе [1] о том, что пре-сейсмические вариации активности радона могут повлиять на аномалии инфракрасного излучения, зафиксированные спутниками над некоторыми областями с повышенной сейсмичностью. Эта гипотеза основана на предположении о том, что ионизация воздуха за счёт радиоактивного распада ядер радона инициирует процесс конденсации водяного пара, который, в свою очередь, приводит к выделению теплоты парообразования и генерации уходящего вверх теплового потока. Проведённый в работе анализ показывает, что этот поток должен быть на много порядков меньше величины, предсказанной в работе [1].

Доклад подготовлен при поддержке гранта РФФИ №13-05-12091.

Литература

 Pulinets S., Ouzounov D. Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling (LAIC) model - An unified concept for earthquake precursors validation // J. of Asian Earth Sci. 2011. V. 41. P. 371–382.

Масштабы самоподобия аэроэлектрического поля по результатам среднеширотных наблюдений

<u>Н. М. Шихова</u>, С. В. Анисимов Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

Динамика атмосферного электрического поля характеризуется широким спектром пространственно-временных масштабов, обусловленных результатами суперпозиции процессов генерации, разделения и переноса электрических зарядов [1]. Оценка степени самоподобия динамики аэроэлектрических характеристик на временных интервалах от нескольких минут до года представляется важным критерием состояния атмосферного пограничного слоя (АПС), так как позволяет определять энергетический вклад и скорость диссипации разномасштабных структур и процессов в пределах АПС.

На основе результатов непрерывных полевых и обсерваторских наблюдений напряженности вертикального аэроэлектрического поля, проведенных в среднеширотной геофизической обсерватории Борок [58°04' N; 43°26' E] в 1998–2014 гг., оценен скейлинг аэроэлектрического поля на различных временных масштабах [2]. В качестве характеристик самоподобия временных рядов использовались фрактальная размерность, показатель наклона спектра, показатель Херста, а также показатели структурных функций 1–7 порядков [3]. Показатель асимметрии и ширина мультифрактального спектра анализируемых рядов служили мерой оценки неоднородности и анизотропии короткопериодных аэроэлектрических пульсаций.

Значения показателей самоподобия позволили определить интервалы, на которых скорость диссипации энергии аэроэлектрических вариаций постоянна или испытывает значительные изменения. Исследована связь динамики аэроэлектрического поля и метеорологических параметров АПС. Показано, что статистические и скейлинговые характеристики аэроэлектрического поля отражают изменение условий стратификации АПС.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 15-05-04960, № 13-05-12060).

- Анисимов С.В., Галиченко С.В., Шихова Н.М., Афиногенов К.В. Электриче-ство конвективного атмосферного пограничного слоя: натурные наблюдения и численное моделирование // Физика атмосферы и океана, 2014, Т. 50, № 4. С. 445–454
- 2. Анисимов С.В., Шихова Н.М., Афиногенов К.В. Динамика электричества невозмущенной атмосферы средних широт: от наблюдений к скейлингу // Изв. Вузов, Радиофизика, 2013, Т. 56, № 11–2. С. 787–802.
- 3. *Anisimov S.V., Shikhova N.M.* Intermittency of turbulent aeroelectric field // Atmospheric Research. http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.12.018.

ФОРМИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ — ГРОЗОВОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО, МОЛНИЕВЫЕ РАЗРЯДЫ, ИОНОСФЕРНЫЕ И МАГНИТОСФЕРНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ

Численное моделирование влияния сильного аэрозольного загрязнения атмосферы на динамику электрической структуры кучево-дождевого облака

<u>Н. Е. Веремей</u>, Ю. А. Довгалюк, Ю. П. Михайловский, А. А. Синькевич Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова, Санкт-Петербург

Проведена оценка влияния сильного аэрозольного загрязнения атмосферы на характеристики конвективного облака, в том числе его электрическую структуру и выпадающие осадки.

Рассмотрена атмосферная ситуация, имевшая место 11 мая 2009 г. вблизи г. Кхарагпур (Индия). В этот день происходило развитие осадкообразующих кучево-дождевых грозовых облаков большой вертикальной и горизонтальной протяженности на фоне сильного загрязнения атмосферы аэрозолем вследствие выноса пыли из пустыни. Натурные наблюдения за эволюцией облаков и их электрическим состоянием показали, что облако имеет инвертированную полярность (положительный заряд внизу), на что указывает положительный заряд, переносимый молниями.

Выполнены численные эксперименты по моделированию влияния аэрозоля на эволюцию облака с помощью численной нестационарной полуторамерной модели, разработанной в ГГО. Проведены два численных эксперимента: развитие облака в фоновых условиях и при повышенной концентрации аэрозоля. Полагалось, что аэрозольные частицы обладают льдообразующими свойствами. Получено, что большая концентрация аэрозольных примесей в облаке оказывает существенное влияние на ход его динамических, микрофизических и электрических характеристик. В частности, резко увеличилось максимальное значение ледности облачных ледяных кристаллов и градин (в 5 и в 2 раза соответственно). Максимальное значение интенсивности осадков увеличилось в 1,4 раза, их количества — в 1,8 раза. Вместе с тем, первый грозовой разряд в обоих случаях произошел в одно и то же время (на 20 мин эволюции облака). Однако отмечено существенное изменение пространственного распределения зарядов. Дополнительные облачные ледяные кристаллы сталкивались с градинами в области незначительно выше нулевой изотермы, где в обычных условиях мелкие кристаллы практически не появляются. Разделяемый при столкновениях заряд способствовал изменению полярности облака по сравнению с базовым случаем. Облако приобрело отрицательный заряд в вершине и положительный в центре, что и наблюдалось в действительности. Внизу облака и в подоблачном слое наблюдался дополнительный отрицательный заряд.

Настоящая работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов 15-55-45026 ИНД_а, 15-05-05719.

Исследование грозоактивности на севере Телецкого озера по данным магнитной станции «Байгазан»

<u>А. Ю. Гвоздарев</u>, С. Ю. Кречетова Горно-Алтайский государственный университет, Горно-Алтайск

Проанализированы помехи в записях DHZ-вариаций геомагнитного поля ЦМВС «Кварц-ЗЕМ» на кордоне Байгазан Алтайского заповедника (север Телецкого озера), осуществляющей регистрацию с частотой 5 Гц. Обнаружено, что грозовой разряд вызывает появление выброса, а приход громового раската — квазисинусоидальных колебаний на D-, Н-датчиках (наблюдаются при расстояниях до 5 км). Были подобраны амплитуды выбросов, позволяющие выявить начало и конец грозы (1 нТл — для Н-канала, 2 нТл — D, 0,5 нТл — Z) в окрестностях магнитной станции. Проведено определение количества и длительности гроз в окрестностях кордона Байгазан в грозовые сезоны 2010–2012 годов.

Проводилось сравнение дней и времени прохождения гроз, определяемых на основе данных магнитометра и визуальных наблюдений за грозами, регистрируемых на метеорологической станции Яйлю, которая находится западнее кордона Байгазан на 12 км. На станции Байгазан по данным магнитометра удалось в 2011 году определить 42 дня с грозой, суммарная продолжительность гроз в эти дни составила 17 часов. В 2012 году отмечались более продолжительные по сравнению с 2011 грозы при меньшем числе дней с грозой, так всего было отмечено 36 дней с грозой с суммарной продолжительностью 21 час. При этом 10 и 11 дней с грозой соответственно в 2011 году и 12 дней (42%) в 2012 году не были зарегистрированы на станции Яйлю. Таким образом, на основе данных магнитометра определено большее число дней с грозой по сравнению с визуальными наблюдениями на станции Яйлю. Среди совпавших на обеих станциях дней с грозой не совпало время прохождения гроз в 10 и 12 грозовых днях соответственно, что составило 32 и 46% от числа совпавших по обеим методикам регистрации дней. В дни, когда регистрации времени гроз не совпали, грозы «приходили» с севера и северо-запада относительно станции Яйлю. В этом направлении местность между урочищем Байгазан и Яйлю является гористой с высотами, достигающими 2000 метров над уровнем моря. В дни совпадения времени наблюдений грозы «приходили» с юго-запада и юга. В этом направлении от Яйлю расположено Телецкое озеро.

Работа поддержана грантами РФФИ 13-05-98082 и 13-05-98024.

Особенности суточной динамики спектров УНЧ шумового фона от наземных грозовых очагов на разных широтах

<u>Е. Н. Ермакова¹,</u> С. В. Поляков¹, Д. С. Котик¹, А. Г. Демехов², В. А. Пилипенко³, Т. Безингер⁴, К. Шиокава⁵ ¹ Научно-исследовательский радиофизический институт, Н. Новгород ² Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород ³ Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва ⁴ Университет Оулу, Финляндия ⁵ Университет Нагои, Япония

Работа посвящена исследованию суточной динамики амплитудных и поляризационных спектров УНЧ магнитного фонового шума. Были использованы данные регистрации горизонтальных магнитных компонент на среднеширотной обсерватории НИРФИ Новая Жизнь (56 N, 45,74 E), японской станции Мошири (44,37 N, 142,27 E) и низкоширотной станции на о. Крит (35,15 N, 25,20 E). Для исследования причин вариаций магнитных спектров использовались данные ионозондовых станций, расположенных в Нижегородской области (Россия) и в Японии (ст. Вакканай). Анализировались спектры параметра поляризации (ε) магнитного шума и влияние структуры суб-ИАР на эти спектры. Было обнаружено:

а) спорадические вариации спектра (ε) связаны с появлением спорадического слоя Es и с изменением профиля электронной концентрации N_e на нижнем основании F-слоя ионосферы;

б) сезонная зависимость этих спектров наиболее сильно выражена на станции Мошири;

в) более сложная структура спектра (ε) на станции о. Крит, связанная с наличием двух различных значений граничной частоты f_{rp} ;

г) наблюдаемое в 70% случаев понижение $f_{\rm rp}$ вблизи локальной полуночи на о. Крит.

Были выполнены также численные расчеты поляризационного параметра на базе модели IRI-2012 и с заданием скорректированных по данным ионозонда профилей N_e , что позволило выявить влияние динамических процессов перестройки ионосферного профиля концентрации электронов на наблюдаемые вариации поляризации. Также в работе исследовалась суточная динамика тонкой структуры спектра (TCC), обнаруженной на всех станциях. Были выявлены особенности TCC на низкоширотной станции о. Крит: высокая вероятность появления в зимние месяцы (до 50%), малые частотные масштабы 1,5–1,8 Гц, большое число резонансных линий в суточной спектрограмме (до 15–18). TCC наблюдалась большую часть темного времени суток. Это позволило предположить, что формирование TCC на среднеширотных и низкоширотных станциях имеет различную природу.

Аномалии гравитационного и магнитного полей Земли и грозовая активность

<u>Т. В. Ершова</u>

Томский государственный педагогический университет, Томск

Пространственное неравномерное глобальное распределение грозовой активности фиксируется на основе данных визуально-слуховых наблюдений метеорологических станций, измерений наземных систем местоопределения молний и спутниковых регистраций за разрядами молний.

Карты распределения плотности разрядов молнии в землю, построенные по спутниковым данным агентства NASA [1], позволяют выделить пять основных грозовых очагов на Земном шаре. Самый крупный глобальный очаг по площади и интенсивности расположен в экваториальном районе Африки (плотность разрядов достигает 70 разр./км²год). Второй очаг со значениями 30–40 разр./км²год расположен в Южной Америке в районе Парагвая и Бразилии. На побережье Венесуэлы можно выделить небольшой по площади, но интенсивный третий мировой грозовой очаг. Над Индонезией расположен четвертый мировой очаг плотности молний. Пятый очаг находится над полуостровом Флорида в Северной Америке.

В качестве основных причин формирования мировых очагов можно назвать географическую широту (грозы тяготеют к низким широтам); наличие возвышенностей; аэрозольных частиц как основных ядер конденсации (из-за этих причин над сушей гроз больше, чем над океаном); определенное сочетание значений температуры и влажности поверхности и воздуха [2, 3]. В качестве дополнительных факторов, обуславливающих пространственную дифференциацию грозовой активности можно рассматривать геофизические факторы, например, аномалии гравитационного и магнитного полей Земли. Гипотеза о влиянии аномалий гравитационного поля на очаговую структуру грозовой активности обсуждалась Е.П. Борисенковым [4] и В.П. Горбатенко [5]. В [4] автор теоретически обосновал усиление вертикальных движений и изменения атмосферного давления в отрицательных очагах гравитационных аномалий. Для территории Германии отмечено [5], что высокие значения плотности разрядов молнии в землю характерны для районов со значениями аномалий гравитационного поля от +10 до -50 мгал. В районах магнитных аномалий и месторождений железа и полиметаллов К.Ш. Хайруллин [6] отмечал повышенную грозовую активность по данным метеорологических станний.

Цель данного исследования — провести сравнительный анализ пространственной неоднородности плотности разрядов молнии в землю и областей гравитационных и магнитных аномалий Земного шара. В качестве материалов исследований выступали карты гравитационных аномалий земной поверхности [7], построенные по данным измерений двух спутников GRACE (Gravity Recovery And Climate Change) агентства NASA.

Сопоставление карты распределения плотности разрядов молнии по Земному шару с картой аномалий гравитационного поля показало, что наиболее интенсивные и обширные глобальные очаги молниевых разрядов (южно-африканский и южно-американский) расположены над незначительными отрицательными гравитационными аномалиями от –10 до 0 мгал. Исключение составляет грозовой очаг в районе Индонезии и Филиппин над интенсивной положительной гравитационной аномалией.

Анализ плотности разрядов молнии в землю за период 1999–2005 гг. над самым большим железорудным бассейном Европы — Лотарингским — показал, что значения плотности достигают максимальных региональных значений до 4,8 разр./км²год.

Над Курской магнитной аномалией в России за период 1999–2012 гг. не было выявлено статистически значимых повышенных значений числа дней с грозой по сравнению с близлежащей территорией без железорудного месторождения.

- Christian, H.J. Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector / H.J. Christian, R.J. Blakeslee, D.J. Boccippio, W.L. Boeck, D.E. Buechler, K.T. Driscoll, S.J. Goodman, J.M. Hall, W.J. Koshak // Journal of Geophysical Research. 2003. V. 108 (D1). 4005.
- 2. Горбатенко, В.П. Молния как звено глобальной электрической цепи : Монография / В.П. Горбатенко, Т.В. Ершова. – Томск: Издательство Томского государственного педагогического университета, 2011. 204 с.
- 3. Горбатенко, В.П. Пространственные и временные вариации грозовой активности над Томской областью / В.П. Горбатенко, А.А. Дульзон, М.В. Решетько // Метеорология и гидрология. 1999. №12. С. 21–28.
- Борисенков, Е.П. Роль аномалий гравитационного поля Земли в формировании конвективных движений как стимулятора грозовой активности / Е.П. Борисенков // Труды Пятой Российской конференции по атмосферному электричеству. Владимир: Изд-во «Транзит ИКС». 2003. Т.П. С. 42–44.
- Горбатенко, В.П. Анализ структуры грозовых рядов и факторов, влияющих на пространственную неоднородность грозовой активности / В.П. Горбатенко, А.А. Дульзон, Ф.А. Гиндуллин, Т.В. Ершова, И.И. Ипполитов, М.В. Кабанов, С.В. Логинов // Проектирование и технология электронных средств. Специальный выпуск, 2004. С. 61–65.
- Хайруллин, К.Ш. Антропогенные и мезоклиматические влияния на грозы и град / К.Ш. Хайруллин, Б.А. Яковлев // Тезисы докладов IV Всесоюзного симпозиума по атмосферному электричеству. Нальчик, 1990. С. 102–103.
- 7. *Murray*, *T*. Greenland's ice on the scales / T. Murray // Nature. 2006. V. 443. P. 277–278.

Вариации мировой грозовой активности за период 2009–2014 гг.

<u>Р. Р. Каримов</u>, А. А. Торопов, В. И. Козлов, Л. Д. Тарабукина Институт космофизических исследований и аэрономии им. Ю. Г. Шафера СО РАН, Якутск

Глобальная электрическая цепь (ГЭЦ) определяет в атмосфере баланс электрических токов и условия поддержания электрического поля. Основным источником электрического поля в тропосфере и стратосфере являются грозовые облака, которые действуют как токовые генераторы. В работе используются данные Мировой сети грозолокации молний [1] (World Wide Lightning Location Network, WWLLN) за 2009–2014 гг., один из пунктов которого установлен в г. Якутск.



Рис. 1. Карта соответствия (коэффициенты корреляции) суточных вариаций грозовых разрядов «облако-земля» по данным WWLLN [1] за все месяцы 2009–2014 гг. унитарной вариации напряженности электрического поля (Кривая Карнеги).

Система позволяет определять местоположение и среднеквадратичное значение энергии мощных грозовых разрядов «облако-земля». При исследовании вариаций грозовой активности используются статистические методы, с помощью которых исследуются в глобальном масштабе, с разрешением по долготе и широте 1°, годовые и сезонные вариации плотности потока грозовых разрядов, унитарные вариации грозовой активности для различных регионов, связь вариаций гроз с солнечной активностью и космофизическими факторами. В частности, с помощью корреляционного анализа получено, что унитарные вариации грозовой активности в основном повторяют ход «Кривой Карнеги» над континентами в районах мировых грозовых очагов (рис.1.).

Также получено, что в основном грозовая активность над континентами находится в фазе с солнечной активностью (рис.2.), что соответствует работам в [2]. Однако грозы в центральной части Африканского континента и на северовостоке Азии, и в некоторых других областях, проявляют отрицательную связь с солнечными пятнами, что согласуется с предыдущими работами авторов [3,4], в которых грозовая активность оценивалась по интенсивности ОНЧ-шумов на частоте 8,7 кГц.



Рис. 2. Карта коэффициентов корреляции среднегодового количества грозовых разрядов «облако-земля» по данным WWLLN [1] за период 2009–2014 гг. с количеством солнечных пятен.

Работа выполнена при поддержке РФФИ: проект № 15-45-05135 р_восток_а, проект № 14-05-31056 мол_а.

- Dowden R.L., Brundell J.B.; Rodger C.J. VLF lightning location by time of group arrival (TOGA) at multiple sites Source // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, v 64, n 7, May 2002, P. 817–30
- 2. Герман Дж. Р. Голдберг Р.А. Солнце, погода и климат. Л., Гидрометеоиздат, 1981, 317с.
- Муллаяров В.А., Каримов Р.Р., Козлов В.И., Мурзаева Н.Н. Связь среднеширотного шумового фона ОНЧ-излучения с солнечной активностью // Геомагнетизм и аэрономия, 1997, Т. 37, N 6, С. 132–136.
- Козлов В.И., Муллаяров В.А., Каримов Р.Р. Отклик грозовых ОНЧ-радиошумов на солнечную активность по наблюдениям в Якутске // Солнечно-земная физика. Вып. 12, 2008. Т. 2. Р. 319–320.

Изменение параметров электромагнитного излучения в процессе эволюции грозовых очагов

<u>И. И. Кононов</u>, И. Е. Юсупов Санкт-Петербургский государственный университет, С.-Петербург

Локализации и регистрация общей молниевой активности, включающей развитие разрядных процессов, происходящих как внутри грозовых облаков (ВО молниевые вспышки), так и наиболее сильноточных разрядов (обратных ударов), развивающихся между облаком и землей (ОЗ), является основным объектом разработок технических средств пассивной локации гроз, проводимых в течение последних лет. Смещение акцентов с регистрации только сильноточных разрядов ОЗ, представляющих наибольшую опасность для производственной деятельности человека, на локацию общей молниевой активности обусловлено необходимостью своевременного обнаружения начала и окончания грозы, надежной оценки степени ее грозоопасности, краткосрочного прогноза будущего развития.

Обычно ВО разряды являются доминирующим явлением грозового процесса, составляя 70–90% в структуре общей молниевой активности, в отдельных грозах могут достигать 99%, в том числе и наиболее мощных [1]. Молниевая активность с сильноточными ОЗ компонентами начинает развиваться с переходом грозового облака в стадию зрелости и достигает максимума с началом стадии ее диссипации грозового облака, когда интенсивность ВО активности начинает убывать. Фиксация этой стадии, предшествующей возникновению сильных нисходящих воздушных потоков и интенсивных осадков, может использоваться в качестве их предикторов [2–4].

Среди современных технических средств наилучшими характеристиками с точки зрения возможностей регистрации и высокоточной локации источников электромагнитного излучения (ЭМИ), сопровождающего развитие практически всех типов разрядных процессов, происходящих в грозовом облаке, обладают системы, работающие в УКВ диапазоне (десятки-сотни мегагерц). Основным недостатком этих систем локации является сравнительно небольшой радиус оперативной зоны обслуживания, ограниченный зоной прямой видимости источников излучения. Большинство существующих и вновь разрабатываемых радиотехнических средств мониторинга грозовой активности в глобальном масштабе основывается на использовании импульсного излучения молний в ОНЧ-НЧ диапазонах частот (способного распространяться без заметного затухания на большие расстояния). Значительные усилия разработчиков этих систем направлены на реализацию возможности регистрации (и локации) ЭМИ также всех типов молниевых вспышек.

В докладе обсуждаются такие возможности по результатам сопоставления данных регистрации ЭМИ молниевых вспышек, полученные во Фран-

ции в течение двух грозовых сезонов при совместном (и синхронном) использовании одной из интерферометрической версии УКВ-системы, ранее известной по аббревиатуре SAFIR [1], и СДВ-регистратора, входящего в комплект модернизированного ГПД «Очаг-2П». Регистрация атмосфериков СДВ-диапазона осуществлялась при пониженном пороге регистрации (0,5 В/м), установленном для реализации синхронной регистрации атмосфериков в пункте (С.-Петербург), удаленном от основного пункта (Les Milles, Франция) на 2400 км.

В работе приводятся данные временных изменений усредненных параметров молниевых вспышек, фиксируемых системой SAFIR: интенсивность, длительность, горизонтальная протяженность, количество сильноточных разрядных компонент ОЗ, полученные на разных интервалах усреднения и в различном пространственном масштабе грозовой активности (грозовой комплекс, грозовой очаг, грозовая ячейка). Исследуется их зависимость от типа грозы и фазы ее развития, обсуждается корреляция с усредненными формами и параметрами атмосфериков, зафиксированных ГПД «Очаг-2П». При обработке данных используются алгоритмы пространственной кластеризации грозовой активности, описанные в [5] и алгоритмы классификации, применяемые для формирования усредненных волновых форм атмосфериков [6].

Сниженный порог регистрации обеспечивает резкое увеличение количества регистрируемых СДВ-сигналов, обеспечивая возможность получения надежных статистических оценок их параметров на достаточно небольших (до 5 минут) интервалах усреднения.

