

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

ЛЕКЦИИ

ЧТО ВОЛНУЕТ СЕГОДНЯ АСТРОФИЗИКОВ?

Ю.Ю. Балегга

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия
balega@sao.ru

WHAT DO ASTROPHYSICISTS CARE ABOUT TODAY?

Yu.Yu. Balega

Special Astrophysical Observatory RAS, Nizhny Arkhyz, Russia

Из огромного числа направлений, в которых ведут исследования астрономы, выделены несколько вызывающих наибольший интерес. К ним мы отнесли следующие:

- Существуют ли земноподобные планеты вокруг других звезд, одиноки ли мы?
- Насколько типична наша Солнечная система?
- Когда сформировались звезды в галактиках?
- Как образовались галактики?
- Сколько во Вселенной супер-массивных черных дыр?
- Когда и где формировались звезды и химические элементы?
- Какими были первые объекты?
- Как завершилась темная эпоха?
- Сколько типов материи существует, что собой представляет темная материя и где она?
- Что такое темная энергия? Эволюционирует ли она? Каких видов она бывает?

Нами рассмотрены также наиболее амбициозные проекты новых инструментов для астрофизических исследований, включая создание Европейского экстремально большого телескопа E-ELT, 30-м телескопа TMT США, Большого синоптического телескопа LGST, 6.5-м телескопа JWST на орбите и другие. В ближайшие десятилетия они позволят решить значительную часть поставленных задач и сформулировать ряд новых.

ПЛАЗМЕННАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ ВЕРХНЕЙ ИОНОСФЕРЫ В ПОЛЕ МОЩНЫХ КОРОТКИХ РАДИОВОЛН. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

С.М. Грач

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия
sgrach@rf.unn.ru

PLASMA TURBULENCE OF THE UPPER IONOSPHERE IN THE FIELD OF POWER SHORT RADIO WAVES. PHYSICAL BACKGROUNDS

S.M. Grach

Lobachevsky University, Nizhny Novgorod, Russia

В лекции кратко излагаются основные свойства искусственной ионосферной турбулентности (ИИТ) в области отражения мощной радиоволны обыкновенной поляризации (с частотой f_0) и описываются физические процессы, лежащие в основе ее возбуждения. ИИТ включает в себя высокочастотные квазипотенциальные плазменные волны с частотой

тами $f \sim f_0$ и различные низкочастотные возмущения: ионно-звуковые и нижнегибридные волны, вынужденные ионно-звуковые колебания, неоднородности концентрации плазмы, вытянутые вдоль геомагнитного поля, с поперечными масштабами от десятков сантиметров до километров. Высокочастотные плазменные волны ускоряют электроны до энергий 10–50 эВ, что, в результате столкновений этих электронов с нейтральными частицами, приводит к дополнительной ионизации ионосферной плазмы, в том числе к образованию искусственных отражающих слоев и к генерации оптического свечения ионосферы. Нагрев электронов электрическим полем плазменных волн приводит к подавлению фонового свечения за счет уменьшения концентрации возбужденных нейтральных частиц из-за уменьшения коэффициента рекомбинации с ростом температуры. Рассмотрены свойства искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ) и возможности исследования свойств ИИТ с помощью ИРИ, в том числе зависимость основных свойств ИИТ от соотношения f_0 и гармоник электронной циклотронной частоты. Обсуждаются результаты исследования модификации профиля электронной концентрации в ионосфере под действием мощной радиоволны.

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ ПО ЗЕМНОМУ ШАРУ И РОЛИ МОЛНИИ В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Е.А. Мареев

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

ON THE DISTRIBUTION OF THUNDERSTORM ACTIVITY OVER THE GLOBE AND ROLE OF LIGHTNING IN THE GLOBAL ELECTRIC CIRCUIT

E.A. Mareev

Institute of Applied Physics RAS, Nizhniy Novgorod, Russia

Лекция посвящена проблемам физики молнии и параметризации грозовой активности и ионосферного потенциала в моделях прогноза погоды и климата. Лекция содержит три основных раздела.

