

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет радиофизики и электроники

Кафедра физики

**ТРАНЗИЕНТНЫЕ СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ
В ВЕРХНИХ СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ**

Курсовая работа студента 3 курса
Иванова Алексея Леонидовича

Руководитель:
ВЕРХОТУРОВА Е. В.

Минск, 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Открытие транзистентных световых явлений в атмосфере.	5
2. Строеение атмосферы. Электрическое поле в атмосфере. Образование ионов.....	7
2.1. Строеение атмосферы.....	7
2.2. Электрическое поле в атмосфере	11
2.3. Образование ионов.....	12
3. Феноменология разрядов и вспышек электромагнитного излучения в верхней атмосфере	15
4. Наблюдения и эксперименты по исследованию транзистентных вспышек излучения	21
Заключение	25
Литература	26

ВВЕДЕНИЕ

Грозы и грозовая деятельность интересовала человечество во все времена. С давних времён люди боялись гроз и поклонялись грозам, связывали с грозами отдельные религии. Примерно в начале 17 века грозами начинают активно интересоваться учёные. У нас в стране это были великий Михаил Ломоносов и его напарник по фамилии Рихман, в Англии – знаменитый Бенжамин Франклин. С тех пор было сделано множество открытий и изобретено множество приборов, которые позволяют избежать разрушений при ударе молнии и изучить мельчайшие подробности возникновения молний. Однако пристальные взгляды учёных до сих пор прикованы к этому удивительному явлению – грозе. До недавнего времени внимание исследователей в этой области было приковано к изучению молний во всех её проявлениях. Исследования проводились на темы, связанные с возникновением и распространением молниевых разрядов, а также на темы, связанные с защитой зданий и сооружений от прямых ударов молний.

Казалось, что исследований было проведено столько, что о физических процессах удара молнии и о грозах в целом мы знаем всё или почти всё.

Однако в 1989 году было случайно открыто явление, которое перевернуло представление о грозах вообще и о молниях в частности, – транзиентные световые вспышки в верхних слоях атмосферы. Как оказалось позднее, грозовые облака – намного более мощные источники энергии, чем представлялось ранее.

Информации по этому поводу в русскоязычной части мира почему-то очень мало. Складывается впечатление, что наша общественная наука намеренно избегает материалов и публикаций на эту тему. Тем не менее, с момента открытия этого явления прошло уже более 15 лет, и остаётся непонятным молчание нашей науки. Так или иначе, за рубежом исследованием этого явления вполне серьёзно занимаются, о чём свидетельствуют множество опубликованных исследовательских работ (диссертаций) на эту тему и непрекращающиеся научно-популярные статьи. Также в Европе и США работают группы наблюдателей-любителей, изучающих данный аспект гроз с помощью подручных средств.

Ученые надеются, что данные об этих явлениях позволят глубже понять природу вспышек в верхней атмосфере и создать модель взаимодействия верхней атмосферы и «ближнего» космоса с тем, чтобы диагностировать «космическую» погоду на высотах 100 - 1000 км, контролировать радиосвязь и безопасность полетов летательных аппаратов

на этих высотах. Эта интересная тематика привлекает внимание молодых ученых, которые активно участвуют как в создании новой космической техники, так и в анализе экспериментальных данных.

Сегодня изучение природы транзиентных световых явлений – это самый передний край науки. Судя по оценкам наблюдаемых явлений, в них должен быть огромный поток электронов, чтобы излучать ультрафиолет, возможно, что там присутствуют электроны высоких энергий, которые часто называют «убийцами». Проникающая способность подобных частиц намного выше, чем электронов низких энергий. По этой причине они способны пробить обшивку и самолетов, и спутников, тем самым нарушить работу электронного оборудования. Так, одной из причин крушения самолёта А-330 над Атлантикой (01.06.2009, Эр Франс) называются транзиентные световые явления.

Изучение и обобщение информации о транзиентных световых явлениях в верхних слоях атмосферы и является целью данной курсовой работы.