- 1. *Richard P.* SAFIR-an operational system for thunderstorm early localization and lightning hazard warning // Proc. 23rd ICLP, Firence, , p.67–72, 1996.
- 2. *Krehbiel P.* The electrical structure of thunderstorms // Studies in Geophysics. The Earth Electrical Environment, National Academy Press, 1986.
- 3. *Laroche P., Malherbe C.,Bondiou A. et al* Lightning activity in microburst producing storm cells // 25th International Conference on radar meteorology, AMS, Paris June 1991.
- 4. *Williams E.R., WeberM.E., Orville R.E.* The relationship between lightning type and convective state of thunderclouds, Proc.8th International Conference on Atmospheric Electricity, Uppsala, Sweden, June 1988.
- 5. Кононов И.И., Юсупов И.Е. Кластеризация грозовых очагов. «Радиотехника и электроника», 2004, Т.43, №3, С.283–291.
- Кононов И.И., Юсупов И.Е, Крутой Д.М. Методика и результаты формирования банков канонических форм атмосфериков. Сб. трудов VII РКАЭ, 2012. С.131– 133.

Динамика грозовой активности над Западной Сибирью

Д. А. Константинова Томский государственный университет, Томск

Изменение повторяемости экстремальных погодных явлений, таких как гроза, град, ливень и сильный ветер до сих пор остаются актуальными в связи с проблемой глобального изменения климата. Особое место в этом списке опасных конвективных явлений занимаю грозы, так как наносят значительный материальный ущерб многим отраслям народного хозяйства. При решении задач мониторинга грозовой активности, анализ многолетних данных визуальных наблюдений над грозами на сегодняшний день не имеет альтернативы [1].

Целью настоящей работы является исследование многолетних рядов наблюдений за грозовой активностью для юго-восточной территорией Западной Сибири. В работе рассмотрена такая характеристика грозовой активности, как число дней с грозой. Обрабатывались данные наблюдений за грозами двадцати трех метеорологических станций юго-восточной территории Западной Сибири. Информацией о грозах послужили данные штормовых журналов Томского Центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 1936–2014 гг.

На рисунке 1 представлен годовой ход грозовой активности за последние десятилетия осредненный по 23 метеорологическим станциям юговосточной территории Западной Сибири.



Рис. 1. Число дней с грозой, осредненное для исследуемой территории.

На фоне наличия значительной межгодовой изменчивости отмечается слабая тенденция на увеличение грозовой активности последних

десятилетий. Что можно связать с результатами анализа температурного режима Сибири, где выявлены районы со скорость потепления превышающей 0,5°C/10 лет, т.е. на порядок больше, чем для Северного полушария Земли в целом [2]. Увеличение грозовой активности можно объяснить тесной связью с характеристикой конвективного потенциала региона, зависящего в большой степени от температуры воздуха.

Картина многолетних наблюдений за грозовой деятельностью отмечается синхронными изменениями среднего числа дней с грозой по рассматриваемой территории (рис. 2), что подтверждают более ранние исследования [3].



Рис. 2. Среднее число дней с грозой.

- 1. Горбатенко В.П., Ершова Т.В., Константинова Д.А. Пространственное распределение плотности разрядов молнии в землю над территорией Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета, 2009. № 329. С. 251–256
- Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В., Харюткина Е.В. Структура и динамика метеорологических полей на азиатской территории России в период интенсивного глобального потепления 1975–2005гг. // Журнал Сибирского Федерального университета, 2008, 1(4), С. 323–344.
- 3. Горбатенко В. П., Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В., Решетько М.В., Таранюк М.И. Анализ структуры временных рядов повторяемости форм атмосферной циркуляции и грозовой активности // Оптика атмосферы и океана. 2002. 15. № 8. С. 693–697.

Математическое моделирование закона изменения заряда пузырьков в облачных каплях с учетом фрактальности среды

Т. С. Кумыков

Институт прикладной математики и автоматизации, Нальчик

Известно, что облака с мощными конвективными токами имеют фрактальную структуру [1] и облако является фрактальной средой. Поэтому можно предполагать, что процессы, протекающие в такой среде, хорошо описываются с помощью аппарата дробного исчисления.

Несмотря на несомненные успехи в изучении процессов в облаках (Качурин Л.Г., Мейсон Б.Дж., Мучник В.М., Чалмерс Дж.А., Юман М., Ribeira J.C., Workman E.J., Reynold S.E., Имянитов И.М., Френкель Я.И., и т.д.), многие из них до настоящего времени изучены на недостаточном уровне. Это относится и к процессам электризации облачных частиц (капель), к влиянию электрического поля на микрофизические процессы, к влиянию микроструктуры облака на заряд и поле, и ко многим другим процессам. Поэтому, для физики облаков представляет большой интерес разработка математических моделей конвективных облаков с детальным учетом влияния фрактальности среды на различные геопроцессы в облаках, способствующих развитию общей картины физики облаков. Математическое моделирование позволяет детально изучать как отдельные физические процессы, так и их взаимодействие между собой, а применение аппарата дробного исчисления, позволяет неявно включать дополнительные факторы взаимодействия физической системы.

В данной работе предложена модель кинетики роста и изменения заряда пузырьков в облачных каплях с учетом фрактальности среды, которые играют важную роль в процессе электризации облачных частиц. Предложены обобщенные уравнения кинетики роста пузырьков и закона изменения заряда пузырьков, образующиеся в облачной капле учитывающих фрактальность среды.

Решение модели было получено с помощью численных методов дробного исчисления [2, 3]. С помощью программного пакета построены новые профили расчетных кривых определяющие изменения относительного размера пузырька a(t) и относительного заряда пузырька $q_t(t)$ в облачной капле согласно различным значениям параметров времени t и интенсивности процесса α .

- 1. Proceedings of the Sixth Trieste International Symposium on Fractals in Physics, Edited by L.Pietronero, E. Tosatti, ICTP, Trieste, Italy, 1985. P. 644–649
- Sweilam N.H., Khader M.M., Mahdy A.M.S. Numerical studies for solving fractional-order logistic equation // International Journal of Pure and Applied Mathematics 2012. V. 78, №. 8. P. 1199–1210.
- 3. *Michael D. H.* Origin of Anorthosite by Textural Coarsening: Quantitative Measurements of a Natural Sequence of Textural Development // Journal of Petrology, 1998. V. 39, № 7. P. 1307–1323.

Образование грозового электричества и молниевых разрядов

Ю. И. Стожков Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва

Рассматриваются вопросы образования электрических зарядов в атмосфере (высоты от уровня земли до ~35 км), процессы образования грозовых облаков и молниевых разрядов. Показано, что основным источником образования электрических зарядов в атмосфере являются космические лучи. В приземном слое ниже ~3 км электрические заряды также образуются естественной радиоактивностью [1, 2].

Предполагается, что молниевые разряды в грозовых облаках проходят по ионизованным каналам, которые образуются в атмосфере широкими атмосферными ливнями. Последние происходят от взаимодействия высокоэнергичных частиц космических лучей (энергия частицы $E > 10^{14}$ эВ) с ядрами атомов воздуха. В результате такого взаимодействия в атмосфере образуется множество ионизованных треков — каналов, по одному из которых и происходит молниевый разряд [3, 4].

Проверкой данной гипотезы образования молниевых разрядов широкими атмосферными ливнями могла бы быть регистрация нейтронов во время молниевых разрядов, так как в широком атмосферном ливне всегда присутствуют нейтроны. На сегодняшний день имеется несколько работ в этом направлении с противоречащими друг другу результатами. В одних экспериментах во время молниевых разрядов регистрируются вспышки нейтронов, в других увеличение числа нейтронов не наблюдается [5–7].

- Ermakov V.I. Stozhkov Yu.I., Bazilevskaya G.A., Pokrevsky P.E., Kokin G.A. On ion production in the atmosphere // Proc. 10th Int. Conf. on Atmospheric Electricity. Japan. Osaka. 1996. P. 92–95.
- 2. Ermakov V.I., Bazilevskaya G.A., Pokrevsky P.E., Stozhkov Y.I. Ion balance equation in the atmosphere // J. Geophys. Res. 1997. V. 102(D19). P. 23413-23419.
- Ermakov V.I., Stozhkov Y.I. New mechanism of thundercloud electricity and lightning production // Proc. 11th Int. Conf. Atmospheric Electricity. Guntersville. Alabama (H.J. Christian, ed.). NASA/CP-1999-209261. 1999. P. 242–245.
- 4. Ермаков В.И., Стожков Ю.И. Физика грозовых облаков // ФИАН. 2004. № 2. 39 с.
- Antonova V.P., Chubenko A.P., Karashtin A.N., et al. Strong flux of low-energy neutrons by thunderstorms /// Phys. Rev. Lett. 2012. V. 108, P. 125001–125004.
- Babich L.P., Bochkov E., Dwyer J.R. et al. Numerical analysis of 2010 high-mountain (Tien-Shan) experiment on observations of thunderstorm-related low-energy neutron emissions / // Journal of Geophysical research. 2013. V.114. P. 1–8.
- Arneodo F., Bruno, G., Di Giovanni, A., ety al. Decrease of Atmospheric Neutron Counts Observed during Thunderstorms // Phys. Rev. Lett. 2015. V. 114. P. 125003.

Наблюдение четочной молнии в Якутске

<u>А. А. Торопов</u>, Р. Р. Каримов, В. А. Муллаяров, В. И. Козлов Институт космофизических исследований и аэрономии им. Ю. Г. Шафера СО РАН, Якутск

Четочная молния представляет собой очень редкую форму электрического разряда при грозе, в виде цепочки светящихся точек или бусин. Этот тип молний обязан своему происхождению разрядом обычной линейной молнии. Форма каждого светящегося элемента четочной молнии близка к сферической и отделена от соседних элементов темным несветящимся промежутком.

В данной работе представлены результаты наблюдений четочной молнии во время грозы 6 июля 2014 г. в г. Якутске. Были зафиксированны три четочные молнии (в 21:30LT, 21:42LT, 21:48LT) возникшие после ударов линейной молнии в телевизионную вышку высотой 241 м. в центре города. Во время грозы производилась непрерывная видеозапись с высоким разрешением (FullHD 1920×1080, 25 к/с) четырьмя камерами Proto HD-W1080F36IR установленными на высоком здании в Якутске. Также производилась запись электромагнитных сигналов от молний при помощи вертикальной штыревой антенны с усилителем. Для измерения напряженности атмосферного электрического поля был использован электростатический флюксметр имеющий диапазон измерения ±50 кВ/м.

Проведен анализ полученных видеозаписей и электромагнитных сигналов. Анализ видеозаписи показывает, что все три молнии имели большую длительность свечения по сравнению с обычными линейными молниями облако-земля также зафиксированными в этой грозе. Длительность трех молний составляла: 440 мс, 600 мс, 320 мс. По полученным кадрам из видеозаписи проведена оценка линейных размеров светящихся областей четочной молнии и расстояние между ними. Интервал между светящимися областями лежит в пределах от 0,63 м до 2,1 м. Диаметр областей в диапазоне от 1,36 м до 2,73 м. Надо отметить, что диаметр светящихся областей определен приблизительно, так как реальный размер ярко светящихся «четок», вероятно, намного меньше. Сопоставление отдельных кадров из видеозаписи с вариациями электромагнитных сигналов молнии позволило выявить одну интересную особенность все трех четочных молний. Оказалось, что длительность электромагнитного сигнала четочной молнии во всех трех случаях существенно короче длительности свечения самой молнии. На рисунке 1 показан график электромагнитного сигнала четочной молнии и отдельные кадры из видеозаписи.

Хорошо видно, что на двухсотой миллисекунде после главного разряда электромагнитный сигнал прекращается (во всяком случае, его амплитуда не превышает уровень шумов), в то время как свечение отдельных областей четочной молнии продолжается до четырестасороковой миллисекунды. Возможно, это говорит от том, что четочная молния имеет фазу медленно меняющегося тока и начиная с какого то временного интервала практически не излучает в НЧ-радиодиапазоне. Вероятно, этому способствует хорошее заземление конструкции телевышки.



Рис.1. Электромагнитный сигнал четочной молнии и отдельные кадры из видеозаписи во время грозы 06.07.2015.

Работа поддержана РФФИ 12-02-00174-а, 12-05-98528-р_восток_а, 14-05-31056 мол_а и 12-07-98507-р_восток_а, программы Президиума РАН № 10, гранта Президента РФ для поддержки ведущей научной школы № НШ-1741.2012.

Результаты расчетов электрических характеристик грозоградовых облаков на основе трехмерной численной модели

<u>А. В. Шаповалов</u>¹, В. Н. Стасенко², В. А. Шаповалов¹ ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик ² ФГБУ «НИЦ «Планета», Москва

В работе приведены результаты исследований формирования гидротермодинамических, микроструктурных и электрических параметров мощных конвективных облаков на стадии развития.

Трехмерная нестационарная математическая модель конвективного облака включает детальные уравнения гидротермодинамики, микрофизики и электростатики. Гидротермодинамический блок модели состоит из уравнений движения, описывающих влажную конвекцию в приближении Буссинеска [2]. Микрофизический блок модели описывает процессы нуклеации, конденсации, коагуляции капель с каплями, сублимации, аккреции, замерзания капель, осаждения облачных частиц в поле силы тяжести, их перенос воздушными потоками, а также взаимодействие облачных частиц под влиянием электрического поля облака. Система уравнений записана для функций распределения по массам капель $f_1(\mathbf{r}, m, t)$, ледяных частиц $f_2(\mathbf{r}, m, t)$ и осколков замерзания капель $f_3(\mathbf{r}, m, t)$ [1–2]. При расчете электрических параметров облака принято условие, что формирование и накопление электрических зарядов в облаке происходит в результате замерзания капель, взаимодействия капель с кристаллами и кристаллов с кристаллами. Вследствие разности скоростей падения в воздухе мелких ледяных кристаллов, заряжающихся преимущественно положительно, и крупных ледяных частиц, крупы и града, заряжающихся преимущественно отрицательно, происходит пространственное разделение зарядов: в предвершинной части облака преобладает положительный объемный заряд, ниже — отрицательный.

На иллюстрациях представлено электрическое строение конвективного облака в последовательные моменты времени. Приведены значения положительного и отрицательного объемных зарядов, потенциала и напряженности электростатического поля в облаке.

- 1. Ашабоков Б.А., Шаповалов А.В. Конвективные облака: численные модели и результаты моделирования в естественных условиях и при активном воздействии. Нальчик: Из-во КБНЦ РАН, 2008. 254 с.
- 2. Коган Е.Л., Мазин И.П., Сергеев Б.Н., Хворостьянов В.И. Численное моделирование облаков. М., 1984. 186 с.

Электричество средней и верхней атмосферы, высокоэнергичные процессы в атмосфере

Первые результаты наблюдения вспышек света в УФ и ИК областях спектра на спутнике «Вернов»

 М. И. Панасюк^{1,2}, С. И. Свертилов^{1,2}, <u>Г. К. Гарипов</u>¹, В. В. Богомолов^{1,2}, В. О. Баринова¹, К. Ю. Салеев^{1,2}
¹ НИИ ядерной физики им. Д. В. Скобельцына МГУ, Москва
² Физический факультет МГУ, Москва

Главная задача миссии спутника «Вернов» является изучение потоков электронов возникающих в грозовых районах под действием электромагнитного излучения разряда молнии, как в атмосфере, так и радиационных поясах Земли и их связи с кратковременными излучениями в оптическом (УФ и ИК) диапазоне, в диапазоне гамма лучей (0,01–3 МэВ), радиоволн низкой и высокой частоты.

В докладе приводится глобальное распределение зарегистрированных вспышек, частота их появления и спектральные параметры. Показано, что значительная часть вспышек наблюдалась в приполярных областях во время полярной ночи, вспышки в экваториальных областях наблюдались в сериях, вытянутых вдоль магнитного меридиана, часть из которых зарегистрирована в безоблачных областях. Рассматривается связь оптических явлений с субрелятивистскими электронами. Приводятся примеры зарегистрированного техногенного свечения ночной атмосферы. Обсуждается его связь с низкочастотным излучением, радиопередатчиков большой мощности.

УФ вспышки в атмосфере Земли вдали от грозовых областей по данным спутников МГУ «Университетский-Татьяна-2» и «Вернов»

<u>П. А. Климов</u>, В. С. Морозенко, М. А. Казначеева, Б. А. Хренов Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына, Москва

За время изучения высоко атмосферных транзиентных оптических явлений (TLE) сложилась устойчивая классификация типов этих явлений: спрайты, голубые струи, эльфы, и др. Они происходят в верхних слоях атмосферы над грозовыми районами. Однако вместе с этим существует целый ряд экспериментальных наблюдений кратковременных оптических вспышек на очень больших расстояниях от гроз [1–3]. Так, например, в работе [1] описывается необычное событие, TIGER (Transient Ionospheric Glow Emission in Red), зарегистрированное в ходе кампании MEIDEX с борта Шатла. Длительность события не более 33 мс, яркость 310 кРэлей, а расстояние до ближайшей молнии более 1000 км.

На спутниках МГУ «Универститеский-Татьяна», «Универститеский-Татьяна-2» и «Вернов» была установлена аппаратура для регистрации TLE в УФ и ИК диапазонах длин волн [4]. При первоначальной обработке данных спутника «Университетский-Татьяна-2» было замечено, что отдельные события происходят не над облачным покровом [5], а также, что существенная доля событий малой энергии имеет географическое распределение, отличное от распределения гроз на поверхности Земли. В связи с этим, одной их важных задач эксперимента является выяснение доли таких, внегрозовых, событий, их характеристик и причин возникновения. Целью данной работы является совместный статистический анализ результатов спутниковых измерений и данных наземной сети регистрации молний WWLLN.

При регистрации УФ вспышек на спутнике «Университетский-Татьяна-2» выбиралось и записывалось лишь одно событие за минуту наблюдений. Поиск совпадения данных спутника и наземной сети в каждом конкретном случае события, измеренного на спутнике, не представляется возможным. Поэтому в качестве, первоначального критерия отбора безмолниевых событий было выбрано отсутствие данных сети WWLLN в течение ±1 минуты относительно времени регистрации транзиентного события детектором спутника и в радиусе 1000 км от места регистрации вспышки. В результате отбора по этому критерию 12% событий оказались без молний. Большая часть событий представляет собой кратковременные (1-2 мс) импульсы. Количество фотонов во вспышках варьируется от $2 \cdot 10^{20}$ до $8 \cdot 10^{23}$. Преобладают события с малым числом фотонов.

Для анализа данных спутника «Вернов» был взят более жесткий критерий: чтобы в течение ±30 минут не было зарегистрировано ни одной молнии в радиусе 1000 км от события, измеренного на спутнике. Из всего набора данных (около 8 тысяч УФ вспышек) таких событий осталось 55. Вероятность того, что они связаны с грозовой активностью, но сеть WWLLN ее не зарегистрировала, крайне мала (даже при низкой эффективности сети в районах с малым числом станций наблюдения). Перечислим особенности этих безмолниевых событий.

- Из числа всех событий 80% являются очень короткими по времени (порядка 1 мс), оставшиеся 20% имеют довольно разнообразную форму и длительность от 20 до 130 мс.

- Практически все события имеют значимый сигнал только в УФ диапазоне. Эта особенность является важным отличительным свойством, поскольку в большинстве других вспышек сигналы в УФ и ИК диапазонах возникают одновременно и их значения близки друг к другу.

- События расположены вне известных грозовых районов (Южная Америка, Африка, Австралия и Океания), более половины событий зарегистрированы на высоких широтах (от 30° до 60°), большая часть событий (85%) оказалась над океаном.

Как и в других работах, описывающих быстрые оптические вспышки вне грозовых областей, причина их появления пока не ясна. Вероятно, что эти события появляются за счет распространения мощного электромагнитного излучения молний в ионосфере и магнитосфере, приводящего к высыпанию электронов в атмосферу с высвечиванием УФ излучения частиц [6].

- 1. *Yair, Y. et al.* Space shuttle observation of an unusual transient atmospheric emission // Geophys. Res. Lett. 2005 V.32, L02801.
- 2. *Ogelman H.* Millisecond time scale atmospheric light pulses associated with solar and magnetospheric activity // J. Geophys. Res. 1973 V. 78, P. 3033–3039.
- 3. *Михалев А.В., Белецкий А.Б.* Характеристики оптических вспышек в излучении ночной атмосферы по данным мультиспектральных фотометрических и телевизионных наблюдений // Оптика атмосферы и океана 2000 Т.13 № 4,С. 338–341.
- 4. *Садовничий В.А. и др.* Исследования космической среды на микроспутниках Университетский-Татьяна и Университетский-Татьяна-2 // Астрономический Вестник 2011 Т. 45, №1, С. 5–31.
- 5. *Garipov G.K. et al.* Global transients in ultraviolet and red-infrared ranges from data of universitetsky-tatiana-2 satellite. J. Geophys Res. 2013 V. 118, № 2, P. 370–379.
- М.И. Панасюк и др. Данные спутников МГУ о вспышках в ближнем ультрафиолете — потенциальный источник информации о верхней атмосфере (включая ионосферу и магнитосферу) как части электрической цепи Земли // Конференция ГЭЦ-2015.

Анализ фонового излучения атмосферы Земли в диапазоне длин волн 300–400 нм и 600–800 нм по данным спутника «Вернов»

<u>В. С. Морозенко</u>, Г. К. Гарипов, П. А. Климов, М. И. Панасюк, Б. А. Хренов Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына, Москва

В состав научной аппаратуры спутников «Университетский-Татьяна-2» и «Вернов» входит детектор УФ и ИК свечения (ДУФиК). Этот прибор состоит из двух фотоэлектронных умножителей R1463, светофильтров, пропускающих в диапазонах длин волн 300–400 нм и 600–800 нм и блока электроники. Поле зрения определяется коллиматором и составляет 16°, наблюдение производится в надир.

Детектор предназначен для регистрации быстрых УФ и ИК вспышек, связанных с грозовой активностью. Однако, за счет регулировки высокого напряжения на фотоэлектронных умножителях (которое записывается и передается на Землю вместе с осциллограммами вспышечных событий) данный прибор способен регистрировать и фоновое излучение атмосферы Земли в широком динамическом диапазоне (от 10⁷ до 10¹⁰ фотон/см²ср с). Это позволяет наблюдать глобальную картину УФ и ИК свечения атмосферы во всем диапазоне широт, доступных для регистрации на ночной стороне витка спутника. Данные наблюдения позволяют идентифицировать и изучать собственное свечение атмосферы, свечение, связанное с деятельностью человека и его воздействием на верхние слои атмосферы, рассеянный свет Луны и звезд, свечение в полярных областях, экваториальное свечение атмосферы и другие. Измерение среднего фона излучения происходит каждые 4,5 с, что дает непрерывную картину вдоль траектории полета спутника. В докладе приводятся результаты измерения УФ и ИК свечения ночной атмосферы Земли на спутнике «Вернов».