1. Методы мониторинга молниевой активности. Обзор современных грозолокационных сетей, включая глобальные сети WWLLN и GLD-360. Распределение молниевой активности по земному шару на основе глобальных сетей и оптических спутниковых данных. Отдельно рассматриваются сети мониторинга внутриоблачной молниевой активности в УКВ-диапазоне и LMA как наиболее развитая из них.

2. Статистические распределения молниевых вспышек по пиковому току. Основное внимание уделено физическим процессам и механизмам, определяющим статистику молний по току и энергии. Отдельно рассмотрены первые и последующие компоненты отрицательных вспышек облако—земля.

3. Учет атмосферных электрических явлений в моделях прогноза погоды и климатических моделях высокого разрешения. Проблема параметризации молниевых вспышек и ионосферного потенциала. Вариация молниевой активности в период Эль-Ниньо. Учет обратных связей между электрическими явлениями, изменениями состава и радиационным балансом. Нарботка окислов азота разрядами молнии в атмосфере.

The lecture is devoted to the problems of physics of lightning and parameterization of lightning activity and ionospheric potential in the models of weather and climate forecast. The lecture includes three main sections.

1. Methods of monitoring the lightning activity. Overview of modern lightning networks, including global networks WWLLN and GLD-360. Distribution of lightning activity over the globe on the basis of global networks and optical satellite data. Separately, monitoring networks

for intracloud lightning activity in the VHF band and LMA as the most developed of them are considered.

2. Statistical distributions of lightning flashes over peak current. The main attention is paid to physical processes and mechanisms that determine the statistics of lightning in terms of current and energy. Separately, the first and subsequent components of negative cloud-to-ground flashes are considered.

3. Accounting for atmospheric electrical phenomena in weather prediction models and high-resolution climate models. The problem of the parametrization of lightning flashes and the ionospheric potential. Variation of lightning activity during the El Niño. Allowance for feedback between electrical phenomena, composition changes and the radiation balance. Particular attention is paid to the problem of the production of nitrogen oxides by lightning discharges in the atmosphere.

ИОНОСФЕРНЫЙ ОТКЛИК НА ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

О.А. Похотелов

Институт физики Земли РАН, Москва, Россия
pokh@ifz.ru

IONOSPHERIC RESPONSE TO NATURAL AND ANTHROPOGENIC ACTION

O.A. Pokhotelov

Institute of Earth's Physics RAS, Moscow, Russia

В последние годы пристальное внимание уделяется изучению генерации электромагнитных волн в высоких широтах в УНЧ/СНЧ-диапазоне. Эти колебания обычно наблюдаются как наземными, так и спутниковыми средствами в разные периоды местного времени. Особое внимание уделяется генерации таких волн в так называемом ионосферном альфвеновском резонаторе (ИАР). С использованием реалистичных моделей нижней ионосферы были проанализированы физические свойства взаимодействия ИАР с магнитосферным конвективным потоком. Показано, что в отсутствие такого потока собственные моды ИАР подвержены сильному затуханию из-за утечки волновой энергии через верхнюю стенку резонатора и джоулевой диссипации в проводящей ионосфере. Максимальное затухание возникает, когда ионосферная проводимость совпадает с волновой проводимостью резонатора, и становится формально бесконечным. Наличие же холловской дисперсии, обусловленной зацеплением альфвеновской и магнитозвуковой мод, снимает эту сингулярность, и затухание становится конечным. Усиление магнитосферной конвекции приводит к существенной перестройке собственных мод ИАР и уменьшению их затухания. Для заданного поперечного волнового числа положение максимума затухания сдвигается в область меньшей ионосферной проводимости. Когда величина поля конвекции достигает определенного критического значения, резонатор становится неустойчивым. Эта неустойчивость получила название неустойчивости с положительной обратной связью. Физический механизм этой неустойчивости сходен с механизмом черенковского излучения в бесстолкновительной плазме. Наиболее благоприятные условия для ее возникновения реализуются в плазме с низкой проводимостью, т. е. в ночных условиях. Результатом неустойчивости может стать уменьшение электрического поля конвекции, необходимого для образования турбулентного альфвеновского слоя и появления аномальной проводимости в области локализации ИАР. Дан также обзор и искусственной генерации этих волн с помощью нагревных стендов типа EISCAT, HIPAS и HAARP. Моделирование наземного отклика усложняется тем обстоятельством, что на рассматриваемых частотах скин-длина сопоставима с толщиной ионосферы и необходимо учитывать пространственную

вертикальную структуру ионосферы. Кроме того, из-за наличия холловской проводимости магнитозвуковые и альфвеновские волны зацеплены друг с другом, обеспечивая сложный характер их взаимодействия. В данной модели генерация магнитного звука в F-области модулированным ВЧ-нагревом не зависит от наличия электроджета и может происходить в областях, далеких от области аврорального электроджета.

**ЭФФЕКТЫ ИОНИЗАЦИИ В АТМОСФЕРЕ И ВОЗМОЖНОСТИ
ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ВОПРОСАХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПРИРОДНЫХ
И ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ**

С.А. Пулинец

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия
pulse@rssi.ru

**IONIZATION EFFECTS IN THE ATMOSPHERE AND POSSIBILITIES
FOR THEIR USING IN PREVENTION NATURAL
AND TECHNOGENIC DISASTERS**

S.A. Pulinets

Space Research Institute RAS, Moscow, Russia

Основными источниками ионизации атмосферы являются природная радиоактивность Земли (в основном радон, его изотопы и дочерние продукты), галактические и солнечные космические лучи. Солнечное электромагнитное излучение (ультрафиолет и рентген) оказывают воздействие на верхние слои на высотах ионосферы и в настоящем исследовании не рассматриваются. Эффекты от обоих источников ионизации практически идентичны и могут рассматриваться в рамках единого механизма. Последствия или эффекты ионизации условно можно разделить на три группы: тепловые, метеорологические и электромагнитные. С точки зрения физико-химических процессов, приводящих к этим эффектам, следует рассматривать формирование легких ионов как первую ступень ионизации, кластеризацию за счет гидратации первичных ионов (ion induced nucleation), изменение химического состава атмосферы в результате плазмохимических реакций и рост образовавшихся частиц до размеров аэрозолей субмикронного и микронного размеров, выделение скрытой теплоты в результате присоединения молекул воды к ионным кластерам, изменение электрической проводимости тропосферы и индуцирование неоднородностей электронной концентрации в ионосфере.

В качестве природных явлений, наблюдаемых как результат ионизации, будут рассмотрены формирование тепловых и ионосферных аномалий над зонами подготовки сильных землетрясений, формирование облаков под воздействием галактических космических лучей, усиление и формирование тропических ураганов вследствие форбуш-эффекта космических лучей, роль долговременных вариаций потоков галактических лучей в глобальных изменениях климата.

ВИХРЕВЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ В ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ

О.В. Тихомирова, В.П. Аксенов

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия
science@iao.ru

VORTEX OPTICAL FIELDS IN A TURBULENT ATMOSPHERE

O.V. Tikhomirova, V.P. Aksenov

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia

Представлены результаты исследований распространяющихся в турбулентной среде оптических пучков с винтовыми особенностями волнового фронта. Обладающие такими особенностями световые поля называются вихревыми и являются предметом изучения в сингулярной оптике. Рассмотрены свойства оптических вихрей, условия их возникновения и трансформации, пространственная динамика потоков энергии в вихревых полях. Показана возможность эффективного использования вихревых лазерных пучков в атмосферных линиях связи.