Высотные разряды и высыпания магнитосферных электронов как элементы глобальной электрической цепи: данные космического эксперимента РЭЛЕК на спутнике «Вернов»

<u>С. И. Свертилов^{1,2},</u> М. И. Панасюк^{1,2}, В. В. Богомолов^{1,2}, С. И. Климов³, А. В. Богомолов¹, Г. К. Гарипов¹, П. А. Климов¹, И. Н. Мягкова¹ ¹ Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына,

Москва ² Физический факультет МГУ, Москва ³ Институт космических исследований РАН, Москва

В ходе космического эксперимента с комплексом научной аппаратуры РЭЛЕК на спутнике «Вернов», проводившегося с июля по декабрь 2014 г., осуществлены наблюдения атмосферных транзиентных явлений и высыпаний магнитосферных электронов. Предполагается, что указанные явления, в том числе всплески атмосферного ультрафиолетового, рентгеновского и гамма-излучения, могут быть связаны с высотными электрическими разрядами и вносить существенный вклад в глобальную электрическую цепь.

Параметры орбиты спутника «Вернов» — высота от 640 до 830 км, наклонение — 98,4°, период обращения — 100 мин. Аппаратура РЭЛЕК включала спектрометр жесткого рентгеновского, гамма-излучения и электронов ДРГЭ, ультрафиолетовый фотометр ДУФ, прибор для получения оптических изображений «Телескоп-Т», радиоволновой комплекс НЧА-РЧА и блок электроники БЭ, обеспечивавший связь научных приборов с бортом космического аппарата. Основной прибор для регистрации атмосферных гамма-вспышек и высыпаний электронов — ДРГЭ, в его составе четыре высокочувствительных сцинтилляционных фосвич-детекторов NaI(Tl)/CsI(Tl) суммарной площадью ~500 см², направленных в надир и обеспечивавших регистрацию рентгеновских и гамма-всплесков в диапазоне от 10 кэВ до 3 МэВ, а также спектрометр электронов (0,2-10,0 МэВ), включавший три взаимно-ортогональных детекторных узла, каждый с геометрическим фактором ~2 см²ср, что позволяло оценивать питч-угловое распределение и выделять высыпающиеся частицы. В приборе предусмотрена как непрерывная запись скорости счета регистрируемых частиц и квантов с временным разрешением 1 с, так и фиксация времени регистрации каждого гамма-кванта или электрона с точностью ~15 мкс, а также их энергии. Это позволяет не только проводить детальный анализ переменности, но и сопоставлять временные профили с результатами измерений других приборов комплекса, а также с данными других космических аппаратов и наземных измерений.

В результате наблюдений было зарегистрировано несколько атмосферных гамма-всплесков и несколько тысяч оптических всплесков в ультрафиолетовом и красном диапазонах, также регистрировались высыпания электронов, в том числе в «запрещенных» областях под радиационными поясами и в области геомагнитного экватора. Получены указания на то, что, по крайней мере, часть оптических вспышек может быть связана с областями высыпаний, при этом сами высыпания могут быть обусловлены высотными разрядами. В то же время не было получено каких-либо свидетельств в пользу того, что атмосферные гамма-всплески сопровождаются явлениями, сопутствующими электрическим разрядам, в частности всплесками радиоизлучения.

Аналитические модели формирования спрайта

В. В. Сурков

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва

Гигантские атмосферные вспышки и разряды, возникающие иногда над грозовыми тучами, интенсивно исследовались в последнее время. Теоретический анализ подобных явлений, известных как спрайты, голубые струи и т.д., из-за их сложности сводится, в основном, к численному моделированию [1]. Несмотря на успехи, достигнутые при таком подходе к проблеме, имеется дефицит в простых аналитических оценках, позволяющих понять взаимосвязь параметров этих явлений.

В данной работе исследуются аналитические модели, в которых спрайт начинает развиваться из сферической плазменной неоднородности, находящейся на мезосферных высотах в заданном квази-электростатическом поле грозового облака. Проводимость плазмы σ определяется уравнением:

$$\partial_t \sigma = (v_i - v_a)\sigma, \tag{1}$$

где v_a и v_i — частоты ударной ионизации и присоединения электронов к молекулам воздуха, зависящие от локального значения напряжённости электрического поля. Предполагается, что электрическое поле вблизи нижней точки плазменного шара в одной модели равно, а в другой превышает критическое поле $E_c = \exp(-z/l)$, отвечающее пробою воздуха. Здесь z высота, а E_0 — поле пробоя на уровне моря. После ряда упрощений задача сводится к системе двух обыкновенных дифференциальных уравнений для средней проводимости и радиуса плазменного шара. Аналитические и численные исследования этих уравнений показывают, что скорость расширения плазменного шара V немонотонно зависит от времени. Оценки максимальных скорости $V_{\text{max}} \approx 10^7$ м/с и ускорения $a_{\text{max}} \approx 10^{10}$ м/с² согласуются с результатами наблюдений первоначальных стримеров [2], дающих начало спрайтам, хотя средняя проводимость плазменного шара оказывается гораздо ниже проводимости в головке стримера. Тем не менее, модель предсказывает, небольшое превышение поля в нижней части шара над критическим значением Е_с приводит к резкому росту проводимости внутри плазменного образования.

- Surkov V.V., Hayakawa M. Underlying mechanisms of transient luminous events: A review // Annales Geophysicae.2012. V. 30, P. 1185–2012.
- Li J., Cummer S.A. Measurement of sprite streamer acceleration and deceleration // Geophys. Res. Lett. 2009. V. 36. L10812, doi:10.1029/2009GL037581.

Модель медленного пробоя на убегающих электронах в атмосфере и связанные с ним эффекты

А. С. Лидванский, М. Н. Хаердинов, <u>Н. С. Хаердинов</u> Институт ядерных исследований, Москва

Возможность значительного изменения проводимости области грозовой атмосферы (то есть её электрического пробоя) под действием лавинно размножающихся убегающих электронов, генерированных одиночными частицами космических лучей, впервые была рассмотрена в работе [1]. Предложенный механизм макроскопической ионизации представляет вариант тлеющего, несамостоятельного разряда. Идея плавного изменения проводимости воздуха под действием убегающих электронов (медленного электрического пробоя) получила значительное развитие в работе [2]. В ней был численно исследован эффект влияния «обратной связи» возникающей в результате генерации электрон-позитронных пар тормозными гамма-квантами производимыми убегающими электронами и позитронами. Было отмечено существование абсолютного предела для однородного статического поля в атмосферном воздухе с напряжённостью выше 284 кВ/м для нормальных условий, в зависимости от его протяжённости. При полях выше отмеченного предела включается «циклическая генерация» [3]. Эта генерация, становится возможной, когда релятивистские электроны и позитроны, двигаясь при рождении против ускоряющего действия поля, в процессе торможения упруго взаимодействуя с ядрами среды, регулярно успевают случайным образом переориентировать движение в сторону своего дальнейшего ускорения. Цикл генерации в заданной области поля реализуется тогда, когда лавинное размножение убегающих электронов и механизм обратной связи становятся достаточно эффективными. При этом, каждый ускоряющийся (первичный) электрон порождает ускоряющиеся позитроны, а те, в свою очередь, хотя бы один ускоряющийся (вторичный) электрон. Среднее время, затраченное на производство вторичного релятивистского электрона, есть время цикла. От величины напряжённости и протяжённости поля зависит вероятность генерации цикла одной частицей (Q). Таким образом, в атмосфере, появляется самостоятельный источник релятивистских частиц, которые, описанным в [1] методом, меняют проводимость в своей области атмосферы. То есть, электрический пробой в среде, протекающий под действием рождённых таким способом релятивистских частиц становится самостоятельным. В работе [4] приводится результат аналитического исследования свойств циклической генерации в зависимости от значения и пространственного распределения её эффективности. Выяснено, что масштаб экспоненциального роста имеет порядок микросекунд лишь в случае высокой эффективности, когда Q >> 1. В припороговом случае существования циклической генерации (0 < Q < 1) скорость нарастания может быть любой.

При этом важны пространственные флуктуации крупномасштабного грозового поля. При постепенном нарастании поля, циклическая генерация обязана проявляться локально в поперечном сечении поля. Одно такое активно действующее образование способно обеспечить плавный рост интенсивности релятивистских электронов взятых по всему масштабу поля, объясняя экспериментальные факты. Если процесс не прерывается молниевым разрядом, вызываемым случайными событиями, ограничением роста частиц выступит спад напряжённости поля как результат установления баланса электрического тока осадков и тока смещения генерируемых ионов. Областью для исследования существования пробоя такого типа удачно выступает стратосфера. Сопутствующий пробою рост и спад разности потенциалов в стратосфере обязан приводить к трансформации спектра вторичных частиц космических лучей, что может регистрироваться наземными установками по регистрации мюонов расположенных вблизи активной области. В случае генерации электронов вниз, поток образуемых ими тормозных фотонов может регистрироваться наземными детекторами, расположенными под областью генерации. В процессе ускорения релятивистских частиц молекулы воздуха должны возбуждаться, вызывая флуоресценцию. Это непрерывное свечение, в случае хорошей, можно регистрировать удалённой видеокамерой. Вертикальные токи смещения ионов в поле, массово образуемых в период генерации релятивистских частиц, обязаны создавать горизонтально ориентированное локальное магнитное поле. В случае расположения области генерации не над измерителем, магнитное поле можно регистрировать как возмущение геомагнитного. В Баксанской обсерватории ИЯИ РАН проводятся такие измерения. Предварительный анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о существовании в атмосфере в период гроз медленно протекающего пробоя на убегающих электронах.

Работа поддержана грантами РФФИ № 14-02-01273.

- Gurevich A.V., Milikh G.M., Russel-Dupre R.A. Runaway electron mechanism of air breakdown and preconditioning during a thunderstorm // Phys. Lett., A165, P. 463–468, 1992.
- Dwyer J. R. A fundamental limit on electric fields in air // Geophys. Res. Lett., vol. 30, no. 20, 2055, 2003.
- 3. Лидванский А.С., Хаердинов Н.С. Динамика космических лучей в электростатическом поле атмосферы и генерация частиц грозовыми облаками // Изв. РАН, сер. Физ., 2007, т. 71, № 7, С. 1060–1062.
- Лидванский А.С., Хаердинов Н.С. Ускорение и генерация заряженых частиц электрическим полем грозовых облаков // VI Российская конференция по атмосферному электричеству, Нижний Новгород, 1–7 октября 2007 г., Сборник научных трудов, С. 196–197.
Данные спутников МГУ о вспышках в ближнем ультрафиолете как потенциальный источник информации об ионосфере

<u>Б. А. Хренов</u>, М. И. Панасюк, Г. К. Гарипов, П. А. Климов, В. С. Морозенко Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына, Москва

Экспериментальные сведения о состоянии нижней ионосферы (высоты в атмосфере 60–100 км) получены, в основном, по данным о распространении радиоволн. В последние десятилетия эти данные дополняются экспериментальными данными о вспышках (транзиентах) свечения атмосферы на высотах нижней ионосферы. На спутниках МГУ («Университетский-Татьяна», «Университетский-Татьяна-2», «Вернов») поставлены детекторы свечения в области длин волн ближнего УФ, которые измеряют «ионизационное» свечение молекул азота атмосферы в направлении надир. В докладе обобщаются данные о вспышках УФ в ионосфере, полученные с помощью этих детекторов. Показано, что молнии в грозовых областях атмосферы не только возбуждают ионосферу непосредственно над ними, но и инициируют более сложное «дальнодействие» электромагнитного импульса, не только в пределах верхней атмосферы (нижней ионосферы), но и в магнитосфере, приводящего к высыпанию заряженных частиц радиационных поясов, обычно удерживаемых вне атмосферы.

Глобальная электрическая цепь, метеорология и климат, экологические аспекты глобальной электрической цепи

Оценка параметров конвективной неустойчивости атмосферы по данным спутникового зондирования

<u>В. П. Горбатенко</u>¹, С. Ю. Кречетова², М. Ю. Беликова², О. Е. Нечепуренко¹ ¹ Томский государственный университет, Томск ² Горно-Алтайский государственный университет, Горно-Алтайск

Территории России недостаточно освещены грозопелегаторами либо метеорологическими радиолокаторами для выявления полей конвективной облачности, способных продуцировать грозу и град. Это не позволяет с необходимой точностью диагностировать положение и траекторию перемещения облачных конвективных систем, а значит, и давать прогноз, отвечающий требованиям потребителей. Перспективным методом решения этой проблемы является использование спутниковой информации. Параметры конвекции рассчитывают на основе измерений профилей температуры и влажности, восстановленных с помощью приборов, вынесенных на космические платформы. Например, результаты зондирования атмосферы с геостационарных спутников MSG (Meteosat Second Generation) и GOES-R (Geostationary Operational Environmental Satellite) активно используются в оперативных прогнозах погоды. Профили температуры и влажности и рассчитываемые на их основе индексы неустойчивости атмосферы так же восстанавливаются на основе измерений спектрорадиометра MODIS, установленного на полярно-орбитальных спутниках Terra и Aqua.

Целью настоящих исследований является оценка возможности использования данных MODIS для выявления полей развитой конвекции.

Результаты работы предполагается использовать для оценки границ, траектории перемещения и степени развития конвективных систем над территориями Сибири с редкой сетью наблюдений за опасными конвективными явлениями.

Для идентификации наличия конвективных систем предлагается использовать индексы неустойчивости (LIFT, TOTL, KIND) характеризующие состояние атмосферы по ряду термодинамических признаков [1, 2]. Предварительные исследования [1, 2] говорят о возможности использования индексов, восстановленных при помощи спектрорадиометра MODIS, для отслеживания мезомасштабной конвекции и прогноза образования опасных конвективных явлений, таких как гроза, град, смерч. Тем не менее, информация о валидации индексов неустойчивости LIFT, KIND и TOTL, восстанавливаемых по данным MODIS, представлена недостаточно полно. Такая информация особенно актуальна для территорий, где разница во времени пролета спутника и радиозонда минимальна, например, Камчатка. Только в этом случае методически правильно сравнивать результаты зондирования.

Исследовалось состояние атмосферы в теплый период (март-сентябрь) за 2005–2014 гг. в окрестностях аэрологических станций Камчатки, терри-

торию которой Terra сканирует во время, близкое к 00 и 12 часам BCB, когда выполняется и сетевое аэрологическое зондирование атмосферы. Значения характеристик атмосферы по данным MODIS брали в пикселе размером 5×5 км. Для сравнения были сформированы пары рядов значений индексов неустойчивости атмосферы, а именно индексов LIFT, TOTL и KINDND. Для каждого из индексов была создана база, состоящая из 1000–1300 пар значений. Для сравнения результатов зондирования атмосферы спутником и радиозондом использовались критерий Фишера и t-критерий Стьюдента для зависимых выборок.

Результаты валидации индексов неустойчивости показали, что для территории Камчатки наиболее согласованными и однородными являются данные индексов TOTL и KIND, полученные в 12 часов BCB. Значения этих индексов, полученные по MOD07 за 00 ч BCB являются завышенными, а LIFT — заниженными, по сравнению с аналогичными индексами, получаемыми по данным радиозондирования. Тем не менее, полученные результаты демонстрируют, что наблюдения, выполненные в одно время согласуются гораздо лучше по сравнению с теми, где разница составляет несколько часов [2].

Полученные результаты следует учитывать при восстановлении параметров неустойчивости атмосферы на других территориях, принимая во внимание разницу между временем зондирования атмосферы спутником и радиозондом.

Данные продукта MOD07_L2 перспективны для разработки новых методов диагноза и прогноза пространственного расположения и динамики развития конвективных кластеров.

- 1. Горбатенко В.П. Идентификация мезомасштабной конвекции и гроз по данным MODIS и аэрологического зондирования / Горбатенко В.П., Кречетова С.Ю., Беликова М.Ю., Разумова О.В. // Вестник Томского государственного университета. 2012. № 365. С. 169–174.
- 2. Горбатенко В.П. Сравнение индексов неустойчивости атмосферы, восстанавливаемых по данным радиозондирования и спектрорадиометра MODIS в дни с грозами, над территорией Западной Сибири / Горбатенко В.П., Кречетова С.Ю., Беликова М.Ю., Нечепуренко О.Е. // Метеорология и гидрология. 2015. № 5. С. 10–19.

Вклад молниевых возгораний в глобальные и региональные характеристики природных пожаров

<u>А. В. Елисеев</u>, И. И. Мохов, А. В. Чернокульский Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва

В модель промежуточной сложности, разработанной в Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (КМ ИФА РАН), включены схема расчёта плотности молниевых вспышек и схема, связывающая крупномасштабные характеристики природных пожаров (ПП) с молниевыми и антропогенными возгораниями и подавлением возникающих пожаров. Остальные расчётные алгоритмы схемы природных пожаров в модели основаны на модели GlobFIRM, расширенной учётом низовых и торфяных пожаров. С КМ ИФА РАН проведены численные эксперименты для 1700–2300 гг. при задании антропогенных эмиссий CO₂ в атмосферу, изменений содержания CH₄ и N₂O в ней, содержания сульфатных аэрозолей в тропосфере и стратосфере, солнечной постоянной, площади сельскохозяйственных угодий и изменения населения Земли. Все эти воздействия заданы в соответствии с условиями проекта CMIP5 (Coupled Models Intercomparison Project, phase 5), за исключением плотности населения, для которой в данной работе построены специальные сценарии, имитирующие сценарии CMIP5.

Модель реалистично воспроизводит крупномасштабные особенности плотности молниевых вспышек, площади выгорания из-за ПП и соответствующих эмиссий CO₂ в атмосферу. Тем не менее, отмечаются и важные региональные отклонения этих полей от наблюдений. Учёт молниевых и антропогенных источников возгорания улучшает результаты моделирования характеристик природных пожаров по сравнению с предыдущими версиями КМ ИФА РАН.

При потеплении климата отмечается общая интенсификация молниевой активности. В относительных единицах это увеличение наиболее значимо в средних и субполярных широтах. Изменение глобального числа молниевых вспышек при этом практически не зависит от сценария внешнего воздействия на климат, составляя 15–17% K^{-1} . Эти значения находятся в верхней части интервала, характерного для других климатических моделей, включающих схему расчёта молниевых вспышек.

В XVIII–XX веках в модели отмечаются как периоды увеличения глобальной площади выгорания из-за ПП, так и её уменьшения. Однако глобальные и региональные эмиссии CO_2 в атмосферу из-за природных пожаров уменьшаются в указанный период из-за расширения площади сельскохозяйственных угодий. В XXI веке глобальная площадь выгорания (глобальные эмиссии CO_2 в атмосферу от ПП) увеличивается на 21–47% (13–41%) в зависимости от сценария внешнего воздействия. В XXII веках значения обеих переменных продолжают увеличиваться в случае дальнейшего увеличения антропогенного воздействия на земную климатическую систему. Их увеличение может дости-

гать 19% (13%) соответственно. Увеличение площади выгорания и эмиссий CO₂ в атмосферу из-за природных пожаров в этот период отмечается и на субконтинентальном масштабе.

В XVIII–XX веках изменение активности ПП определяется, в основном, изменением населения Земли. Молниевая активность даёт наиболее значимый вклад в активность природных пожаров в субполярных регионах и в Австралии. В XXII–XXIII веках вклад молниевых возгорания в общее число пожаров увеличивается в большинстве регионов для сценариев с дальнейшем увеличением антропогенной нагрузки на климат. На всём периоде интегрирования модели вклад молниевых возгораний в глобальную площадь выгорания составляет несколько процентов, а в глобальные эмиссии углекислого газа в атмосферу — до четверти от полного значения.

Моделирование обратных связей между грозовой активностью, составом атмосферы и изменением погоды и климата

Л. И. Коломеец, С. П. Смышляев

Российский государственный гидрометеорологический университет, С.-Петербург

Грозовая активность приводит к сильным возмущениям, диссоциации и ионизации атмосферных составляющих. Кроме того, молнии являются источниками диоксида и оксида азота в тропосфере. С другой стороны, оксиды азота могут повлиять на распределение химического состава атмосферы, температуры и радиационно-активных газов. В свою очередь, изменчивость погоды и климата ведут к перераспределению грозовых облаков, что приводит к изменению частоты молниевых вспышек.

Таким образом, образуются положительные и отрицательные обратные связи между частотой гроз, атмосферной химией и климатическими изменениями. И глобальные и региональные эффекты этих обратных связей имеют важное значения в изменении структуры состава атмосферы.

Для изучения механизмов этих обратных связей используются модель WRF–Chem, которая дает возможность моделировать химию атмосферы и аэрозольный состав от облачного до регионально масштабов.

Для численных экспериментов используется район Черного моря, где грозовая активность очень ярко выражена (шаг сетки 5 км, с разрешением 180×180). В качестве входных метеорологических параметров выступают данные NCEP GFS FNL.

Для моделирования состава атмосферы использовался протокол КРР (чтобы включить в WRF–Chem схему CRLv-R5), а также аэрозольные схемы MOSAIC.

Анализ состояния и состава атмосферы в зависимости от конвективного состояния определяет основную роль глубокой конвекции и выявляет механизмы, ведущие к изменению концентрации газов и частоты молниевых вспышек.

Обобщенный анализ метеорологических и химических полей показывает, что обратные связи химия-климат-молнии могут заметно повлиять на долгосрочную эволюцию концентрации газов и аэрозолей в верхней тропосфере и нижней/средней стратосфере.

Литература

 Smyshlyaev S.P., Geller M.A., Yudin V.A. Sensitivity of model assessments of hightspeed civil transport effects on stratospheric ozone resulting from uncertainties in the NOx production fron lightning // J. Geophys. Res. 1988. V. 104. № 21. P. 26401– 26417.

Влияние восхода Солнца на атмосферное электрическое поле и ток по данным ГФО «Михнево»

<u>А. В. Крашенинников</u>, В. А. Рыбаков, С. П. Соловьев Институт динамики геосфер РАН, Москва

Различные эффекты, связанные с солнечной радиацией, оказывают влияние на физические параметры атмосферы. Одним из таких эффектов является восход Солнца, который приводит к появлению локального максимума в показаниях напряженности электрического поля.

Типичное значение вертикальной компоненты градиента электрического поля E_z в условиях хорошей погоды составляет 100–300 В/м, при этом достаточно часто наблюдаются некоторые характерные возмущения, связанные с восходом Солнца, которые проявляются следующим образом. Сначала показания E_z начинают падать, затем, через небольшое время после восхода Солнца величина E_z возрастает, становясь в несколько раз больше, чем была за несколько часов до восхода и в течение следующих нескольких часов E_z снова возвращается к типичному значению в условиях хорошей погоды (рис. 1). Эти изменения сопровождаются сходными изменениями в токе проводимости [1], но на записях электрического поля эффект проявляется более ярко.

Проявление эффекта восхода зависит от условий расположения прибора. Так, близость водоемов сказывается не только на силе эффекта, но и на его сдвиге. Метеорологические условия тоже оказывают влияние на этот эффект, при этом они могут не только подавлять его, но и усиливать [1].

Для изучения эффекта восхода были рассмотрены данные, полученные на Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН. Из-за сильного влияния метеорологических явлений на показания напряженности электрического поля, среди этих данных были выделены дни с условиями «хорошей погоды» (пример графика показаний, усредненных по нескольким таким дням на рис. 2) — при отсутствии осадков, гроз, сильного ветра и облаков (за исключением нескольких дней со слабой облачностью), а среди этих данных — данные, на которых эффект, создаваемый восходом солнца, наиболее выражен.

Согласно проанализированным данным, возрастание показаний начинается с небольшой задержкой в 1–2 часа после восхода Солнца, длительность повышенной напряженности составляет 2–4 часа, причем среди этих дней преобладают дни с более долгим возмущением, максимальное значение возмущенного сигнала, которое достигается через 2,5–6 часов после восхода солнца превышает среднюю величину до начала эффекта в 1,5–2 раза. Измеренные параметры эффекта близки к описанным в литературе величинам, при этом имеют свои особенности (зависящие, например, от местоположения ГФО «Михнево») [2, 3]. Полученные результаты согласуются с физическим механизмом эффекта восхода, согласно которому вариации напряженности электрического поля после восхода Солнца связаны с локальным конвективным генератором.



Рис. 1. Показания напряженности электрического поля 11, 12, 19 и 20 апреля 2014 года (12 апреля – слабая облачность), время восхода Солнца варьируется от 2:35 11 апреля до 2:13 20 апреля



Рис. 2. Усредненные показания напряженности по 4 дням апреля (рис. 1).

- 1. *Marshall T*. A study of enhanced fair-weather electric fields occurring soon after sunrise / T. Marshall, W.D. Rust, M. Stolzenburg, W. Roeder, P. Krehbim // Journal of Geophysical Research. 1999. V.104, № D20. P. 24,455–24,469.
- Анисимов С.В. Геофизические исследования глобальной электрической цепи / С.В. Анисимов, Е.А. Мареев // Физика Земли. 2008. № 10. С. 8–18.
- Смирнов С.Э. К вопросу о природе эффекта восхода Солнца в суточных вариаци¬ях электрического поля атмосферы на Камчатке. 1. Временные вариации электричес¬кого поля / С.Э. Смирнов, Г.А. Михайлова, О.В. Капустина // Геомагне-тизм и Аэрономия. 2012. Т. 52. №4. С. 535–540.

Исследование динамики электрического поля в районе г. Нальчик и поиск корреляционных зависимостей с заболеваниями сердечно-сосудистой системы

<u>А. А. Аджиева</u>, И. Х. Машуков, В. А. Шаповалов Высокогорный геофизический институт, Росгидромет, Нальчик

Величина и направление электрического поля широко варьирует в пространстве и времени и зависит от погодных условий, орографии местности, времени года, суток и других факторов [1].

Особенностью электрических процессов в атмосфере является их сложный двойственный характер: они одновременно порождают трудноразделимые один от другого эффекты местного и глобального масштабов.

Эффект глобального масштаба заключается в одновременном по всей Земле изменении напряженности электрического поля атмосферы (унитарные вариации). Известны, по крайней мере, четыре периода унитарных вариаций: 11летний, годовой, 27-суточный, суточный. В годовом периоде поле принимает минимальное значение в июне, а максимальное — в январе [3,4]. В суточном периоде унитарная компонента поля минимальна в утренние часы (3–8 ч) и максимальна около 19 ч. Напряженность поля имеет отчетливый широтный ход. Наибольшая напряженность поля отмечается в средних широтах, к полюсам и экватору она убывает [4].

Эффекты местного масштаба определяются метеорологическими условиями, характерными для данного района: облака, осадки, туман, метели, пыльные бури вызывают изменение напряженности поля с периодами в диапазоне от долей секунды до нескольких часов.

Источниками наиболее сильных полей в атмосфере являются грозовые облака, напряженность поля под которыми у земной поверхности достигает 10⁴ В/м. Грозовое облако является также генератором электрических разрядов, вызывающих скачки напряженности поля у земной поверхности. Кучевые облака, в частности облака хорошей погоды, вызывают небольшие отрицательные изменения электрического поля [5].

Цель настоящей работы заключалась в изучении динамики атмосферного электрического поля *E* в широком временном диапазоне (порядка 10 лет) на основе многолетних цифровых амплитудно-временных рядов, полученным в результате инструментальных измерений с высоким временным разрешением.

В результате обнаружена тесная связь минимального и максимального значений напряженности электрического поля и отставание максимума среднего значения от пиков максимального размаха значений его максимума и минимума, наблюдающихся в летний период. Можно также отметить наличие колебательного характера в изменении напряженности за получасовые интервалы.



Рис. 2. Объединенный график среднемесячных значений вариаций среднего, максимального и минимального напряженности электрического поля, а также изменения напряженности за получасовые интервалы в период 2005-2014 гг.

Отмечая, что вариации количества вызовов по болезням сердечнососудистой системы носят периодический характер, нами было проведено разложение данных в ряды Фурье. Параметры уравнений были найдены методом наименьших квадратов. Для исследования полученных временных рядов были применены методы регрессионного и спектрального анализа.

Проведен анализ особенностей изменения напряженности электрического поля атмосферы в г. Нальчике в 2005—2014 гг. На основании данных о ежедневном количестве вызовов, поступавших на станцию скорой медицинской помощи от больных с заболеваниями сердечно – сосудистой системы за период с 2005–2008 и 2012–2013 гг. Выполнена оценка взаимосвязи с изменениями напряженности электрического поля атмосферы за тот же период.

- Красногорская Н.В. Атмосферно-электрические измерения в районе Эльбруса // В кн.: Физика облаков и осадков. М.: Изд-во АН СССР, 1961, С. 127–133.
- Смирнов С.Э., Михайлова Г.А., Капустина О.В. Эффект восхода солнца в суточных вариациях напряженности электрического поля // VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству. Сб/ трудов. 2012. С. 211–212.
- 3. Анисимов С.В., Мареев Е.А. Географические исследования глобальной электрической цепи. Физика Земли. №10. 2008. С. 8–18.
- Анисимов С.В. Динамика электричества невозмущенной атмосферы средних широт // VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству. Сб/ трудов. 2012 г. С. 18–21.
- Красногорская Н.В., Ремизов В.П. Вариации электрического поля атмосферы Земли // Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизация воздуха. М.: Наука, 1975, т. 1, С. 49–56.

Сопоставительный анализ грозовой активности, интенсивности конвективного процесса и содержания связанного азота в сопутствующих осадках

<u>X. X. Машуков</u>, Т. В. Реутова, Л. З. Жинжакова, А. С. Отарова, С. Т. Казакова, Д. Д. Кулиев Высокогорный геофизический институт, Росгидромет, Нальчик

Неорганические соединения азота являются одними из основных загрязняющих веществ (ЗВ), встречающихся в атмосферных осадках, и представляют собой продукты растворения газообразного аммиака и оксидов азота. Поступление последних в атмосферу может быть обусловлено, как антропогенными источниками, так и природными процессами, ведущая роль среди которых принадлежит электрохимическим реакциям атмосферного азота при молниевых разрядах. С целью выявления основных процессов, определяющих загрязненность осадков, и степени влияния грозовых разрядов были сопоставлены характеристики облаков и концентрации ЗВ в сопутствующих осадках.

Наблюдения за атмосферными осадками проводили в сельской местности в 25 км к югу от г. Нальчик. Пункт наблюдений располагается в зоне влияния «дождевого барьера», создаваемого Скалистым хребтом с высотами до 3,5 тыс. м над у.м. в каждом случае выпадения осадков измеряли их количество и определяли концентрации неорганических соединений азота (NO₂⁻; NO₃⁻; NH₄⁺). Измеренные концентрации составили в ранжированные ряды и сравнили с соответствующими им параметрами, характеризующими конвективный процесс, а именно, количеством электрических разрядов и величины токов, максимальной отражаемостью (lgz) и максимальной высотой верхней границы облака. Данные о грозовой активности получены с помощью системы грозопеленгации LS8000. Использованы архивные материалы радиолокаторов СКВС о перемещении облаков и облачных систем в районе наблюдений и их отражаемости.

Всего проанализировано 30 процессов за период май-август 2012 и 2013 годов, для которых имелись все вышеперечисленные данные. Установлено, что в большинстве случаев при максимальных величинах lg(z), составивших от 5,5 до 6,5, и высоте верхней границы более 10 км концентрации всех трех форм связанного азота в сопутствующих осадках входят в центральный поддиапазон значений в ряду наблюдений, т.е. занимают места между 1-ым и 3-им квартилями. Только в двух случаях концентрации были близки к максимальным. Также не выявлено зависимости между содержанием в дождевой воде нитритов, нитратов и ионов аммония и интенсивностью гроз, о чем свидетельствуют данные таблицы. Наблюдаемые различия в большей мере связаны с количеством выпадавших осадков.

Количество разрядов (число случаев)		Отсутствуют или единичные (13)	до 10 (7)	от 10 до 25 (4)	от 25 до 50 (5)				
Компонент		Концентрации, мг/л							
NO_2^-	средняя	0,038	0,026	0,055	0,010				
	макс.	0,600	0,048	0,140	0,013				
	миним.	0,003	0,006	0,008	0,007				
NO ₃ -	средняя	1,84	1,70	1,87	0,56				
	макс.	5,98	4,87	4,65	0,99				
	миним.	0,38	0	0	0				
$\mathrm{NH_4}^+$	средняя	0,82	0,69	1,01	0,72				
	макс.	1,80	1,20	1,26	1,08				
	миним.	0,09	0,09 0,40 0,86		0,24				
Количество осадков, мм									
среднее		11,8	16,6	8,1	31,2				
максимальное		34,6	53,8	10,7	51,2				
минимальное		2,2	2,2	2,6	17,4				

Таблица. Содержание неорганических соединений азота в дождевой воде в сравнении с количеством молниевых разрядов в облаке

На основании анализа приведенной выборки можно сделать вывод о том, что в предгорно-низкогорной зоне Центрального Кавказа уровень загрязнения атмосферных осадков определяется не столько внутри облачными процессами осадкообразования, включая электрохимические реакции, сколько подоблачным вымыванием ЗВ.

Полевые исследования по влиянию ЛЭП на концентрацию атмосферных аэрозолей

*М. А. Васильева*¹, *С. Н. Дубцов*², *Н. В. Жохова*³, <u>*А. А. Палей*</u>⁴ ¹ Московский государственный университет путей сообщения, Москва ² Институт химической кинетики и горения СО РАН, Новосибирск ³ Государственный океанографический институт, Москва ⁴ Институт прикладной геофизики, Москва

Рассматриваются основные источники техногенного загрязнения атмосферы аэрозольными частицами субмикронного размера (50–200 нм), рост численной концентрации которых, отмечен в европейской сети наблюдений UFIPOLNET. Результаты лабораторных исследований, выполненных в лаборатории Института прикладной геофизики, показали, что электрические разряды являются существенным источником аэрозольного загрязнения в указанном диапазоне размеров частиц. Выполненные экспедиционные исследования, проведенные в Талдомском районе Московской области, показали, что ЛЭП являются существенным источником аэрозольного загрязнения атмосферы в диапазоне размеров частиц до 100 нм.



Рис. 1. Спектр аэрозольных частиц в воздухе в 50 метрах по ветру от ЛЭП.

В отдельных случаях концентрация аэрозольных частиц, в областях пространства, прилегающих к ЛЭП, превышала значение 10^5 1/см³, при фоновой концентрации порядка 10^3 1/см³.



Рис. 2. Спектр аэрозольных частиц в воздухе в 50 метрах по ветру от ЛЭП.

Работа выполнена при поддержке РФФИ. Проекты №№ 14-08-00836, 15-0810081, 15-08-04724.

Литература

 Gerwig H. UFIPOLNET: Concentration of Particle Number Distributions at 4 Stations in Europe 10-Sep-2007 / Löschau G., Hillemann L., Wehner B., Wiedensohler A., Zschoppe A., Peters C., Rudolph A., Johansson C., Cyrys J., Pitz M., Rückerl R., Novak J. //

mwelt.sachsen.de/umwelt/download/luft/UFIPOLNET_EAC07_gerwig_lecture.pdf.

- Толпыгин Л.И. Поступление наночастиц в окружающую среду при работе бытовых приборов / Толпыгин Л.И., Дубцов С.Н., Васильева М.А., Жохова Н.А., Лапшин В.Б., Палей А.А., Сыроешкин А.В. // Журнал «Безопасность жизнедеятельности», № 5 (149), М.: Новые технологии, 2013, с. 25–31.
- Толпыгин Л.И. О перспективах возможности очистки воздуха от аэрозольных частиц посредством неоднородного электрического поля / Толпыгин Л.И., Дубцов С.Н., Васильева М.А., Жохова Н.В., Палей А.А. // Журнал «Экология и промышленность России», М.: Калвис, Октябрь, 2014, с. 48–51.
- Палей А.А. Фильтр очистки газового потока. Патент на изобретение №2503501/ Палей А.А. // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели». М., 10.01. 2014, ФИПС, Бюл. № 1.

Вариации напряжённости приземного электрического поля при прохождении кучево-дождевой облачности

<u>К. Н. Пустовалов</u>, П. М. Нагорский

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск

Представлены результаты исследования вариаций напряжённости электрического поля (E), обусловленных прохождением над пунктом мониторинга кучево-дождевых облаков (Cb). Использованы данные о напряжённости электрического поля, измеренные в г. Томске, информация об облачности и атмосферных явлениях на метеостанции Томск (29430) [5], и данные спектрорадиометра MODIS [6].

С прохождением *Cb* связанно искажение нормального электрического поля приземной атмосферы. При этом у поверхности земли в пункте наблюдения отмечаются вариации E, обусловленные изменением значения и даже знака E под влиянием объёмных зарядов в облаках и выпадения ливневых осадков. При достижение *Cb* грозовой стадии, на относительно плавное изменению E под влиянием первых двух факторов дополнительно накладываются краткосрочные изменения напряжённости поля, связанные с молниевыми разрядами вблизи пункта измерения [1–4].

Для анализа отобраны метеорологические сроки (май-сентябрь), во время которых метеоусловия характеризовались следующими особенностями: а) наличие *Cb* облаков в срок; б) наличие ливневого дождя, града или грозы в срок и (или) между сроками; в) отсутствие *Ns*, *As* и *St* облаков в текущий и соседние сроки; г) отсутствие обложных и моросящих осадков в срок и (или) между сроками; д) отсутствие тумана, дымки и дыма лесных пожаров. При этом допускалось наличие облаков *Cu*, *Sc*, *Ac* и *Cc*, часто сопутствующих *Cb*, а также облаков *Ci* и *Cs*, формирующих «наковальню» *Cb*. Всего отобрано более 450 случаев прохождения *Cb*.

Определены статистические характеристики значений напряжённости поля и параметров, описывающих общие особенности и временную структуру вариаций *E* во время *Cb*. Показано: с кучево-дождевыми облаками связаны, как правило, знакопеременные вариации *E*, со средним значением – 300 В/м; средняя длительность вариаций *E* (D_v) составляет ~53 минуты; количество возмущений *E* различной полярности (N_{d+} ; N_{d-}) составляет в среднем 3–4, а их длительность (D_{d+} ; D_{d-}) ~10 мин; распределения D_v , D_{d+} и D_d - близки к распределению Леви-Парето, состоящему из двух частей, связанных предположительно с различными проявлениями *Cb*.

На основании количества и последовательности возмущений различной полярности осуществлена типизация исследуемых вариаций E. Выявлено, что более половины рассматриваемых случаев прохождения Cb относятся к 6 типам (рис.1) и включают в себя 1–3 последовательных возмущения. Теоретически их можно объяснить прохождением вертикального или наклон-

ного диполя/триполя. Остальные более сложные типы вариаций *E* объясняются суперпозицией электрических полей нескольких систем зарядов.

Для проверки зависимости отклика в электрическом поле от конфигурации Cb из рассматриваемых случаев Cb отобраны случаи, совпадающие по времени с дневными пролётами MODIS (КА Тегга и Aqua). Количество отобранных случаев составило 85. Установлено: с одиночными внутримассовыми Cb связанны, как правило, 1–3 последовательных возмущения E с общей длительностью менее 1 часа; Cb распространяющиеся в системе атмосферного фронта и представляющие собой конгломераты мультиячейковых облаков, характеризуются целой серией непродолжительных возмущений, общая длительность которых составляет несколько часов; прохождение Cb в составе МКК характеризуется 1–2 возмущениями противоположной полярности, длительность каждого из которых может превышать 1 час.



Рис. 1. Типы вариаций *E* во время прохождения *Cb. E*₁, *E*₂ — граничные значения отрицательного и положительного возмущений.

- Bennett A.J., Harrison R.G. Atmospheric electricity in different weather conditions / // Weather. 2007. V.62, №10. P. 277-283.
- Bennett A.J., Harrison R.G. Variability in surface atmospheric electric field measurements // J. Phys.: Conf. Ser. 2008. V.142. 012046
- MacGorman D.R., Rust W.D. The Electrical Nature of Storms // New York: Oxford University Press, 1998. 432 p.
- Rakov V.A., Uman M.A. Lightning: Physics and effects –Cambridge University Press, 2003. 687 p.
- 5. ВНИИГМИ-МЦД. Доступ к данным. Основные метеорологические параметры (сроки). Электрон. дан. URL:http://aisori.meteo.ru/ClimateR (дата: 21.02.2015).
- LAADS Web. Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System. Data. Электрон. дан. URL: http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/ (дата: 14.03.2015).

Оценка антропогенного воздействия на параметры глобальной электрической цепи у поверхности земли

<u>А. А. Редин</u>, Г. В. Куповых, Т. В. Кудринская Южный федеральный университет, Таганрог

В работе рассматривается нестационарная электродинамическая модель турбулентного приземного слоя атмосферы при наличии многократно заряженных аэрозольных частиц с учетом создаваемого ими тока [1]. Модель включает ионизационно-рекомбинационные уравнения для легких ионов с учетом их взаимодействия с аэрозольными частицами, уравнения турбулентного переноса тяжелых ионов, образовавшихся в результате этого взаимодействия, и уравнение для напряженности электрического поля с учетом концентраций легких и тяжелых ионов.

В результате решения соответствующей начально-краевой задачи получены и исследованы пространственно-временные характеристики приземного слоя в зависимости от концентраций аэрозольных частиц, степени турбулентного перемешивания, степени ионизации воздуха, значений электрического поля у поверхности земли, размера аэрозольных частиц и числа зарядов них. Отдельно рассмотрены вопросы о характерных временах установления стационарного электрического состояния приземного слоя атмосферы в условиях сильного аэрозольного загрязнения и сравнения результатов модельных расчетов с экспериментальными данными.

Анализ результатов расчетов показал, что при значениях концентраций аэрозольных частиц $N = 10^{10}$ м⁻³ компонента плотности электрического тока, создаваемая тяжелыми ионами, пренебрежимо мала, тогда как при $N = 10^{12}$ м⁻³ компоненты плотности тока, создаваемые легкими и тяжелыми ионами, становятся практически равными. Показано хорошее согласие полученных результатов с теоретической оценкой вклада заряженных аэрозольных частиц в электрическую проводимость, приведенной в работе [1].

Таким образом, полученные результаты позволяют оценить антропогенное воздействие на параметры глобальной электрической цепи у поверхности земли, что может использоваться для развития моделей глобальной электрической цепи.

Литература

1. *Морозов В.Н.* Теория электрических явлений в атмосфере / В.Н. Морозов, Г.В. Куповых. – Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 332 с.

Вариации удельного заряда сальтирующих песчинок в конвективных условиях

 Γ . И. Горчаков¹, В. М. Копейкин¹, А. В. Карпов¹, А. А. Титов², А. О. Серегин², <u>А. В. Соколов¹</u>, Д. В. Бунтов¹, Г. А. Кузнецов¹

¹ Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН, Москва ² Московский государственный университет приборостроения и информатики, Москва

Влияние опустыненных территорий на процессы в Глобальной электрической цепи до сих пор недостаточно изучено, несмотря на аномально высокую электризацию ветропесчаного потока.

В настоящее время большой интерес представляют оценки роли электрических сил при переносе сальтирующих песчинок. Ускорение песчинки электрической силой определяется произведением удельного заряда песчинки (отношение заряда к массе) и напряженности электрического поля. Согласно данным [1] напряженность электрического поля в ветропесчаном потоке вблизи подстилающей поверхности (на высоте 1,7 см) достигала +166 кВ/м. Авторами [1] было получено единственное значение удельного заряда сальтирующих песчинок: +60 мкКл/кг. В августе 2011 г. на опустыненной территории в Астраханской обл. нами были выполнены три серии измерений удельного заряда сальтирующих песчинок [2], которые показали, что удельный заряд сальтирующих песчинок может меняться в сравнительно широких пределах.

В 2014 г. на опустыненной территории в Калмыкии выполнены синхронные измерения флуктуаций электрического тока сальтации и концентрации сальтирующих песчинок в конвективных условиях, при которых реализуется всплесковый режим сальтации и генерации электрических токов. Для всплесков длительности порядка минуты определялся накопленный заряд и суммарная концентрация сальтирующих песчинок. Удельный заряд сальтирующих песчинок в конвективных условиях варьировал примерно от 10 до 150 мкКл/кг (среднее значение +48.5 мкКл/кг).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 14-05-00523).

- Schmidt D.S., Schmidt R.A., Dent Y.D. Electrostatic force on saltating sand // J.Geophys.Res. 1998. Vol. 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 //Доклады АН. 2014. Т. 456, № 4. С. 476–480.

Возмущения электрического и инфразвукового полей, вызванные источниками природного и техногенного происхождения

<u>С. П. Соловьев</u>, Ю. С. Рыбнов, В. А. Харламов, А. В. Крашенинников Институт динамики геосфер РАН, Москва

Целый ряд природных и техногенных явлений сопровождается возникновением акустико-гравитационных волн и возмущений атмосферного электрического поля. Основное внимание уделено исследованию возмущений электрического и инфразвукового полей, вызванных приближением и прохождением атмосферных фронтов, прохождением солнечного терминатора, микробаромами, генерируемыми колебаниями водной поверхности. Приведены данные натурных наблюдений инфразвуковых колебаний давления и вариаций напряженности атмосферного электрического поля, полученные в стационарных пунктах на территории ИДГ РАН в г. Москва, на территории Геофизической обсерватории «Михнево», а также во время полевых наблюдений в районе Байкальской рифтовой зоны.

В период прохождения атмосферных фронтов изменение метеорологических параметров (давление, температура и т.д.) и изменение атмосферного электрического поля тесно связаны между собой. В частности, прохождение атмосферного фронта сопровождается возникновением значительных по амплитуде низкочастотных вариаций давления и вертикальной компоненты электрического поля. Известно также, что конвективная грозовая облачность является потенциальным источником акустико-граитационных волн, которые могут регистрироваться на больших расстояниях от источника. Анализ экспериментальных данных показал, что перед грозовыми дождями в тихую, безветренную погоду возникают длиннопериодные (с периодами в несколько минут) воздушные волны и сопутствующие им возмущения напряженности электрического поля с характерной формой колебаний. Эти колебания регистрируются за относительно длительный период времени (от 1 часа до 3 часов) до момента прохождения атмосферного фронта над местом установки датчиков.