Results of study of optical beams with screw peculiarities of the wave front when propagating in a turbulent media are presented. The light fields with such features are called vortex fields and are subject to study in singular optics. The properties of optical vortices, conditions for their appearance and transformation, the spatial dynamics of energy flows in vortex fields are considered. A possibility of effective application of vortex laser beams in atmospheric communication lines is demonstrated.

ПРОБЛЕМА ОПЕРАТИВНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ДАЛЬНЕЙ РАДИОЛОКАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ

Г.Н. Ткачёв

ОАО «НПК «Научно-исследовательский институт дальней связи», Москва, Россия
gtkachev@niidar.ru

PROBLEM OF PROMPT PROVISION OF UP-TO-DATE LONG-RANGE RADIOLOCATION SYSTEMS WITH GEOPHYSICAL DATA

G.N. Tkachev

Joint Stock Company “Scientific Research Institute of Long-Distance Radio Communications”, Moscow, Russia

В Советском Союзе в 60–70 гг. прошлого столетия была создана система предупреждения о ракетном нападении (СПРН). Основу наземного эшелона СПРН составляли РЛС метрового диапазона типа «Днестр». Одна из таких РЛС, после соответствующей доработки, используется в настоящее время ИСЗФ СО РАН в качестве средства измерения параметров ионосферы методом некогерентного рассеяния радиоволн.

Государственные испытания РЛС «Днестр» проводились в 1965 г., и тогда же разработчики РЛС «Днестр» и участники испытаний впервые заметили серьезное негативное влияние ионосферы на работу данной РЛС (ЗГ РЛС). Дело в том, что в РЛС «Днестр» используется на излучение и на прием антенна с линейной поляризацией. В ионосфере, как известно, линейно-поляризованный сигнал расщепляется на два сигнала круговой поляризации. В результате при приеме наблюдались замирания сигнала, отраженного от спутника сферической формы, его не должно было быть, если считать ионосферу изотропной. Разработчики РЛС в дальнейшем учли это обстоятельство, и в современных РЛС дальнего обнаружения метрового и дециметрового диапазонов волн используются две поляризации — горизонтальная и вертикальная.

Современные РЛС дальнего обнаружения имеют высокие точности измерения координат и скорости космических объектов. В связи с этим на первый план вышла другая проблема, обусловленная влиянием ионосферы, — проблема устранения ошибок ионосферного происхождения, т. е. ошибок, обусловленных рефракцией радиоволн в ионосфере, отличием скорости распространения радиоволн в ионосфере от скорости света и дисперсионными фазовыми искажениями сигналов [1]. Для компенсации этих ошибок нужны оперативные и достоверные сведения о параметрах ионосферы на трассах радиолокации, т. е. сведения о параметрах ионосферы в режиме «здесь и сейчас».

Разработчики РЛС принимают меры по получению информации о параметрах ионосферы в режиме «здесь и сейчас», т. е. на конкретных трассах радиолокации в текущий

момент времени. В частности, в РЛС дециметрового диапазона [2] для компенсации ионосферных ошибок измерения дальности и угла места используются данные текущих измерений полного электронного содержания по сигналам навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. Эти данные используются для текущей коррекции модели ионосферы, а затем проводятся необходимые оценки величины ионосферных ошибок по дальности и углу места. Аналогичным образом проводится учет ионосферных ошибок в американской РЛС дальнего обнаружения ALTAIR. Примечательно, что модель ионосферных ошибок корректируется в РЛС ALTAIR с темпом 10 секунд.

Использование данных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS позволило значительно уменьшить ошибки измерения дальности ионосферного происхождения. Однако угловые ошибки при этом не удается заметно уменьшить, поскольку они определяются градиентами электронной концентрации, а не полным электронным содержанием.

Разработчики загоризонтных РЛС (ЗГ РЛС) пространственной волны на коротких волнах для получения информации об ионосфере в режиме «здесь и сейчас» используют данные возвратно-наклонного зондирования (ВНЗ). Однако при практической реализации этой технологии имеются определенные ограничения.