Значительное влияние на процессы в атмосфере и ионосфере Земли оказывает эффект солнечного терминатора. Проявляется этот эффект и в изменениях напряженности атмосферного электрического поля в приземном слое атмосферы: величина E_z начинает возрастать после восхода Солнца, с некоторым запаздыванием достигает максимума и затем к полудню уменьшается. Наряду с этим в отдельные дни в условиях хорошей погоды регистрируются и синхронные инфразвуковые колебания давления и напряженности электрического поля. Увеличение амплитуды вариаций давления и E_z имеют хорошо выраженный колебательный характер с периодами

близкими к частоте Брента-Вяйсяля, что указывает на взаимосвязь протекающих процессов.

На больших водных акваториях при наличии ветра, например, при приближении циклона, может наблюдаться процесс возникновения микробаром, которые представляют собой звуковые волны, генерируемые колебаниями водной поверхности. Микробаромы имеют период от 2 до 10 секунд, а их амплитуда колеблется от долей до единиц Па. Измерения инфразвуковых вариаций давления и напряженности электрического поля проводились в полевых условиях в нескольких пунктах расположенных на расстоянии ~50 км от оз. Байкал. Анализ данных метеостанции Иркутска и метеостанции, установленной в месте проведения измерений, показал, что появление микробаром связано с усилением ветра над водной поверхностью. Волны на Байкале, по-видимому, начали приобретать упорядоченный характер, а их амплитуда и период значительно увеличились. При возникновении микробаром записи вариаций давления и $E_{r}(t)$ изменились по сравнению с предшествовавшим периодом, когда записи имели вид типичный для условий хорошей погоды. В спектрах инфразвуковых колебаний давления и вариаций Е_z появились отчетливо выраженные пики на частотах соответствующих диапазону микробаром. В процессе продвижения циклона над акваторией оз. Байкал происходило смещение максимума спектрального пика в область более низких частот при одновременном увеличении его интенсивности. Приблизительно за 2 часа пик плавно сместился до частот 0,35-0,4 Гц. В следующие 4 часа наблюдалось стабильное положение пика на этих частотах. После чего на спектрограммах пик больше не наблюдался.

Взрывы зарядов взрывчатых веществ являются одним из источников воздушных волн в атмосфере и приводят к локальным возмущения атмосферного электрического поля. Серии экспериментов, проведенные в полевых условиях, показали, что резкое изменение электрического поля возникало в момент прихода воздушной волны к месту установки датчиков поля. Наблюдалась приблизительная пропорциональность амплитуды возмущений электрического поля, параметров акустической волны и концентрации заряженных частиц в приземном слое атмосферы. Получены теоретические оценки амплитуды возмущений напряженности электрического поля, исходя из параметров воздушной волны, рассмотрены два случая: длина низкочастотной акустической волны много меньше характерного размера турбулентного электродного слоя (случай взрывов зарядов ВВ) и наоборот случай генерации микробаром. Расчетные значения амплитуды возмущений напряженности электрического поля в обоих случаях соответствует величинам, зафиксированным при проведении наблюдений.

Связь параметров грозовой активности со структурой погодных систем

Б. М. Шевцов¹, Е. Ю. Поталова², М. С. Пермяков², <u>Н. В. Чернева</u>¹ ¹ Институт космофизических исследований и распространения радиоволн (ИКИР) ДВО РАН, Паратунка, Камчатский край, Россия ² Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева (ТОИ ДВО РАН)

Синоптические и мезомасштабные циклонические системы над океаном и морями часто сопровождаются грозовой активностью, интенсивность и пространственное распределение которой модулируется динамической структурой этих систем. Методика, позволяющая связывать параметры грозовой активности со структурой погодных систем над океанами и морями, с интенсивностью и формами мезомасштабных образований в этих системах, выделяемых по полям вихря приводного ветра скаттерометров и по спутниковым изображениям в видимом и инфракрасном диапазоне, рассматривается на примере тропических циклонов (ТЦ) 2005-2013 годов, демонстрируя связи частоты и плотности молниевых разрядов в области влияния ТЦ с использованием данных Всемирной сети локализации молниевых разрядов (World Wide Lightning Location Network, WWLLN). В зрелых ТЦ в распределении разрядов и в полях грозовой активности можно выделить типичные для конвективной облачности структуры, представляющие собой части кольцевых или спиральных образований мезометеорологического масштаба. В день максимальной интенсивности, когда ТЦ достигает интенсивности тайфуна, число и плотность разрядов более чем в два раза возрастает по сравнению с предшествующими днями углубления ТЦ. Гистограммы распределения молниевых разрядов демонстрируют суточный ход с максимумом в вечернее (местное) время.

Приведенные предварительные результаты показывают возможности сети WWLLN в мониторинге погодных систем с достаточно интенсивной влажной конвекцией с грозовой облачностью. Расширение сети станций WWLLN в северо-западной части Тихого океана может сделать её важным дополнительным пассивным дистанционным инструментом слежения за тропическими циклонами — штормами и тайфунами и основой новых методик их исследования.

Работа выполнена при поддержке российско-американского гранта CRDF-14-007 в области фундаментальных исследований ДВО РАН и Американского фонда гражданских исследований и развития (АФГИР) по со-глашению RUG1-7084-PA-13.

Интенсификация конвективных процессов в регионах Северной Евразии в условиях изменения климата по данным наблюдений, реанализа и модельным расчётам

<u>А. В. Чернокульский</u>, М. В. Курганский, И. И. Мохов Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН, Москва

Одним из важных региональных последствий глобальных климатических изменений является интенсификация конвективных процессов, в том числе молниевой активности, на территории России, обусловленная ростом влагосодержания и уменьшением статической устойчивости атмосферы.

В работе рассмотрены изменения различных критериев интенсивности атмосферных конвективных процессов в регионах Северной Евразии на основе данных станционных наблюдений и систем реанализа (для современного климата), а также результатов численного моделирования с использованием климатических моделей семейства СМІР5 при разных сценариях антропогенного воздействия (для проекций климата на ближайшие десятилетия).

Проанализированы изменения повторяемости грозовых событий конвективных форм облачности (кучевых и кучево-дождевых). Исследованы случаи возникновения воздушных смерчей на территории Северной Евразии (в частности, подробно проанализированы случаи возникновения смерчей в Ханты-Мансийске в 2012 г. и в Янауле в 2014 г.). Проведен анализ межгодовой изменчивости индексов конвективной неустойчивости. Наряду с доступной энергией конвективной неустойчивости (САРЕ) предложено использовать простой индекс («индекс 3D»), основанный на приземных данных о температуре и влажности воздуха. Получена статистически значимая положительная корреляция индекса 3D и индекса САРЕ, а также показана принципиальная возможность использования индекса 3D в качестве диагностической оценки риска возникновения воздушных смерчей.

Выявлен положительный тренд повторяемости кучево-дождевых облаков и молниевых событий, а также значений индексов конвективной активности. Положительная динамика конвективной активности отмечена как по данным для современного климата, так и по результатам численного моделирования для климата ближайших десятилетий.

Интенсификация конвективных процессов может вести к более частому возникновению таких опасных гидрометеорологических событий, как сильные ливневые дожди и связанные с ними наводнения, образованию воздушных смерчей (торнадо). Рост молниевой активности может вести к росту числа природных пожаров.

МОНИТОРИНГ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ — НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И БАЗЫ ДАННЫХ

Аэроэлектрические и аэрофизические наблюдения на геофизической обсерватории «Борок»

С. В. Анисимов, <u>Э. М. Дмитриев</u>, К. В. Афиногенов, А. В. Гурьев Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

Основой геофизических исследований являются результаты обсерваторских геофизических наблюдений. При этом, для всестороннего изучения процессов в глобальной электрической цепи необходима непрерывная цифровая регистрация не только аэроэлектрических, но и аэрофизических, метеорологических и геомагнитных полей. Именно такой комплексный характер носит геофизический мониторинг на Геофизической обсерватории «Борок» — филиале Института физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН (ГО «Борок» ИФЗ РАН). Обсерватория [58° 04' N; 38° 14' Е] находится в районе с низким уровнем техногенного электромагнитного и естественного сейсмического шума, вдали от источников индустриального загрязнения, что дает возможность изучать природные геофизические поля. Измерительный комплекс (рис. 1) наряду с геомагнитными наблюдениями, ведущимися с основания обсерватории (1957 г.), обеспечивает ряд аэроэлектрических и аэрофизических наблюдений. Оперативный доступ к результатам обсерваторских наблюдений осуществляется через локальную сеть сбора данных и базу данных ГО «Борок» ИФЗ РАН.



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

К приборам для аэроэлектрических наблюдений относятся антенна «токовый коллектор» в форме разомкнутого кольца диаметром 300 м для измерения плотности вертикального аэроэлектрического тока атмосферы (чувствительность ~ 10^{-13} Å/м², динамический диапазон 10^{-13} – 10^{-9} Å/м²) и электростатический флюксметр для измерения вертикального электрического поля атмосферы (динамический диапазон ~ 80 дБ; уровень шума на частоте 1 $\Gamma_{\rm II}$ ~ 0,1 В/ $\Gamma_{\rm II}^{1/2}$). Для измерения объемной активности (OA) радиоактивных газов — основных источников ионизации в приземной атмосфере — используются сейсмическая радоновая станция «СРС-05» (измерения ОА²²²Rn и ²²⁰Rn в диапазоне 20 – 2.10⁴ Бк/м³) и радиометр «AlphaGuard PQ2000» (измерение объемной активности ²²²Rn в воздухе в диапазоне 3 – 2·10⁶ Бк/м³). Метеорологические наблюдения проводятся с помощью автоматической цифровой метеостанции «WS-2500» (измерения температуры воздуха, давления, влажности, осадков, скорости и направления горизонтального ветра) и цифрового ультразвукового метеокомплекса «Метео-2М» (измерения температуры воздуха в диапазоне -40-+50 °C, пульсаций скорости ветра в диапазоне 0,2 - 30 м/с, относительной влажности воздуха и атмосферного давления). Метеорологический допплеровский акустический локатор (содар) «Волна-3» измеряет вертикальные профили трех компонент скорости ветра до высот 300 – 800 м. Метеорологический температурный профилемер «МТП-5» определяет высотные профили температуры нижней атмосферы в диапазоне -80 - +45 °C до высот 1000 м с разрешением 50 м по высоте 5 мин по времени. В измерительный комплекс входят также пиранометр «СМР-3» для измерения полной плотности потока солнечного излучения в полосе частот ~ 305-2800 нм и высокоточный жидкостной микробарограф для регистрации инфразвуковых вариаций давления с высокой чувствительностью (~ 150 мВ/Па). Геодезический двухчастотный GPS/ГЛОНАСС приемник Leica GX1220+ с высокоточной спутниковой антенной Leica AR25 позволяет проводить высокоточные геодезические измерения и оперативную оценку полного электронного содержания ионосферы.

Работа по развитию измерительного комплекса ГО «Борок» ИФЗ РАН ведется при поддержке РФФИ, (гранты № 12-05-00820, № 12-07-00575, № 15-05-04960, № 13-05-12060) и Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН №7.

- Анисимов С.В., Афиногенов К.В., Гурьев А.В., Дмитриев Э.М., Прохорчук А.А. База данных Геофизической обсерватории «Борок» для аэроэлектрических исследований // Мат-лы Всероссийской конференции «Глобальная электрическая цепь», Борок 28 октября – 01 ноября 2013. ГО «Борок» ИФЗ РАН, Ярославль. 2013. С. 82–83.
- Анисимов С.В., Афиногенов К.В., Гурьев А.В., Дмитриев Э.М. Атмосферные электрические наблюдения на Геофизической обсерватории «Борок» / в сб. трудов VII Всерос-кой конф. по атмосферному электричеству. С.-Петербург. 2012. С. 24–26.

Грозы и динамика электрического поля атмосферы

А. Х. Аджиев, Р. А. Гятов, <u>С. Т. Казакова</u> Высокогорный геофизический институт, Росгидромет, Нальчик

Грозовые процессы и сопутствующие их явления представляют реальную угрозу для многих отраслей экономики и населения. Для предотвращения опасных природных явлений необходима современная система мониторинга грозовых явлений, а также глубокое изучение происходящих при этом процессов.

Существуют два основных способа мониторинга грозовой активности. Один из них основан на обнаружении молниевых разрядов различными техническими средствами, а другой — на измерении статической компоненты электрического поля у поверхности земли (Montanya, 2004). В ряде работ [1–2, Vonnegut (1983)] отмечается, что при грозовых процессах имеет место значительный рост значений напряженности электрического поля по сравнению с ясной погодой. Суточный ход значения напряженности электрического поля атмосферы служит объектом разделения глобальных и локальных факторов атмосферного электричества. Поэтому он наиболее изучен из всех закономерностей атмосферного электричества [1–2].

Измерения напряженности электрического поля вблизи поверхности земли с целью исследования грозовой активности проводились с давних времен: Wilson, (1920); Schonland and Craib, (1927); Wormell, (1930); Workman et al, (1942); Krehbiel et al, (1983); Maier and Krider, (1986); Jacobson and Krider, (1976); Livingston and Krider (1978); Mohanty and Pradeep Kumar, (2004); Pawar and Kamra (2004); Pawar and Kamra, 2009;Gopalakrishnan, 2011.

На Северном Кавказе мониторинг грозовой активности с помощью грозорегистраторов LS8000 совместно с измерениями напряженности электрического поля проводится Высокогорным геофизическим институтом (г. Нальчик) с 2008 г.[3].

В работе также обсуждаются результаты измерений напряженности электрического поля атмосферы при разрядах молний различных типов полярностей.

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

- измерители электрического поля атмосферы EFM550 фирмы Vaisala;

- грозорегистраторLS8000, также фирмы Vaisala;

 программное обеспечение для решения задач измерения, передачи и визуализации значений напряженности электрического поля атмосферы и параметров молниевых разрядов. Аппаратно-программный комплекс EFM550 производит измерение значения напряженности электрического поля атмосферы с частотой 2 Гц, т.е. каждые 0,5 секунды. Максимальные и минимальные значения напряженности, которые может измерить EFM550, составляют ±10 000 В/м. Измеренные значения сохраняются на жестком диске компьютера. По этим данным можно изучать суточные и сезонные вариации напряженности электрического поля атмосферы с помощью программного обеспечения аппаратно-программного комплекса EFM550.

С помощью системы измерителя электрического поля получен ход напряженности за эти дни и на них были наложены количество разрядов облако-земля и облако-облако, полученных при помощи грозопеленгатора LS 8000.Врезультате таких исследований получены следующие данные.

На рис. 1 показаны совмещенные данные напряженности электрического поля атмосферы с данными количества молниевых разрядов над выбранной территорией, для дней с грозами. На рисунке значения напряженности электрического поля атмосферы, соответствующая ось с левой стороны. В виде гистограммных столбиков показаны количества молниевых разрядов над выбранной территорией, соответствующая ось с правой стороны.



Рис. 1. Ход напряженности электрического поля и количество разрядов облако-облако и облако-земля (сумма положительных и отрицательных) от времени, за 6 мая 2013 года (______ — количество разрядов облако-облако, _____ — количество разовяды облако-земля).

Всего за исследуемые дни (6, 13, 16 и 17 мая 2013 года) в зоне действия измерителя (территория ограничена окружностью радиусом 10 км, в точке установки EFM 550) зарегистрированы около 3928 разрядов. Из них «VHF» — 3610, «LF+» — 64, «LF-» — 254. Согласно полученным данным разряды облако-земля происходят, как правило, при полях, превышающих ±4 кВ/м. С увеличением поля их количество возрастает.

Облачные разряды фиксируются при напряженностях поля у поверхности земли превышающих \pm 0,5 кВ/м. Их количество также растет с увеличением абсолютного значения величины поля. Доля наземных разрядов молний (положительных и отрицательных) согласно этим данным составляют около 8% от общего их количества. Доля положительных молний составляет 20% от общего количества разрядов типа облако–земля. Нами выполнен поиск корреляционных взаимосвязей между значением напряженности поля и характеристиками: количество разрядов «LF+», «LF-» и «VHF».

Исследованы статистическая зависимость между значениями напряженности E в интервале от -10 кВ/м до +10 кВ/м и количеством возникающих положительных N^+ , отрицательных молний N^- «облакоземля» и внутри облачных молний N. Значения полученных коэффициентов корреляции находятся в диапазоне 0,7–0,85.

- Имянитов И.М., Шифрин Н.С. Современное состояние исследований атмосферного электричества // Успехи физических наук. 1962. т.LXXVI. вып. 4. С. 593– 642.
- Despiau S. Electric field and ionic concentration variations observed at ground level in stormconditions // Ann. Geophys. 10 (1992). P. 75–81.
- 3. Аджиев А.Х., Тапасханов В.О., Стасенко В.Н. Система грозопеленгации на Северном Кавказе // Метеорология и гидрология. №1. 2013. С.5–11.

Оценка возможности применения локальных измерителей тока для исследования естественного электрического поля Земли

А. Н. Камшилин, <u>П. А. Казначеев</u> Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва

Исследование естественного электрического поля Земли представляет существенный интерес в свете изучения глобальной электрической цепи. Традиционно электрические поля естественного происхождения измеряются при помощи электродных пар. В настоящем докладе рассматривается возможность применения для этой цели локального измерителя тока (ЛИТ) — прибора, измеряющего плотность тока в земле.

ЛИТ закапывается в землю и измеряет ток, протекающий через измерительное окно — сквозное отверстие в корпусе, также заполненное землей



Рис. 1. Внешний вид ЛИТ. 1 – провод с выводом сигнала; 2 – герметичный корпус;

3 – измерительное окно.

Литература

(рис. 1). Этот ток пропорционален плотности тока в среде [1]. У используемых нами ЛИТ чувствительность составляет величину порядка 1– 100 В/(А/м²) на частотах около 1 Гц [2]. Максимально достижимый динамический диапазон сигнала определяется используемым АЦП и может составлять величину порядка 60–120 дБ (изменение сигнала в 10³–10⁶ раз). Поэтому минимальная измеряемая плотность тока может составлять величину около 5·10⁻⁸ А/м².

Средняя величина плотности теллурических токов в «спокойные» периоды составляет величину $2 \cdot 10^{-6} \text{ A/m}^2$, а в периоды возмущений может достигать $1 \cdot 10^{-3} \text{ A/m}^2$ [3]. Такие плотности тока могут быть измерены при помощи ЛИТ, но необходимо помнить, что фактический динамический диапазон будет определяться шумами и помехами в реальных полевых условиях.

- 1. *Казначеев, П.А.* Измерение локальной плотности тока в земной коре / П.А. Казначеев, А.Н. Камшилин, В.В. Попов // Вестник МЭИ. 2011. № 5. С. 57–63.
- Казначеев, П.А. Разработка и исследование комплекса средств активного геоэлектрического мониторинга с использованием локальных измерителей тока: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.10 / Казначеев Павел Александрович. М., 2014. 28 с.
- Естественные электрические токи в Земле : отчёт о НИР / Манштейн А.К. Новосибирск, ИНГГ СО РАН, 2007. 86 с.

Оценка интенсивности волновых процессов в атмосфере по данным микробарографа и датчика электрического поля

А. В. Кочин

Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета, Долгопрудный

Движение воздуха в атмосфере состоит из упорядоченного переноса и волновых движений различных пространственных и временных масштабов. Среди волновых процессов одним из наиболее хорошо изученных является вертикальные колебания атмосферы с частотой Брента–Вайсяля, а именно внутренние гравитационные волны (ВГВ) [1]. ВГВ играют существенную роль в вертикальном переносе энергии и являются предметом интереса, как метеорологов, так и климатологов. ВГВ были обнаружены при помощи микробарографа, который, к сожалению, подвержен помехам, которые часто маскируют сигналы от ВГВ.

Инструментами для обнаружения ВГВ и оценки их интенсивности, кроме микробарографа, являются радиолокаторы различных типов, стратосферные лидары, наземные и спутниковые радиометры различных диапазонов и ряд других дистанционных приборов. Простые и недорогие приборы для обнаружения ВГВ на наблюдательной сети отсутствуют. Данная работа направлена на разработку метода и создание подобного прибора. С целью исключения неоднозначности микробарографа его необходимо дополнить датчиками, которые также чувствительны к колебаниям атмосферы, но их мешающие факторы имеют иную природу. Таким прибором является датчик электрического поля, в показаниях которого также присутствует информация о колебаниях. Анализ совместной функции распределения данных, регистрируемых этими приборами позволяет обнаруживать ВГВ с большей достоверностью.

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. Технические характеристики и описание ДЭП приведены в работе [2]. Микробарограф был изготовлен на базе дифференциального датчика давления с 16-ти разрядным АЦП. 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 точностью до минуты. Обработка данных осуществлялась методом Вейвлет-анализа функции взаимной корреляции



данных микробарографа и датчика электрического поля. Пример наблюдаемых спектров приведен на рис.1.

Рис. 1. Вейвлет-спектры флуктуаций давления (слева вверху), автокорреляционной функции флуктуаций давления (справа вверху), флуктуаций электрического поля (слева внизу) и функции взаимной корреляции флуктуаций давления и электрического поля (справа внизу)

Вейвлет-спектр функции взаимной корреляции флуктуаций давления и электрического поля (ВВ-ВКФ) показал хорошие результаты в плане исключения мешающих сигналов, воздействующих как на микробарограф, так и на датчик электрического поля. Полученные данные использовались для оценки термических характеристик атмосферы, так как соотношение для частоты Брента-Вайсяля позволяет вычислить величину вертикального градиента температуры в атмосфере по измеренным периодам ВГВ. Расчет по максимумам ВВ-ВКФ показал, что величина рассчитанного градиента не только соответствует величинам градиентов, определенным по данным радиозондирования, но и имеют схожую тенденцию к изменению при прохождении атмосферных фронтов.

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

Результаты наблюдений за атмосферно-электрическими параметрами приземного слоя в высокогорной зоне Приэльбрусья

<u>Т. В. Кудринская</u>¹, А. А. Редин¹, Г. В. Куповых¹, А. Х. Аджиев² ¹ Южный федеральный университет, Таганрог ² Высокогорный геофизический институт, Росгидромет, Нальчик

Электрическое состояние приземного слоя атмосферы определяется физическими процессами как глобального, так и регионального, местного масштаба. В этом отношении интересны исследования атмосферно-электрических величин в высокогорных пунктах, так как позволяют исключить антропогенную составляющую в формировании электрического поля, а также характеризуются низким уровнем радиоактивности приземного слоя. Задачей исследования явилось измерение градиента потенциала электрического поля атмосферы и концентрации легких ионов, нахождение их характерных значений и выявление факторов, определяющих изменения этих величин.

В работе исследуются данные измерений градиента потенциала электрического поля атмосферы (*E*) и концентраций легких ионов (n_+ и n_-), выполненных на горной станции Приэльбрусья Пик Чегет (3040 м н.у.м., 43°16'N, 42°30'E) в летние месяцы. Для регистрации напряженности электрического поля использовался измеритель электрического поля EFM 550 фирмы Vaisala, для измерения концентраций легких ионов использовался счетчик аэроионов «Сапфир 3М». Одновременно проводились наблюдения метеорологических параметров — автоматическая регистрация значений метеоданных с помощью метеостанции. По результатам наблюдений исследована динамика суточного хода концентрации легких ионов и напряженности электрического поля. В таблице приведена описательная статистика наблюдаемых величин.

					1 1	
	День			ночь		
	n_+	<i>n</i> _	E	n_+	<i>n</i> _	E
Среднее	0,91	0,72	755	0,94	0,72	525
Максимальное	0,25	0,09	1200	0,26	0,02	1260
Минимальное	1,65	1,36	360	1,46	2,83	300
Стандартное отклонение	0,26	0,33	168	0,22	0,23	156

Таблица. Средние значения атмосферно-электрических параметров

Величина концентрации легких ионов имеет стабильно высокие значения, как в ночных, так и в дневных условиях, что обусловлено чистотой атмосферы.

В работе исследуется влияние метеорологических условий на значения атмосферно-электрических параметров. Рассматривается изменение величин концентраций ионов и напряженности поля: поведение концентраций легких полярных ионов связано с изменением градиента потенциала электрического поля атмосферы.

Создание сети грозопеленгации в Республике Казахстан для исследования атмосферно-литосферных связей

<u>А. Ю. Лозбин</u>¹, А. С. Инчин¹, Ю. Р. Шпади¹, Р. Ж. Быкаев¹, Г. Я. Хачикян² ¹Институт космической техники и технологии, Алматы, Республика Казахстан ²Институт ионосферы, Алматы, Республика Казахстан

В работе рассматривается проект создания сети грозопеленгации для исследования атмосферно–литосферных связей в регионе Северного Тянь-Шаня. Проект разрабатывается в рамках программы научных исследований Министерства образования и науки Республики Казахстан на 2015–2017 гг.

Цель проекта — создать систему электромагнитных измерений для грозопеленгации и исследования атмосферно–литосферных связей, состоящую из сети электромагнитных датчиков и целевого комплекса по приему, обработки данных и выдачи их конечному пользователю.

Грозовая деятельность планеты отвечает за существование и эффективность работы глобальной электрической цепи (ГЭЦ). В рамках концепции ГЭЦ, каждая разряд молнии обеспечивает замыкание конкретного витка цепи, в результате чего в данном витке появляется ток проводимости. При замыкании витков ГЭЦ в пространстве «литосфера–ионосфера», электрические токи в ионосфере «чувствуют» возмущения электрического поля в районе подготовки очага землетрясения [1], на чем основаны современные методы ионосферного прогноза землетрясений [2]. При замыкании витков ГЭЦ в пространстве «магнитопауза–литосфера», токи в земной коре «чувствуют» возмущения на магнитопаузе, обусловленные электрическим полем солнечного ветра, что приводит к появлению связи между вариациями солнечной активности и геодинамической (сейсмической) активностью планеты. На основании этих знаний, возникает предположение, что каждое землетрясение может иметь «свою молнию». Причем, эта молния может возникнуть не над очагом землетрясения, а в любом районе планеты.

Для исследования таких процессов необходима информация о грозовой активности в различных регионах планеты. Республика Казахстан в этом отношении является «белым пятном». В связи с чем планируется создание сети грозопеленгации в казахстанской части Северного Тянь-Шаня.

- 1. *Harrison R.G., Aplin K., Rycroft,M.* Atmospheric electricity coupling between earthquake regions and the ionosphere // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2010. 72 (5–6). P. 376–381.
- 2. *Pulinets, S.A., Boyarchuk K.A.* Ionospheric Precursors of Earthquakes. Springer Berlin Heidelberg New York. 2004, 316 p.

О возможностях самолета-метеолаборатории ЯК-42 «Росгидромет» при натурных исследованиях глобальной электрической цепи

<u>Ю. П. Михайловский</u>, А. А. Синькевич, Л. Г. Соколенко, Б. Х. Зайнетдинов, И. Б. Попов

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова, Росгидромет, С.-Петербург

Созданный самолет-лаборатория ЯК-42 «Росгидромет» оборудован уникальным комплексом аппаратуры для исследований атмосферы, облаков и подстилающей поверхности. Составной частью этого комплекса является аппаратно-программный комплекс (АПК-7) для измерения атмосферноэлектрических характеристик (АЭХ): напряженности электрического поля (E) и полярных электрических проводимостей (L⁺ и L⁻). АПК-7 включает в себя 6 самолетных приборов для измерения Е (СПНП), прибор для измерения L^+ и L^- (СИЭВ) и активный компенсатор заряда самолета (АКЗС), позволяющий целенаправленно менять заряд самолета. СПНП представляет собой ротационный флюксметр, измеряющий индуцируемый на измерительной пластине заряд. СИЭВ представляет собой 2 аспирационных конденсатора. АКЗС является высоковольтным источником напряжения (до15 кВ) которое приводит к коронированию острий. Разработанные образцы успешно прошли лабораторные испытания и сертификацию. Система 6 датчиков СПНП позволяет определить полный вектор электрического поля, собственный заряд самолета-лаборатории и оценить погрешности измерений Е [1]. Расположение датчиков на фюзеляже представлено на Рисунке 1а, датчики СИЭВ расположены по правому борту вблизи правого бокового датчика СПНП.

Сложности измерений E в атмосфере с помощью самолетов обусловлены существенным искажением поля атмосферы носителями датчиков. Имеются два искажающих фактора — сам самолет, как металлическое тело сложной формы, и собственный заряд самолета. Для случая эквипотенциальной поверхности фюзеляжа (металлический самолет без диэлектрических элементов и покрытий) и однородного электрического поля задача имеет решение. Измерения в «чистой» атмосфере, вне облаков, осадков и другого аэрозоля при разумном размещении датчиков СПНП могут считаться удовлетворяющими этим допущениям.

Господствующая в настоящее время гипотеза объясняет существование электрического поля Земли грозовой деятельностью, которая поддерживает существующий потенциал ионосферы относительно земной поверхности и компенсирует ток т.н. «хорошей погоды». Самолетное зондирование до высот 9–10 км позволит получить распределение АЭХ с высотой и оценить потенциал ионосферы и его вариации во времени и пространстве [4]. Важ-
ной задачей натурных исследований глобальной электрической цепи является также исследование токов проводимости над грозовыми облаками [2-4]. Эти измерения предъявляют повышенные требования к точности измерений Е по сравнению с аналогичными наземными, т.к. Е убывает с высотой экспоненциально. Требуемая точность должна обеспечиваться как точностными характеристиками каждого отдельного СПНП, так и технологией учета искажений, вносимых самолетом

Методические погрешности измерения L^+ и L^- могут вызываться изменением концентрации легких ионов в месте расположения датчиков СИЭВ в результате воздействия электрического поля самолета.

Предварительная проверка оборудования АПК-7 и техноло-



Рис. 1. а – Размещение датчиков СПНП на фюзеляже ЯК-42 «Росгидромет»;

 б – Изменение полярных электрических проводимостей с высотой.

гии измерения АЭХ, показали удовлетворительные результаты. Результаты измерений L^+ и L^- представлены на Рисунке 1б.

- 1. Михайловский Ю.П. О технологии контроля напряженности электрического поля атмосферы и облаков с помощью самолетов-лабораторий // Методы и устройства передачи и обработки информации, ISSN 2220-2609, № 16, г. Муром, 2014, с. 41–45.
- Михайловский Ю.П., Кашлева Л.В. Методика и результаты исследований электризации конвективных облаков с помощью самолетов // Сб. трудов ГГО «Радиолокационная метеорология и активные воздействия», ГГО, С-Пб., 2012, с. 98–114.
- Mach D.M., Blakeslee R.J., Bateman M.G., Bailey J.C. Electric fields, conductivity, and estimated currents from aircraft overflights of electrified clouds // J. Geophys. Res., 114, doi:10.1029/2008JD011495, 2009.
- 4. *Markson R*. The global circuit intensity: Its measurement and variation over the last 50 years // Bull. Amer. Meteor. Soc., 88, 223–241, 2007.

Измерения параметров глобальной электрической цепи в Арктике и Антарктике

Ю. П. Михайловский, П. Л. Стерхов

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова, Росгидромет, С.-Петербург

Проблема глобальной электрической цепи (ГЭЦ) является одним из основных вопросов атмосферного электричества [1–5]. В рамках грозовой гипотезы Вильсона, господствующей до настоящего времени, глобальным генератором электрического поля атмосферы являются грозы. Основным экспериментальным доказательством существования ГЭЦ и роли гроз в этой цепи является глобальное синхронное изменение потенциала ионосферы и, следовательно, напряженности электрического поля в атмосфере (E) и суммарной мощности грозовых генераторов. Унитарный характер суточного хода E впервые был обнаружен Карнеги над океаном и в настоящее время существование глобальных вариаций E не ставится под сомнение большинством исследователей [1, 3–5]. Синхронность унитарной вариации E в условиях «хорошей погоды» и глобальных характеристик грозовой деятельности — площади, занятой грозами или количеством гроз в данное время или количеством разрядов молний, фиксируемых оптическими датчиками со спутников — подтверждают гипотезу Вильсона [3–5].

Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова (ГГО) осуществляет функции мирового центра данных по Атмосферному электричеству. В России существует и в настоящее время существенно расширена и модернизирована сеть станций Росгидромета по наблюдению за параметрами электрического поля Земли. Помимо этих сетевых измерений силами ГГО периодически организовывались экспедиционные измерения параметров атмосферного электричества в Арктике (самолетные и наземные) [1, 2], на кораблях и в Антарктике. Все эти измерения объединены техническими средствами, прошедшими метрологическую аттестацию, и методикой, выдержавшей проверку временем. В настоящем сообщении представлены измерения на острове Врангеля (Арктика) и на станции Восток (Антарктика), проведенные П.Л.Стерховым в 1988–1992 гг.

Как уже отмечалось, измерения на станции Восток осуществлялись с помощью методик и приборов ГГО. Для измерения E на 2-х уровнях — 0 м. и 1,8 м — использовались электростатические флюксметры «Поле-2», для измерения положительной и отрицательной электропроводности воздуха на высоте 1,8 м. использовался аспирационный конденсатор «Электропроводность» [2]. . Непрерывная регистрация измерений на самописец «КСП-12» каждого параметра осуществлялась раз в 72 секунды. Регулярно раз в сутки или по необходимости проводился контроль чувствительности приборов согласно инструкции по эксплуатации. Датчики были размещены таким образом, чтобы минимизировать влияние на датчики других датчиков и антенн, строений и выбросов дизель-генераторов. Фото размещения зданий и сооружений на станции «Восток» представлено на Рисунке 1.



Рис. 1. Размещение сооружений и оборудования на станции «Восток».

Синхронные измерения E в двух уровнях позволили получить новые данные в исследованиях электродного эффекта и «редукционного множителя». Кроме того, такое расположение позволяло отличать относительно высокочастотные колебания E вызванные «поземкой» от аналогичных, вызываемых процессами в атмосфере или в более высоких слоях [1].

Анализ полученных данных подтвердил проявление в измерениях унитарной вариации. Причем характерные суточные изменения проявляются как при каждом отдельном измерении в условиях «хорошей погоды», так и при осреднении.

Для исследования связей параметров электрического поля с магнитоионосферными явлениями были отобраны случаи синхронных измерений электрических и магнитных полей. Обнаружены устойчивые корреляционные связи *E* с вертикальной составляющей напряженности магнитного поля *H*_z.

- 1. Имянитов И. М., Павлюченков Г.Ф., Чубарина Е.В., Шварц Я.М. Электрические характеристики атмосферы над Арктикой // Атмосферное электричество, ГМИ, Л., 1976, с. 87–92.
- Мартынов А.А., Михайловский Ю.П. Результаты самолетных измерений атмосферного электричества в Арктике весной 1989 г. // 4 Вс. симпозиум по Атм. Эл-ву, Нальчик, с. 62–63, 1990.
- 3. *Anisimov S.V., Davydenko S.S., Mareev E.A.* Modern Understanding of the Global Circuit Formation // XIV Int. Conf. Atmos. Elec., 2011, Brasil.
- 4. *Kasemir H*. Atmospheric electric measurements in the Arctic and Antarctic // Pure. Appl. Geophys., 100, 70–80, 1972.
- 5. *Markson R*. The global circuit intensity: Its measurement and variation over the last 50 years, Bull. Amer. Meteor. Soc., 88, 223–241, 2007.

Анализ влияния метеопараметров на измерения градиента потенциала статическим флюксметром

<u>С. И. Молодых</u>, В. М. Алешков ИСЗФ СО РАН, Иркутск

В ИСЗФ СО РАН создана система регистрации параметров атмосферного электричества и метеопараметров, которая позволяет одновременно измерять градиент потенциала электрического поля, проводимость атмосферного воздуха, вертикальный ток проводимости, температуру, влажность, атмосферное давление. В данной системе градиент потенциала электрического поля измеряется с помощью статического флюксметра.

При тестировании системы регистрации был проведен анализ влияния различных метеопараметров на измерения градиента потенциала статическим флюксметром. Обнаружено, что показания статического флюксметра зависят не только от величины градиента потенциала электрического поля но также от температуры и абсолютной влажности. В результате проведенного анализа показано, что при измерении градиента потенциала электрического поля статическим флюксметром необходимо учитывать вариации температуры и аболютной влажности.

Пассивный метод определения области предгрозового излучения облаков

<u>А. В. Панюков</u>, А. К. Богушов Южно-Уральский государственный университет, Челябинск

Обзор состояния систем пассивного мониторинга грозовой деятельности и демонстрация возможности использования систем местоопределения молниевых разрядов для пассивной радиолокации опасных метеорологических явлений представлены в работе [1]. В рамках проекта МНТЦ №1822 разработан образец однопунктового грозопеленгатора-дальномера по патенту РФ [2]. В результате проведенных полевых испытаний данного образца в период май – август 2004 г. было зарегистрировано более 2,5 млн. атмосфериков. Из них не более 10% были классифицированы как излучение от молниевого разряда, остальные были классифицированы как предгрозовое излучение.

Регистрация предгрозового излучения облаков (т.е. до первой вспышки молнии) однопунктовой системой грозолокации, для целей прогнозирования развития грозы, было обеспечено расширением динамического диапазона приемной аппаратуры и дальнейшим развитием математического и программного обеспечения. Ранее подобное предгрозовое излучение либо отфильтровывалось, либо отрабатывалось некорректно однопунктовыми системами местоопределения гроз. База данных полевых испытаний дает большой экспериментальный материал для проверки адекватности моделей грозового очага и тестирования разрабатываемых программного обеспечения и устройства. В целом результаты проекта продемонстрировали возможность и необходимость создания нового поколения систем местоопределения гроз и расширения круга решаемых ими задач [3].

- 1. Кононов И. И. Анализ однопунктовых методов пассивной локации грозового разряда / И.И.Кононов, И.Е.Юсупов, Н.В.Кандарацков // Известия вузов. Радиофизика. 2013. Т. 56, №11/12. С. 875–888.
- Пат. 2230336 РФ, МПК G01S 5/16. Однопунктовая система местоопределения гроз в ближней зоне / Панюков А. В., Файзулин Н. А., Будуев Д. В., Опубл. 10.03.2004.
- Панюков А.В., Богушов А.К. Спектрально-статистический подход к проблеме идентификации параметров положения дипольного источника электромагнитного излучения / А.В.Панюков, А.К.Богушов // VII Российская конференция по атмосферному электричеству (Санкт-Петербург, 24–28 сентября 2012). Сборник трудов. СПб: ГГО им. А.И. Воейкова. С. 179–181.

О результатах модернизации атмосферно-электрической сети станций Росгидромета

Б. Г. Зайнетдинов, <u>И. Б. Попов</u>, Л. Г. Соколенко

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова, Росгидромет, С.-Петербург

В ходе выполнения государственной программы в ГГО проведена разработка новых автоматизированных средств измерений (СИ) электрических параметров атмосферы — измерителя напряженности электрического поля «Поле-2М» (рис. 1) и измерителя удельной полярной электрической проводимости воздуха «Электропроводность-2М» (рис.2). Конструкция первичных преобразователей (датчиков) измерителей выполнена с учетом имеющегося многолетнего опыта эксплуатации аналогичных СИ разработки конца 1980-х гг., а также более ранних образцов.

Модернизированная аппаратура предназначена в первую очередь для оснащения специализированной сети станций, на которых выполняются наблюдения за приземным атмосферным электричеством. Измерения на станциях должны проводиться в непрерывном режиме с минимальным участием персонала, выполняющим периодический технический контроль и профилактику аппаратуры.

Для автоматизации измерений разработан пакет специализированного программного обеспечения, реализующий функции управления работой СИ, сбора и первичной обработки результатов измерений и оперативной передачи данных (средних минутных значений измеряемых величин) на центральный сервер в ГГО по каналам сети интернет или ведомственной сети связи Росгидромета.



Рис. 1 – Общий вид измерителя «Поле-2М». 1 – выносной блок; 2 – блок питания и сопряжения; 3 – контрольное устройство.



Рис. 2. – Общий вид измерителя «Электропроводность-2М». 1 – блок аспирационных измерительных конденсаторов; 2 – блок питания и сопряжения; 3 – сигнальный кабель; 4 – ПК с установленным СПО.

Для обеспечения надежности и единства получаемых результатов измерений создана эталонная база, проведены соответствующие государственные испытания, в результате которых утверждены типы СИ «Поле-2М» и «Электропроводность-2М».

В таблице дана информация о станциях, на которых произведена модернизация измерительной аппаратуры, а также указаны вновь созданные станции в рамках расширения наблюдательной сети.

Название станции	Координаты	Продолжительность	Дата установки
		наблюдений, лет	новой аппаратуры
Воейково	59.9 с.ш. 30.6 в.д.	65	Июнь 2013
В. Дуброво	57.7 с.ш. 60.8 в.д.	57	Июнь 2014
Иркутск	52.3 с.ш. 104.4 в.д.	55	Октябрь 2013
Южно-Сахалинск	46.9 с.ш. 142.7 в.д.	46	Сентябрь 2013
Тикси	71.6 с.ш. 128.9 в.д.	2	Сентябрь 2013
Зашеек	67.4 с.ш. 32.6 в.д.	1	Сентябрь 2014
Архангельск	64.6 с.ш. 40.5 в.д.	1	Октябрь 2014
Диксон	73.5 с.ш. 80.5 в.д.	-	Август 2015
Калининград	54.7 с.ш. 20.5 в.д.	-	Сентябрь 2015

Станции атмосферно-электрической сети Росгидромета

Таким образом, выполненные работы позволяют не только сохранить целостность имеющихся продолжительных рядов данных, но также обеспечивают задел для дальнейшего развития методов оперативного контроля электрического состояния приземного слоя атмосферы.

Измерение удельного заряда сальтирующих песчинок на опустыненных территориях

 Γ . И. Горчаков¹, В. М. Копейкин¹, А. В. Карпов¹, А. А. Титов², <u>А. О. Серегин²</u>, Д. В. Бунтов¹, Г. А. Кузнеиов¹

¹ Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН, Москва ² Московский государственный университет приборостроения и информатики,

Москва

Удельный заряд сальтирующих песчинок (отношение заряда к массе) необходимо знать при оценке воздействия электрических сил на траектории сальтирующих песчинок [1]. В [1] приведено по данным измерений единственное значение удельного заряда сальтирующих песчинок (+60 мкКл/кг). Позже было показано (при временном осреднении больше 1,5 часа), что удельный заряд сальтирующих песчинок варьирует в сравнительно широких пределах [2].

Накопленный опыт создания приборов для определения микроструктуры ветропесчаного потока и электрических токов сальтации [2] и исследования вариаций параметров ветропесчаного потока позволил разработать аппаратурный комплекс для измерения удельного заряда с высоким временным разрешением (1–10 мин). С помощью указанного комплекса в июле 2014 г. на опустыненной территории в Калмыкии выполнены синхронные измерения функции распределения сальтирующих песчинок по размерам, флуктуаций счетной концентрации сальтирующих песчинок, турбулентных пульсаций трех компонент скорости ветра и температуры воздуха, а также накопленной массы сальтирующих песчинок.

Измерения проводились, в частности, в конвективных условиях, когда наблюдался всплесковый режим сальтации. Выполнен статистический анализ вариаций скорости ветра, концентрации сальтирующих песчинок и плотности электрического тока сальтации. Рассчитаны спектры мощности флуктуаций рассматриваемых параметров ветропесчаного потока. Оценены вклады разных диапазонов частот в суммарную дисперсию флуктуаций скорости ветра, концентрации сальтирующих песчинок и электрического тока сальтации.

Полученные в полевом эксперименте данные измерений использованы при исследовании вариаций удельного заряда сальтирующих песчинок.

Работа выполнена при поддержании РФФИ (проект № 14-05-00523).

- Schmidt D.S., Schmidt R.A., Dent Y.D. Electrostatic force on saltating sand // J.Geophys.Res. 1998. Vol. 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 // ДАН. 2014. Т. 456, №4. С. 476-480.

The long-term variation of the atmospheric electric field at Vostok station (Antarctica)

<u>A. V. Frank-Kamenetsky</u> Arctic and Antarctic Research Institute, S.-Petersburg

In the paper spectral analysis of the average daily and hourly values of the atmospheric electric field and the temperature at the Vostok station (Antarctica) was carried out. The similarity of the spectra suggests the general source of these variations. These specific periods from 3 to 30 days coincide with well known periods of planetary waves [1-3].

Comparison of daily variation of the electric field at Vostok with the Carnegie data [4] for each month showed a very good agreement, especially for the summer period of the southern hemisphere

The dependence the atmospheric electric field and temperature was shown.

References

- 1. *Holton J.R.* An Introduction to Dynamic Meteorology, San Diego, Calif.: Academic, 1982.
- 2. *Dikii L.A.* Teoriya kolebanii zemnoi atmosfery (Theory of Vibration of the Earth's Atmosphere), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1969.
- Salby M.L. Survey of Planetary-Scale Traveling Waves: the State of Theory and Observations, Rev. Geophys. Space Phys., 1984, vol. 22, no. 2, pp. 209– 236.
- 4. *Harrison G.R. The* Carnegie Curve, Surv Geophys, 2013, 34:209–232 DOI 10.1007/s10712-012-9210-2

Непрерывное оптическое излучение в атмосфере во время гроз. Метод и результаты наблюдений 2013–2015 гг.