В первых ЗГ РЛС пространственной волны, построенных в СССР, использовались антенны с вертикальным размером апертуры до 140 м, что позволяло сформировать узкий по углу места радиолуч и управлять им. В этом случае удавалось выделить в «теле» сигнала ВНЗ модовую структуру и использовать ее при интерпретации данных ВНЗ. Однако антенны с высотой до 140 м — слишком дорогое удовольствие. Поэтому в настоящее время за рубежом и в РФ используются на передачу и на прием антенны с широкой по углу места диаграммой направленности (ДН). При широких по углу места ДН резко сужаются информационные возможности сигналов ВНЗ. Четко наблюдается зависимость задержки переднего фронта сигнала ВНЗ от частоты, оценить же модовую структуру сигнала ВНЗ не представляется возможным.

В связи с этим информацию, полученную с использованием сигналов ВНЗ, требуется дополнять другими данными, например, данными наклонного и вертикального зондирования. В частности, в Австралии для обеспечения работы ЗГ РЛС пространственной волны создана система контроля состояния ионосферы в области вершины первого скачка, включающая 9 ионозондов вертикального зондирования, 6 станций наклонного зондирования и 6 приемопередатчиков, размещенных на островах и в северной части морского побережья Австралии. Темп обновления «карты» ионосферной погоды в зоне действия ЗГ РЛС Австралии составляет примерно 5 мин.

Для Российской Федерации задача получения информации об ионосфере в режиме «здесь и сейчас» в интересах обеспечения средств дальней надгоризонтной и загоризонтной радиолокации является значительно более сложной и многогранной по ряду причин.

Одна из причин — обширность территории РФ и недостаточная развитость инфраструктуры, особенно для районов Сибири и Арктики. Вторая причина — изменение динамики внешней среды. В настоящее время атмосфера и ионосфера стали более изменчивыми по сравнению с периодом времени 10–15 лет назад. Это связано с общим изменением климата на планете, уменьшением напряженности магнитного поля Земли, начавшимся ускоренным дрейфом магнитных полюсов Земли до 50 км в год (вместо 1–1.5 км), антропогенным влиянием и т. д.

Эти факторы, а также неизвестные науке глобальные геофизические изменения привели к более частому появлению спорадических образований различных масштабов в областях D, E, F2 ионосферы, диффузности слоя F2, изменению границ овала полярных сияний и т. д.; в тропосфере усилилась конвекция воздуха, перепады температуры днем и ночью стали более существенными в летнее время и т. д. Данные явления влияют на работу РЛС различного назначения и диапазонов волн и приводят к ухудшению точности измерения координат, к снижению вероятностных характеристик обнаружения, сокращению зоны обзора и т. д.

Для снижения негативных последствий влияния среды на работу РЛС дальнего обнаружения необходимо ее непрерывно контролировать. В Российской Федерации действуют две службы геофизического мониторинга и прогнозирования: Гелиогеофизический центр Института прикладной геофизики (ИПГ) и Центр прогнозов космической погоды ИЗМИРАН. Однако отечественные службы не были спроектированы так, чтобы обеспечивать гелиогеофизические потребности средств дальней радиолокации СПРН России в оперативном режиме, с заданным уровнем надежности.

В системе РАН и Росгидромета имеются организации, которые предметно и успешно занимаются диагностикой ионосферы. Но решить проблему получения ионосферных данных в режиме «здесь и сейчас», т. е. на конкретных трассах радиолокации и в текущий момент времени, даже при получении от НИИ РАН и Росгидромета геофизической информации, не получится по очень простой причине: темп измерений параметров внешней среды составляет, как правило, 15 мин, а распределение средств измерений по территории Российской Федерации оставляет желать лучшего. Поэтому данные, выдаваемые институтами РАН и Росгидромета в сеть интернета или по заявкам, для радиолокационных средств дальнего обнаружения Российской Федерации мало пригодны и практически недоступны.