Н. С. Хаердинов Институт ядерных исследований, Москва

С начала лета 2013 г., в рамках эксперимента по изучению энергичных процессов, происходящих в грозовой атмосфере, ведётся постоянное видео наблюдение за атмосферой над комплексом измерительных приборов Баксанской нейтринной обсерватории. Цель — регистрация в оптическом диапазоне прямым наблюдением медленнотекущего типа электрического пробоя стратосферы убегающими электронами во время гроз. Определение их связи с вариациями космических лучей регистрируемых наземной установкой. Экспериментальная часть задачи предполагает синхронное измерение вариаций интенсивности вторичных космических лучей во время гроз установкой «Ковер» БНО ИЯИ РАН и наблюдение состояния средней атмосферы над установкой в оптическом диапазоне цифровыми видеокамерами, расположенными в стороне, на значительном удалении (1 км и 75 км). Теоретическая часть задачи предполагает создание метода, позволяющего по измеренным вариациям интенсивности различных компонент вторичных космических лучей выделять моменты, соответствующие возникновению условий пробоя стратосферы.

В период наблюдения 2013–2015 проводилась работа по обеспечению регулярного функционирования внешних удалённых наблюдательных пунктов расположенных в п. Нейтрино и с. Хасанья (г. Нальчик). Вёлся непрерывный визуальный просмотр видеоматериала в сжатом режиме. Из анализа следует, что половина всех гроз, видимая в Нейтрино, не видна в удалённом пункте (Хасанья) из-за плотной облачности. Ночные грозы, непосредственно над БНО — редкость (2-3 в год). В течение грозового сезона, ожидается 1–2 ночных грозы над БНО, которые можно исследовать в оптическом диапазоне удалённым наблюдением (с. Хасанья).

При количественной обработке видео материала, анализировалось поведение среднего значения распределения яркости пикселей по номерам оттенков серого цвета (256 каналов) в области свечения на снимке. В лабораторных условиях, используя калибровочный источник света на базе светодиодов, было установлено соответствие единицы градации яркости пикселей и освещённости камеры. При источнике свечения зелёным цветом, и максимальным временем экспозиции камеры (33 мс), 1 канал яркости соответствует в фотометрических единицах 10^{-7} л световой освещённости, или $2 \cdot 10^{-10}$ Вт/м² энергетической облучённости. Эффективность регистрации камерой различных цветов оптического диапазона варьируется в пределах одного порядка. Чувствительность регистрации свечения камерами зависит от размера исследуемой области на снимке, определяется статистикой произведённых свечением в соответствующей области матрицы фотоэлектронов. Паспортная чувствительность используемых камер (CS-265-IP) 0,01 л, отвечает способности выделить свечение источника размером 1 пиксель за время максимальной экспозиции. Матрица камер содержит 1600×1200 пиксель. Отсюда чувствительность регистрации свечения по области всего снимка в режиме максимальной экспозиции 10⁻⁸ л.

В процессе анализа были выявлены случаи, свидетельствующие о наличии корреляции аномальных возмущений интенсивности вторичных частиц космических лучей во время гроз, с непрерывным оптическим свечением областей атмосферы и пульсациями геомагнитного поля. Наиболее яркие события опубликованы в работах [1, 2].

Работа поддержана грантами РФФИ № 14-02-01273.

- 1. Канониди К.Х, Куреня А.Н., Лидванский А.С., Хаердинов М.Н., Хаердинов Н.С. Комплексное исследование энергичных процессов в грозовых облаках // Изв. РАН. Сер. физ. Т. 79. № 5. С. 730–732. 2015.
- 2. Канониди К.Х, Лидванский А.С., Хаердинов М.Н., Хаердинов Н.С. Вариации космических лучей во время гроз и новые геофизические эффекты // Изв. РАН. Сер. физ. Т. 79. № 5. С. 733–735. 2015.

Комплексные системы обнаружения и идентификации радиоимпульсов грозовых разрядов

<u>Н. В. Чернева</u>¹, Д. В. Санников¹, Б. М. Шевцов¹, П. П. Фирстов^{1,2} ¹ Институт космофизических исследований и распространения радиоволн (ИКИР) ДВО РАН, Паратунка, Камчатский край, Россия ² Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский

При разработке дистанционных методов исследования динамики магнитосферы, синоптических погодных систем, обнаружения эксплозивных извержений вулканов используются особенности распространения радиосигналов. Радиоимпульсы грозовых разрядов (атмосферики), распространяясь вдоль поверхности земли по радиоволноводу земля-ионосфера, несут информацию о структуре синоптических погодных систем, повторяя своей интенсивностью и пространственным распределением структуру облачных образований. Проникая в магнитосферные волноводы, радиоимпульсы, получают характерную форму (вистлер) и несут информацию о состоянии магнитосферной плазмы, а тем самым, и о состоянии погодной системы в магнитосфере. Эксплозивные извержения вулканов, сопровождающиеся грозовыми разрядами, можно использовать для обнаружения вулканических извержений в условиях плотной облачности, когда визуальные наблюдения невозможны. В настоящее время существуют сети AWDANet (Automatic Whistler Detector and Analyzer systems' network) и WWLLN (World Wide Lightning Location Network). ИКИР ДВО РАН для обнаружения перечисленных зондирующих радиосигналов и для возможного исключения возникающих неоднозначностей в их распространении установил приемные станции, интегрированные в обе сети. Для улучшения идентификации и удаленного мониторинга природных объектов ведется работа по расширению сети сбора информации за счёт установки станций в г. Владивосток (ТОИ ДВО РАН), г. Хабаровск и г. Магадан (ИКИР ДВО РАН).

Волновые процессы в глобальной электрической цепи, структура поля геомагнитных пульсаций

Характеристики потока ОНЧ атмосфериков во время геомагнитных возмущений

<u>В. И. Кириллов</u>, А. А. Галахов, В. В. Пчелкин Полярный геофизический институт, Апатиты

Введение. Солнечная активность оказывает заметное влияние на ОНЧшумы. Такое влияние возможно как через ионосферные параметры, так и через воздействие на грозовые источники [2, 4, 5]. Особый интерес для изучения связи между вариациями ОНЧ-шумов и солнечной активностью представляют высокоширотные области, где, из-за отсутствия местных гроз, эффекты воздействия солнечного ветра на нижнюю ионосферу выражены в большей степени.

Целью данной работы было установление возможной корреляции между вариациями характеристик потока атмосфериков, принимаемых в условиях высоких широт, и изменениями космофизических параметров, наблюдаемыми во время Форбуш-понижений.

Данные и их обработка. Эксперимент проводился в период с июня 2012 по февраль 2015 в обсерватории «Ловозеро» (центральная часть Кольского п-ова) на частотах 600 Гц и 6 кГц. Аппаратурный комплекс состоял из двух рамочных антенн, ориентированных в направлении «север-юг» и «запад-восток», приемников и регистратора атмосфериков, описание которых приведено в [1]. Для отбора Форбуш-понижений (вспышечной и рекуррентной природы) использовались показания ряда станций НМ (нейтронный монитор) мировой сети, достаточно удаленных друг от друга: Апатиты, Москва, Иркутск, Инувик, Мехико, Южный полюс и Туле. За исследуемый период для анализа отобрано 19 случаев. Данные по Dst-индексу были получены с сайта: http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/index.html (Университет Киото).

Поиск корреляционной связи между различными характеристиками, ассоциированными с Форбуш-понижениями (показания НМ, Dst-индекс и т.д.), и характеристиками потока атмосфериков, регистрируемых на Кольском п-ве, выполнялся методом наложения эпох. Для выбора «нулевого момента времени» использовались данные НМ мировой сети и ход Dst-индекса.

Обсуждение результатов и основные выводы. Форбуш-понижение — масштабное явление, носящее глобальный характер, суть которого — экранировка Земли облаком плазмы повышенной плотности, пришедшим к Земле в результате вспышки на Солнце, или некоторой рекурентности, обусловленной, например, вращением Солнца. Отдельные аспекты этого явления могут влиять на трассу распространения атмосфериков (в большей степени) и на процесс образования молний (в меньшей степени) (см. обзор в [3]).

С помощью метода наложения эпох было обнаружено слабое влияние геомагнитных возмущений на плотность потока атмосфериков, которое проявлялось как снижение количества принимаемых сигналов на частоте 6 кГц по обеим компонентам (рис.1, шкала для плотности потока нормирована). Этот эффект практически исчезал, если в качестве нулевого момента использовалось начало Форбуш-понижения (рис.2). В поведении средних амплитуд атмосфериков метод наложения эпох резких изменений во время магнитных бурь не выявил. Отметим при этом, что в единичных случаях влияние ФЭ на характеристики потока атмосфериков наблюдалось достаточно отчётливо. Сказанное означает, что пока, на основании полученных результатов, с полной уверенностью говорить о подобной связи нельзя. Окончательное решение вопроса требует расширения статистического материала.



- 1. Галахов А.А., Ахметов О.И. Комплекс аппаратуры для регистрации импульсной компоненты электромагнитного поля диапазона очень низкой частоты // Приборы и техника эксперимента. №3. с. 136–142. 2011.
- 2. Васильев А.Е., Козлов В.И., Муллаяров В.А. Связь интенсивности атмосфериков с вариациями космических лучей. // Геомагнетизм и аэрономия. Т43. №6.с. 851–853. 2003.
- Дорман Л.И. Вариации космических лучей и исследование космоса. Москва. Изво АН СССР. 1963. 1027 с.
- Каримов Р.Р., Муллаяров В.А., Козлов В.И. ОНЧ-шумы в периоды Форбушпонижений космических лучей. // Геомагнетизм и аэрономия. Т40. №3. с.130– 132. 2000.
- Каримов Р.Р., Козлов В.И., Муллаяров В.А. Связь ОНЧ-шумов со всплесками солнечных протонов. // Геомагнетизм и аэрономия. Т41. №5. с.624–626. 2001.

Влияние солнечных рентгеновских вспышек на изменения атмосферного электрического поля и прохождение волн СДВ диапазона

<u>Ю. В. Поклад</u>, Б. Г. Гаврилов, В. М. Ермак, В. А. Рыбаков, И. А. Ряховский, С. П. Соловьев Институт динамики геосфер РАН, Москва

Одним из факторов впрямую действующим на верхние слои земной атмосферы являются рентгеновские вспышки на Солнце. При спокойном Солнце интенсивность рентгеновского излучения в области длин волн 1-10 A составляет $10^{-7}-10^{-8}$ BT/m². Во время солнечной вспышки излучение в этой спектральной области может возрастать на 3–5 порядков и достигать величин $10^{-4}-10^{-3}$ BT/cm² (рентгеновские вспышки Х-класса). Спутники серии GOES измеряют поток рентгеновского излучения в области 1–8 A. Особенностью рентгеновских вспышек является быстрое нарастание потока излучения — он вырастает на 1–2 порядка за минуты или даже десятки секунд. Такое быстрое нарастание потока рентгеновского излучения и связанное с ним увеличение электронной концентрации в D слое ионосферы могут вызвать отклик при измерениях электрического поля на поверхности Земли а так же влиять на условия распространения сигналов СДВ-диапазона [1].

В геофизической обсерватории ИДГ РАН «Михнево» ведется мониторинг приземного электрического поля и сигналов СДВ радиостанций. Для регистрации вертикальной компоненты приземного электрического поля используется электростатический флюксметр. Частотный диапазон от 0 до 10 Гц, амплитуды от 1 до 5000 В/м. Сигналы СДВ радиостанций принимаются на магнитометры MFS-07 фирмы «Metronix». Регистрация ведется на логгер ADU-07 этой же фирмы. Частота оцифровки составляет 65536 Гц.

На рис. 1 приведены записи солнечного излучения в рентгеновском диапазоне и напряженности электрического поля за 12 июля 2012 г. В этот день произошла мощная вспышка X класса. Началась она примерно в 16 UT (заход солнца на поверхности Земли около 18 UT), а на высотах десятки км примерно на 1 час позже). На записи электрического поля нанесен момент максимума вспышки (звездочка), а отрезок прямой линии — ее длительность. Видно, что на записи электрического поля с началом рентгеновской вспышки возникают вариации (первый отброс — снижение поля), которые по времени существования близки к длительности вспышки. В нашем представлении этот рисунок наглядно демонстрирует влияние ионизации воздуха при мощной рентгеновской вспышке на ход электрического поля у земной поверхности. Отметим, что погода в этот день была ясной, практически безоблачной. Заметим, однако, что эти вариации поля по порядку величины

совпадают с вариациями поля не связанными с рентгеновскими вспышками на Солнце.

На рис. 2 представлены результаты изменения фаз (верхняя панель) и амплитуд (средняя панель) СДВ сигналов с трех передатчиков: DHO, GQD и ICV расположенных в Германии, Англии и Италии соответственно. На нижней панели представлена интенсивность рентгеновского излучения во время вспышки М класса. Эта вспышка характерна достаточно крутым фронтом нарастания потока излучения — порядка 30 секунд. Реакция в амплитудах и фазах сигналов заметно отличается. Трасса ICV дает малое изменение в амплитуде сигнала, но заметный скачок по фазе. Достаточно близкие трассы DHO и GQD показывают противоположные изменения в амплитуде сигнала. Фазы сигналов всех трех передатчиков имеют ярко выраженное положительное отклонение. Временной ход изменения



СДВ сигналов.

амплитуд и фаз практически совпадают с ростом амплитуды рентгеновского излучения. Задержка составляет не более 8 секунд.

В целом подобные изменения характерны для трасс освещенных во время рентгеновской вспышки. Накопление данных и их анализ может дать новые сведения о состоянии D-слоя ионосферы

Литература

 Chilton C. J., Steele F. K., Norton R. B. Very-Low-Frequency phase observations of solar flare ionization in the D region of the ionosphere, J. Geophys. Res., 68, 5421– 5435.

Parametric Interaction of Alfven Waves with Convective Cells in the ionospheric Alfven resonator

O. A. Pokhotelov

Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS, Moscow

There was a great deal of research in recent years related to the generation in the ionosphere of electromagnetic waves in the VLF/ULF frequency range generated by the natural and man-made sources in the topside ionosphere. These oscillations are commonly observed at all local times by both ground and satellite observations of electric and magnetic fields. A special attention is paid to the generation of such waves in the so-called ionospheric Alfven resonator (IAR). Using the realistic model of the topside ionosphere, we have reanalyzed the physical properties of the IAR interaction with the magnetospheric convective flow. It is found that in the absence of the convective flow the IAR eigenmodes exhibit a strong damping due to the leakage of the wave energy through the resonator upper wall and Joule dissipation in the conductive ionosphere. The maximum of the dissipation rate appears when the ionospheric conductivity approaches the IAR wave conductivity and becomes infinite. However, the presence of Hall dispersion, associated with the coupling of Alfven wave mode with compressional (magnetosonic) perturbations, reduces the infinite damping. The increase in the convection electric field leads to a substantial modification of the IAR eigenmode frequencies and to reduction of the eigenmode damping rates. For the given perpendicular wavelength the position of the maximum damping rate shifts to the region with lower ionospheric conductivity. When the convection electric field approaches a certain critical value, the resonator becomes unstable. This results in the IAR feedback instability. The physical mechanism of this instability is similar to the Cherenkov radiation in the collisionless plasmas. The favourable conditions for the instability onset are realized when the ionospheric conductivity is low, i.e., for the nighttime conditions. This effect may result in the decrease of the critical value of the electric field of the magnetospheric convection that is necessary for the formation of the turbulent Alfven boundary layer and appearance of the anomalous conductivity in the IAR region. The artificial generation of these waves using ionospheric heaters such as EISCAT, HIPAS and HAARP is also reviewed. Modelling the ground signatures of such waves is complicated by the fact that at these frequencies, the collisionless skin depth is comparable to the ionospheric thickness and thus the vertical structure of the ionosphere must be resolved. Furthermore, the Hall conductivity in the ionosphere couples compressional waves to shear Alfven mode providing a complex scenario for the wave dynamics. The present report describes a novel model for generating magnetosonic waves by F-region modulated HF heating that does not depend on the presence of electrojet currents and can thus be generated even by facilities located away from electrojet regions as well as in the absence of electrojets. The report presents the theoretical foundations of the model and concludes with a discussion of future experiments and an outline of the relevance of the model to space science.

Спектры ОНЧ-атмосфериков по наблюдениям на Кольском полуострове

<u>В. В. Пчелкин</u>, В. И. Кириллов, А. А. Галахов Полярный геофизический институт, Апатиты

В работе приведены результаты экспериментального определения амплитудных спектров атмосфериков по данным регистрации, выполненной на Кольском п-ве в течение периода с сентября 2014 г. по март 2015 г. Выполнено сравнение со спектрами, полученными в условиях средних широт. Отмечено смещение высокочастотного максимума в сторону более высоких частот, относительное увеличение низкочастотного максимума и увеличение ширины провала между максимумами. Показано отсутствие статистически значимых изменений амплитудных спектров во время солнечного затмения 20 марта 2015 г.

Введение. Источником регулярного шумового фона (РШФ) ОНЧ-излучения является грозовая активность. Подробную дискуссию по этому вопросу можно найти в работах [1–3]; экспериментальное обоснование подобного вывода содержится в работах [4–6], посвященных исследованиям спектров атмосфериков, регистрируемых в условиях средних широт. Отметим, что интерпретация результатов в этой зоне сильно осложняется частыми ближними грозами. При регистрации в дальней зоне влияние ближних гроз резко ослабляется, но на данный момент подобные измерения недостаточно полны и, к сожалению, носят единичный характер (здесь следует, прежде всего, отметить работу [7], в которой выполнено подробное изучение характеристик РШФ в ходе эксперимента в г. Якутск). Сказанное поясняет важность представляемой вниманию работы, *целью которой являлось экспериментальное изучение спектров атмосфериков в условиях высоких широт (Кольский п-ов)*.

Экспериментальные данные. Экспериментальные ряды представляют собой результаты более чем полугодовых измерений амплитудного спектра атмосфериков, выполненных с помощью аналогового анализатора спектра КНЧ-ОНЧ диапазонов на программируемых схемах. Регистрация была однокомпонентной (запад-восток) и проводилась в обсерватории «Ловозеро» с сентября 2014 г. по март 2015 г. на частотах 0,6–7,5 кГц. Подробное описание приёмной аппаратуры, включающее в себя описание функциональной схемы и системы сбора, приведено в [8].

Основные выводы.

1) Низкочастотный максимум спектра определяется на частотах ниже 600 Гц, высокочастотный — в диапазоне 6,0–7,5 кГц (см. рис. 1). Относительная высота максимумов изменена по сравнению со средними широтами, низкочастотный максимум ощутимо превалирует над высокочастотным.

 Анализ суточного хода амплитуд сфериков показал, что спектры, зарегистрированные в условиях Кольского полуострова, сохраняя информацию об активности основных грозовых центров, в большей степени отражают условия распространения на трассе. Например, большая относительная освещенность трассы Азиатский центр – Кольский п-ов резко понижала максимум, связанный с активностью азиатского центры, а зимой, в связи с увеличением освещенности трассы, полностью маскировала его.

3) Исследование спектральных кривых, выполненное во время солнечного затмения 20 марта 2015 г., показало, что в спектрах атмосфериков не было существенных изменений, выходящих за пределы естественной девиации.



Рис. 1. Амплитудные спектры атмосфериков, полученные по результатам измерений. Месячное усреднение; начало суток.

- 1. *Я.Л. Альперт* Распространение электромагнитных волн и ионосфера // Москва «Наука», 1972, 363 с.
- М.С. Александров и др. Флуктуации электромагнитного поля Земли в диапазоне СНЧ // Коллективная монография. Изд-во «Наука», 1972, 196 с.
- 3. Г.И. Дружинин, В.И. Шапаев Роль мировой грозовой активности в формировании амплитуды регулярного шумового фона // Геомагнетизм и аэрономия, 1988 г, Т.26, №1, с. 81.
- 4. Г.А. Михайлова О спектрах атмосфериков и фазовой скорости электромагнитных волн на сверхнизких частотах // Геомагнетизм и аэрономия, 1962, Т.2, №2, с.257–266.
- 5. Г.А. Михайлова Спектры атмосфериков на сверхнизких частотах в ночное время // Геомагнетизм и аэрономия, 1967, Т.7, №2, с.357–359.
- 6. Г.А. Михайлова Функция распространения и средняя фазовая скорость электромагнитных волн на сверхнизких частотах // Геомагнетизм и аэрономия, 1965, Т.5, №1, с.183–186.
- Н.Н. Мурзаева, В.А. Муллаяров, В.И. Козлов, Р.Р. Каримов Морфологические характеристики среднеширотного регулярного шумового фона естественного низкочастотного излучения // Геомагнетизм и аэрономия, 2001, Т.41, №1, с.76– 83.
- 8. А.А. Галахов, О.И. Ахметов, В.И. Кириллов Аналоговый анализатор спектра атмосфериков КНЧ-ОНЧ-диапазона на программируемых интегральных схемах // Приборы и техника эксперимента, 2015, №1, с.146–150.

Синхронные вариации атмосферного электричества, геомагнитных пульсаций и полного электронного содержания на комплексе обсерваторий ИСЗФ СО РАН

В. М. Алешков, И. К. Едемский, Ю. В. Липко, С. И. Молодых, А. Ю. Пашинин, <u>Р. А. Рахматулин</u> Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск

В последнее время на ряде обсерваторий ИСЗФ СО РАН (2010–2014) были задействованы новые приборы для мониторинга параметров ближнего космоса в экспериментальном режиме. Это GPS приемники — приемники сигналов с геостационарных спутников, при помощи данных которых можно оценивать полное электронное содержание (ПЭС), приемник сейсмосигналов для исследования землетрясений в зоне БРЗ (байкальской рифтовой зоны), электростатический флюксметр для измерения вертикального градиента потенциала электрического поля атмосферы.

В настоящее время получены первые результаты синхронных наблюдений на этих приборах в периоды появления значительных геомагнитных возмущений.

Анализ динамических спектров геомагнитных пульсаций, потенциала электрического поля и ПЭС показывает появление сигналов в вариациях магнитного поля Земли в различных диапазонах частот. Одновременно появляются колебания в электрическом поле и проводимости воздуха, но в несколько иной спектральной полосе. Все эти возмущения также наблюдаются и в ПЭС, измеренным по данным GPS-приемников.

На основании анализа этих явлений можно сделать предположение, что процессы в магнитосфере Земли, приводящие к возмущениям в магнитном поле, могут так же стимулировать как возмущения в ПЭС, так и в электрическом поле и проводимости воздуха.

Работа проведена при поддержке гранта Российского научного фонда № 14-37-00027.

Применение метода локальных аппроксимаций в задаче снижения погрешностей системы векторный – скалярный магнитометр для наблюдений геомагнитного поля с магнитными бурями

В. Г. Гетманов, А. Д. Гвишиани, <u>Р. В. Сидоров</u> Геофизический центр РАН, Москва

Наблюдения геомагнитного поля (геомагнитного поля) с магнитными бурями характеризуются возможными значительными естественными шумами и резкими изменениями компонент геомагнитного поля во времени. Применение традиционных цифровых низкочастотных фильтров для удаления рассматриваемых шумовых составляющих в ряде случаев может оказаться неэффективным. Реализация цифровой совместной фильтрации наблюдений геомагнитного поля от векторных и скалярных магнитометров на основе метода локальных аппроксимационных моделей позволяет снизить погрешности оценок компонент векторов напряжённости геомагнитного поля [1].