Особую озабоченность вызывают районы Арктики. Средства дальнего радиолокационного обнаружения Российской Федерации контролируют эти районы, а данные о геофизической обстановке в этих районах весьма ограничены.

Что делать? В каких направлениях нужно двигаться? По мнению автора, прежде всего необходимо:

1. Форсировать разработку методов и средств диагностики параметров ионосферы, пригодных к реализации на аппаратных средствах РЛС дальнего обнаружения. В первую очередь это относится к методам, которые используют фазовые и частотные различия сигналов.

2. Изыскать возможности совмещения штатного режима работы РЛС дальнего обнаружения (обзор пространства, сопровождение космических объектов) и режима некогерентного накопления сигналов, обратно рассеянных электронами ионосферы.

3. Дооснастить РЛС дальнего обнаружения аппаратными средствами оперативной оценки момента начала внезапных ионосферных возмущений, например, измерителями доплеровского смещения частоты реперных источников излучения и т. п.

4. Продолжить работы по совершенствованию региональных, оперативно корректируемых моделей ионосферы с минимальным количеством внешних входных данных и без использования оценочных индексов, получаемых по интернету от зарубежных обсерваторий.

5. Форсировать работы по разработке методов прогнозирования параметров ионосферы, в том числе на очень коротких интервалах времени (от десятков секунд до нескольких минут).

Список литературы

1. Виноградов А.Г., Горбунов М.Е., Лучин А.А., Синчура А.А. Современное состояние и перспективы развития работ по компенсации атмосферных ошибок измерений в РЛС дальнего обнаружения на основе радиопросвечивания атмосферы двухчастотными сигналами навигационных систем // Труды РТИ им. акад. А.Л. Минца. М., 2011. Вып. 3 (47). С. 106–117.

2. Ясюкевич Ю.В., Оводенко В.Б., Мыльников А.А., Живетьев И.В., Веснин А.М., Едемский И.К., Котова Д.С. Метод компенсации ионосферной составляющей ошибки радиотехнических систем с применением данных полного электронного содержания GPS/ГЛОНАСС // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2017. № 2 (34). С. 19–31.

СТРАТОСФЕРА И МЕЗОСФЕРА ЗЕМЛИ: ОПТИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА

О.С. Угольников

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия
ougolnikov@gmail.com

**STRATOSPHERE AND MESOSPHERE OF EARTH:
OPTICAL AND THERMAL PROPERTIES**

O.S. Ugolnikov

Space Research Institute RAS, Moscow, Russia

В первой части лекции рассказывается о вертикальной структуре атмосферы Земли и основных физических и оптических свойствах, формирующих эту структуру. Рассматриваются взаимодействие коротковолнового солнечного излучения с веществом атмосферы, формирование озона и двух слоев эффективного нагрева (в стратосфере и термосфере). Вторая часть лекции посвящена анализу оптических широкоугольных наземных измерений температурного профиля верхней атмосферы, а также изучению микрофизических свойств частиц стратосферного аэрозоля и полярных мезосферных (серебристых) облаков и их связи с глобальными климатическими изменениями на Земле в последние десятилетия. Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, грант № 16-05-00170а.

The lecture starts from the description of vertical structure of the Earth's atmosphere and basic physical and optical properties forming this structure. Interaction of short-wave solar emission with the atmosphere, forming the ozone and two layers of effective heating (in stratosphere and thermosphere) is considered. The second part of lecture is devoted to the analysis of optical wide-field ground-based measurements of mesosphere temperature profile, investigations of microphysical properties of stratospheric aerosol and polar mesospheric (noctilucent) clouds particles, and their relation with global climate change on Earth during the recent decades. The work is supported by Russian Foundation for Basic Research, grant No. 16-05-00170a.