Использовался математический аппарат локальных аппроксимационных моделей. В случае секундной дискретизации на локальных интервалах наблюдениям компонент векторов напряжённости геомагнитного поля могут быть поставлены в соответствие локальные аппроксимационные кусочно-постоянные модели. Для наблюдений от системы векторный-скалярный магнитометр и локальных моделей формировались локальные функционалы, учитывающие связи между наблюдениями компонент геомагнитного поля. Оценки компонент векторов напряжённости геомагнитного поля находились на основе минимизации сформированных функционалов.

Предложенный метод для совместной фильтрации 1-секундных наблюдений системы векторного и скалярного магнитометров оказался работоспособным. Сравнивались на моделях геомагнитного поля с магнитными бурями и шумами погрешности предложенного метода и цифрового низкочастотного фильтра Баттерворта. Как показало статистическое моделирование [2], среднеквадратичное значение погрешностей метода цифровой совместной фильтрации наблюдений от магнитометров по сравнению со значением с.к.з. погрешностей фильтрации на основе цифрового низкочастотного фильтра Баттерворта в среднем на ≈50% меньше.

- 1. Гетманов В.Г. Нелинейная фильтрация наблюдений системы векторного и скалярного магнитометров. /Измерительная техника. 2013. №6. С. 51–55.
- 2. Гетманов В.Г., Сидоров Р.В. Фильтрация 1-секундных наблюдений от векторного и скалярного магнитометров на основе аппроксимационных кусочнолинейных моделей. / Геомагнетизм и аэрономия. 2014. Т.54. №5. С. 670–677.

Оценивание частот для Pc3-пульсаций геомагнитного поля на основе кусочно-синусоидальных моделей

В. Г. Гетманов¹, Р. А. Дабагян², <u>Р. В. Сидоров¹</u> ¹ Геофизический центр РАН, Москва ² Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ

Вычисление оценок частотных функций пульсаций геомагнитного поля представляет значительный интерес для магнитометрии и может быть применено в задачах диагностики магнитосферы среды [2].

На сегодняшний день для оценивания частотных функций пульсаций геомагнитного поля применяются, в основном, методы дискретного преобразования Фурье и спектрально-временного анализа. Первый метод оценивает средние частоты на больших интервалах времени и не позволяет, в достаточной степени, точно оценить их флуктуации. Второй метод, приспособленный к нестационарным случаям, иногда, может давать значительные погрешности в оценках.

Рассматривается описание разработанного метода оценивания частотных функций пульсаций геомагнитного поля с использованием последовательностей локальных аппроксимационных кусочно-синусоидальных моделей [1] для наблюдений от сети магнитных обсерваторий. Разработан алгоритм совместной обработки наблюдений трёхкомпонентных компонент пульсаций геомагнитного поля для сети обсерваторий. Приведены описания наблюдений и анализ спектрально-временной структуры пульсаций геомагнитного поля диапазона Pc3. Обеспечение снижения погрешностей оценивания частотных функций реализовано с помощью фильтрации со скользящим взвешенным усреднением. Приведены примеры вычисления оценок и их погрешностей для частотных функций наблюдений Pc3-пульсаций геомагнитного поля для сети магнитных обсерваторий.

Полученные значения относительных погрешностей оценок частотных функций компонент геомагнитного поля от сети обсерваторий, составляющих величины от единицы- до десяти процентов, позволили сделать вывод об удовлетворительной точности разработанного метода и его практической значимости.

- 1. *Гетманов В.Г.* Цифровая обработка нестационарных колебательных сигналов на основе локальных и сплайновых моделей. М.: Изд-во НИЯУ МИФИ. 2011.-298 с.
- 2. *Гульельми А.В., Троицкая В.А.* Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы. М.: Наука. 1973. 208 с.

Моделирование наземного отклика на возбуждение ионосферных МГД волновода и резонатора атмосферным электрическим разрядом

<u>Е. Н. Федоров¹</u>, Н. Г. Мазур¹, В. А. Пилипенко¹, Е. Н. Ермакова² ¹ Институт физики Земли РАН, Москва ² НИРФИ, Н. Новгород

Построена численная модель для расчета электромагнитного поля в УНЧ диапазоне (< 10 Гц) возбуждаемого электрическим разрядом в атмосфере. Модель учитывает наличие в верхней атмосфере ионосферного альвеновского резонатора (ИАР) и МГД волновода, которые могут накапливать волновую энергию в частотном диапазоне от долей Гц до десятка Гц. Реальный вертикальный профиль ионосферных параметров построен с помощью модели IRI. Результаты моделирования показывают, что грозовой разряд возбуждает связанную волновую систему, включающую зацепленные колебания ИАР и МГД волновода. В результате на земной поверхности наблюдается интерференционная картина. В результате спектральный состав УНЧ поля, в частности спектральная резонансная структура, сильно меняется в зависимости от удаления от грозового разряда.

Указатель авторов

A. X.	Аджиев 1	6, 18, 100, 106	E. H.	Ермакова	48, 132
A. A.	Аджиева	83	Т.В.	Ершова	49
П. Н.	Александров	6	A. A.	Жидков	9
B. M.	Алешков	112, 129	Л. З.	Жинжакова	85
С. В.	Анисимов 20), 24, 25, 43, 98	H.B.	Жохова	87
К. В.	Афиногенов	20, 24, 25, 98	Б. Х.	Зайнетдинов	108, 114
B. O.	Баринова	64	H. B.	Ильин	8
Τ.	Безингер	48	A. C.	Инчин	107
М. Ю.	. Беликова	76	B. B.	Исакевич	26
A. B.	Богомолов	68	Д. В.	Исакевич	26
B. B.	Богомолов	64, 68	С. Т.	Казакова	85, 100
А. К.	Богушов	113	П. А.	Казначеев	103
В. И.	Бондин	36	M. A.	Казначеева	65
Д. В.	Бунтов	92, 116	A. B.	Калинин	9
Р. Ж.	Быкаев	107	A. H.	Камшилин	103
M.A.	Васильева	87	P. P.	Каримов	51, 59
H. E.	Веремей	46	A. B.	Карпов	92, 116
Б. Г.	Гаврилов	124	В. И.	Кириллов	122, 127
A. A.	Галахов	122, 127	П. А.	Климов	65, 67, 68, 73
C. B.	Галиченко	20, 24, 25	С. И.	Климов	68
Г. К.	Гарипов	64, 67, 68, 73	A. A.	Кобранова	40
А. Д.	Гвишиани	130	В. И.	Козлов	51, 59
А. Ю.	Гвоздарев	47	A. C.	Козьмина	30
В. Г.	Гетманов	130, 131	Л. И.	Коломеец	80
В. П.	Горбатенко	76	И. И.	Кононов	53
Г. И.	Горчаков	92, 116	Д. А.	Константинова	a 55
Л. В.	Грунская	26	B. M.	Копейкин	92, 116
A. B.	Гурьев	98	И. В.	Королёв	36
P. A.	Гятов	100	Д. С.	Котик	48
P. A.	Дабагян	131	A. B.	Кочин	104
3. A.	Даурова	16	A. B.	Крашениннико	ов 81, 93
C. O.	Дементьева	8	С. Ю.	Кречетова	47,76
Α. Γ.	Демехов	48	Т.В.	Кудринская	91, 106
Э. М.	Дмитриев	20, 28, 98	Г. А.	Кузнецов	92, 116
Ю. А.	Довгалюк	46	Д. Д.	Кулиев	85
С. Н.	Дубцов	87	Т. С.	Кумыков	57
И. К.	Едемский	129	Г. В.	Куповых	91, 106
A. B.	Елисеев	78	M. B.	Курганский	96
B. M.	Ермак	124	A. C.	Лидванский	71

Ю.В.	Липко	129	Ю.С.	Рыбнов	93
А. Ю.	Лозбин	107	И. А.	Ряховский	124
Н. Г.	Мазур	132	К. Ю.	Салеев	64
А. П.	Макрушин	25, 31	Д. В.	Санников	120
Л. М.	Малкандуева	18	С. И.	Свертилов	64, 68
E. A.	Мареев	8, 9, 14	A. O.	Серегин	92, 116
И. Х.	Машуков	83	P. B.	Сидоров	130, 131
X. X.	Машуков	85	A. A.	Синькевич	46, 108
Ю. П.	Михайловский	46, 108, 110	H. H.	Слюняев	9, 14
С. И.	Молодых	112, 129	С. П.	Смышляев	80
B.C.	Морозенко	65, 67, 73	Л. Г.	Соколенко	108, 114
B. H.	Морозов	12, 40	A. B.	Соколов	92
И. И.	Мохов	78, 96	С. П.	Соловьев	81, 93, 124
B. A.	Муллаяров	59	О. П.	Старостина	34
И. Н.	Мягкова	68	B. H.	Стасенко	61
П. М.	Нагорский	40, 89	П. Л.	Стерхов	110
O. E.	Нечепуренко	76	Ю. И.	Стожков	58
A. C.	Отарова	85	B. B.	Сурков	42, 70
A. A.	Палей	87	Л. Д.	Тарабукина	51
М. И.	Панасюк	64, 67, 68, 73	A. A.	Титов	92, 116
И. Н.	Панчишкина	32, 34, 36, 38	A. A.	Торопов	51, 59
A. B.	Панюков	113	E. H.	Федоров	132
А. Ю.	Пашинин	129	П. П.	Фирстов	120
M. C.	Пермяков	95	A. B.	Франк-Каменецк	сий 117
А.И.	Петров	32, 34, 36, 38	Н. С.	Хаердинов	71, 118
Г. Г.	Петрова	32, 34, 36, 38	M. H.	Хаердинов	71
B. A.	Пилипенко	48, 132	B. A.	Харламов	93
Ю.В.	Поклад	124	Г. Я.	Хачикян	107
C. B.	Поляков	48	Б. А.	Хренов	65, 67,73
И. Б.	Попов	108, 114	H. B.	Чернева	95, 120
Е. Ю.	Поталова	95	A. B.	Чернокульский	78, 96
O. A.	Похотелов	126	A. B.	Шаповалов	61
К. Н.	Пустовалов	40, 89	B. A.	Шаповалов	61, 83
B. B.	Пчелкин	122, 127	Б. М.	Шевцов	95, 120
P. A.	Рахматулин	129	Κ.	Шиокава	48
A. A.	Редин	91, 106	H. M.	Шихова	20, 30, 43
Т.В.	Реутова	85	Ю. Р.	Шпади	107
Д. В.	Рубай	26	И. Е.	Юсупов	53
B. A.	Рыбаков	81, 124			

Содержание

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ	3
Предисловие	_4
ГЛОБАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ —	
ГЕОФИЗИЧЕСКИИ ОБ БЕКТ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ П. Н. Александров Разленение зарегистрированного на лиевной поверуности	
11. 11. Алексиноров I азделение зарегистрированного на дневной поверхности электромагнитного поля по положению источников	6
Н В Илын С О Лементьева F 4 Мареев Молепирование и анализ конвективн	
<u>га. В. именикова, В. и. имереев моделирование и анализ конвективи</u> генераторов с помощью численных молелей высокого разрешения	8
Е. А. Мареев, А. В. Калинин, Н. Н. Слюняев, А. А. Жидков	_ 0
Направления развития теории глобальной электрической цепи	9
В. Н. Морозов Проникновение нестационарных ионосферныхъ электрических пол	пей
в нижние слои атмосферы	12
Н. Н. Слюняев, Е. А. Мареев Влияние солнечной активности на динамику	-
ионосферного потенциала	14
Электричество нижней атмосферы в глобальной электрической цепи	
<u>А. Х. Аджиев</u> , З. А. Даурова Суточные вариации электрического поля атмосферы	
при погодно-климатических изменениях	16
<u>А. Х. Аджиев</u> , Л. М. Малкандуева Вариации электрического поля атмосферы	
при снегопадах и метелях	18
<u>С. В. Анисимов</u> , К. В. Афиногенов, С. В. Галиченко, Э. М. Дмитриев, Н. М. Шихов	а
Электричество невозмущенной нижней атмосферы в глобальной	
электрической цепи	_ 20
С. В. Анисимов, <u>К. В. Афиногенов</u> , С. В. Галиченко Электричество приземной	
атмосферы: результаты натурных наблюдений и статистического анализа	_24
С. В. Анисимов, <u>С. В. Галиченко</u> , А. П. Макрушин, К. В. Афиногенов	
Влияние скорости эсхаляции почвенного радона на высотный профиль	~ ~
атмосферного электрического поля: результаты моделирования	_25
<u>Л. В. Грунская</u> , В. В. Исакевич, Д. В. Рубай, Д. В. Исакевич Воздействие лунных	24
приливов на электрическое поле пограничного слоя атмосферы Земли	26
Э. М. Дмитриев Электричество приземного слоя атмосферы: аналитические	•
и численные модели	_28
<u>А. С. Козьмина</u> , Н. М. Шихова Характеристики туроулентного режима	20
атмосферного пограничного слоя по данным натурных наолюдении	_ 30
А. П. Макрушин Оптимизация расчетов при моделировании электричества	21
нижней атмосферы	_ 31
<u>И. Н. Панчишкина</u> , Г. Г. Петрова, А. И. Петров Процессы формирования	22
объемного заряда в приземном слое атмосферы	_ 32
<u>А. И. Петров</u> , Г. Г. Петрова, И. Н. Панчишкина, О. П. Старостина	
оременные вариации электрического поля атмосферы волизи земной	21
поверхности в разных пунктах наолюдении	_ 34
<u>1.1. петрова</u> , н. п. панчишкина, А. н. петров, н. в. королев, В. н. воноин Результати изблютений зарозольного состояния атмосферы в нерист	
т сзультаты наолюдении аэрозольного состояния атмосферы в период эконолиций 2012 2014 гг	36
экспедиции 2012-2014 11	_ 30

<u>Г. Г. Петрова</u> , А. И. Петров, И. Н. Панчишкина Экспедиционные исследования	
электрических процессов в приземной атмосфере с учётом аэрозолей	38
К. Н. Пустовалов, В. Н. Морозов, П. М. Нагорский, А. А. Кобранова Моделирован	ие
воздействия зимней конвективной облачности на динамику электродного слоя	40
<u>В. В. Сурков</u> Пресейсмические вариации активности атмосферного радона	
как возможная причина аномальных атмосферных эффектов	42
<u>Н. М. Шихова</u> , С. В. Анисимов Масштабы самоподобия аэроэлектрического поля	
по результатам среднеширотных наблюдений	43
ФОРМИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ — ГРОЗОВОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО	э,
МОЛНИЕВЫЕ РАЗРЯДЫ, ИОНОСФЕРНЫЕ И МАГНИТОСФЕРНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ	
<u>Н. Е. Веремей</u> , Ю. А. Довгалюк, Ю. П. Михайловский, А. А. Синькевич Численное	
моделирование влияния сильного аэрозольного загрязнения атмосферы	
на динамику электрической структуры кучево-дождевого облака	46
<u>А. Ю. Гвоздарев</u> , С. Ю. Кречетова Исследование грозоактивности на севере	
Телецкого озера по данным магнитной станции «Байгазан»	47
<u>Е. Н. Ермакова</u> , С. В. Поляков, Д. С. Котик, А. Г. Демехов, В. А. Пилипенко,	
Т. Безингер, К. Шиокава Особенности суточной динамики спектров УНЧ	
шумового фона от наземных грозовых очагов на разных широтах	48
Т. В. Ершова Аномалии гравитационного и магнитного полей Земли и	
грозовая активность	49
<u>Р. Р. Каримов</u> , А. А. Торопов, В. И. Козлов, Л. Д. Тарабукина Вариации мировой	
грозовой активности за период 2009–2014 гг.	51
<u>И. И. Кононов</u> , И. Е. Юсупов Изменение параметров электромагнитного излучени	Я
в процессе эволюции грозовых очагов	53
Д. А. Константинова Динамика грозовой активности над Западной Сибирью	55
1. С. Кумыков Математическое моделирование закона изменения заряда	
пузырьков в облачных каплях с учетом фрактальности среды	5/
Ю. И. Стожков Ооразование грозового электричества и молниевых разрядов	58
<u>А. А. Горопов</u> , Р. Р. Каримов, В. А. Муллаяров, В. И. Козлов Наолюдение	50
	. 39
<u>А. В. Шаповалов</u> , В. Н. Стасенко, В. А. Шаповалов Результаты расчетов	
электрических характеристик трозоградовых облаков на основе	61
трехмерной численной модели	01
Электричество средней и верхней атмосферы,	
ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ В АТМОСФЕРЕ	
М. И. Панасюк, С. И. Свертилов, <u>Г. К. Гарипов</u> , В. В. Богомолов, В. О. Баринова,	
К. Ю. Салеев Первые результаты наблюдения вспышек света в УФ	
и ИК областях спектра на спутнике «Вернов»	64
<u>П. А. Климов</u> , В. С. Морозенко, М. А. Казначеева, Б. А. Хренов УФ вспышки	
в атмосфере Земли вдали от грозовых областей по данным спутников МГУ	
«Университетский-Татьяна-2» и «Вернов»	65
<u>В. С. Морозенко</u> , Г. К. Гарипов, П. А. Климов, М. И. Панасюк Б. А. Хренов	
Анализ фонового излучения атмосферы Земли в диапазоне длин волн	
300-400 нм и 600-800 нм по данным спутника «Вернов»	67

С. И. Свертилов. М. И. Панасюк. В. В. Богомолов. С. И. Климов. А. В. Богомолов.	
Г. К. Гарипов. П. А. Климов. И. Н. Мягкова Высотные разрялы и высыпания	
магнитосферных электронов как элементы глобальной электрической цепи:	
ланные космического эксперимента РЭЛЕК на спутнике «Вернов»	68
В. В. Сурков Аналитические модели формирования спрайта	70
А. С. Лидванский. М. Н. Хаердинов. Н. С. Хаердинов Модель медленного пробоя	
на убегающих электронах в атмосфере и связанные с ним эффекты	71
Б. А. Хренов. М. И. Панасюк. Г. К. Гарипов. П. А. Климов. В. С. Морозенко	
Данные спутников МГУ о вспышках в ближнем ультрафиолете	
как потенциальный источник информации об ионосфере	73
ТЛОВАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ, МЕТЕОРОЛОГИЯ И КЛИМАТ, ЭКОПОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ	
B П Голбатечко С Ю Клецетова М Ю Беликова О Е Нецепуленко	
<u>В. П. Гороителко</u> , С. 10. Креченови, М. 10. Великови, О. В. Печенуренко Оценка параметров конвективной неустойчивости атмосферы по данным	
спутникового зонлирования	76
А В Елисеев И И Мохов А В Чернокульский Вклал молниевых возгораний	10
<u>и. В. Елиссее</u> , п. п. нокоо, п. В. тернокулоскии вилид молтевых возгорании в глобальные и региональные характеристики природных пожаров	78
П И Коломеец С П Смышляев Молепирование обратных связей межлу	10
грозовой активностью, составом атмосферы и изменением поголы и климата	80
А. В. Крашенинников, В. А. Рыбаков, С. П. Соловьев Влияние восхода Солнца	00
на атмосферное электрическое поле и ток по ланным ГФО «Михнево»	81
А. А. Аджиева, И. Х. Машуков, В. А. Шаповалов Исспелование линамики	01
электрического поля в районе г. Нальчик и поиск корреляционных зависимостей	
с заболеваниями серлечно-сосулистой системы	83
Х. Х. Машуков. Т. В. Реутова, Л. З. Жинжакова, А. С. Отарова, С. Т. Казакова,	
<i>П. П. Кулиев</i> Сопоставительный анализ грозовой активности, интенсивности конве	ек-
τυβήορο	
процесса и содержания связанного азота в сопутствующих осадках	85
М. А. Васильева, С. Н. Лубиов. Н. В. Жохова, А. А. Палей Полевые исследования	
по влиянию ЛЭП на концентрацию атмосферных аэрозолей	87
К. Н. Пустовалов, П. М. Нагорский Вариации напряжённости приземного	
электрического поля при прохождении кучево-дождевой облачности	89
<u>А. А. Редин</u> , Г. В. Куповых, Т. В. Кудринская Оценка антропогенного воздействия	
на параметры глобальной электрической цепи у поверхности земли	91
Г. И. Горчаков, В. М. Копейкин, А. В. Карпов, А. А. Титов, А. О. Серегин,	
<u>А. В. Соколов</u> , Д. В. Бунтов, Г. А. Кузнецов Вариации удельного заряда	
сальтирующих песчинок в конвективных условиях	92
<u>С. П. Соловьев</u> , Ю. С. Рыбнов, В. А. Харламов, А. В. Крашенинников	
Возмущения электрического и инфразвукового полей, вызванные источниками	
природного и техногенного происхождения	93
Б. М. Шевцов, Е. Ю. Поталова, М. С. Пермяков, <u>Н. В. Чернева</u>	
Связь параметров грозовой активности со структурой погодных систем	95
<u>А. В. Чернокульский</u> , М. В. Курганский, И. И. Мохов Интенсификация	
конвективных процессов в регионах Северной Евразии в условиях изменения	
климата по данным наблюдений, реанализа и модельным расчётам	96

Мониторинг глобальной электрической цепи натурные наблюдения и базы данных

Указатель авторов	133
атмосферным электрическим разрядом	132
наземного отклика на возбуждение ионосферных МГД волновода и резонатора	
Е. Н. Федоров, Н. Г. Мазур, В. А. Пилипенко, Е. Н. Ермакова Молепирование	
геомагнитного поля на основе кусочно-синусоидальных моделей	131
В. Г. Гетманов, Р. А. Дабагян, <u>Р. В. Сидоров</u> Оценивание частот для Рс3-пульсан	ий
магнитометр для наблюдений геомагнитного поля с магнитными бурями	130
аппроксимаций в задаче снижения погрешностей системы векторный – скалярны	ій
В. Г. Гетманов, А. Д. Гвишиани, <u>Р. В. Сидоров</u> Применение метода локальных	
обсерваторий ИСЗФ	129
геомагнитных пульсаций и полного электронного содержания на комплексе	
<u>Р. А. Рахматулин</u> Синхронные вариации атмосферного электричества,	
В. М. Алешков, И. К. Едемский, Ю. В. Липко, С. И. Молодых, А. Ю. Пашинин,	
В. М. Алешков, И. К. Едемский, Ю. В. Липко, С. И. Молодых, А. Ю. Пашинин.	

Научное издание

ГЛОБАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ

Материалы Второй 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.

Подписанов печать 21.09.15. Формат 60х90 1/16. Усл. печ. л. 8,75. Заказ № 15141. Тираж 100 экз.

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии ООО «Филигрань». 150049 г. Ярославль, ул. Свободы, д. 91. pechataet@bk.ru