1. ОТКРЫТИЕ ТРАНЗИЕНТНЫХ СВЕТОВЫХ ЯВЛЕНИЙ В АТМОСФЕРЕ.

20 лет назад, в ночь с 5 по 6 июля 1989 года, в истории изучения планеты Земля произошло важное событие — Джон Рандольф Уинклер, отставной профессор, 73-летний ветеран NASA, направил на грозовые облака высокочувствительную видеокамеру, а потом, просматривая запись кадр за кадром, обнаружил две яркие вспышки, которые в отличие от молний шли не вниз, к земле, а вверх, к ионосфере. Так были открыты спрайты — самые крупные из высотных разрядов в атмосфере Земли. Они наглядно подтвердили существование на нашей планете глобальной электрической цепи и дали новые возможности для ее исследования [1].

Разряды, зарегистрированные Джоном Уинклером, стартовали с высоты 14 километров, а их размеры составляли более 20 километров. Механизм, приводящий к их появлению, был неясен, и требовалась большая научная смелость, чтобы объявить об электрическом разряде, поднимающемся от границ тропосферы на такую высоту. Чтобы получить более убедительные доказательства, Уинклер дождался, когда накрыл ураган «Хьюго» и в ночь с 22 на 23 сентября снова записал на видеокамеру много подобных высотных разрядов над грозовыми облаками. Формально он вел это исследование как любитель, поскольку оно не входило ни в какие программы научных работ.

На пленках обнаружилось больше десятка подобных разрядов. По этим данным были сделаны публикации в ведущих научных журналах «Geophysical Research Letters» (1989) и «Science» (1990).

После этих публикаций в NASA уже не могли отмахнуться от возможной угрозы космическим кораблям и начали развернутое исследование высотных разрядов.

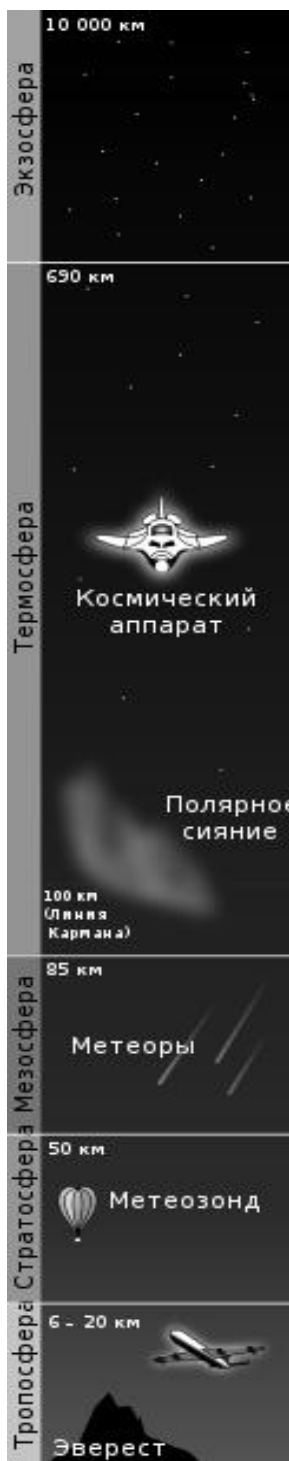
В первую же ночь наблюдений, 7 июля 1993 года, на научной станции вблизи Форт-Коллинса (штат Колорадо) исследователи зафиксировали больше 240 высотных разрядов. На следующую ночь была задействована специализированная летающая лаборатория на борту самолета DC-8. Огромные вспышки были обнаружены на высотах не менее 50 — 60 километров. В честь Пака из шекспировского «Сна в летнюю ночь» им дали название спрайтов, то есть духов воздуха.

Естественно, встал вопрос: почему об этих разрядах ничего не знали раньше, если каждый мощный грозовой фронт порождает их десятками? Анализ литературы показал, что на протяжении сотни лет многие люди видели над облаками не обычные и очень большие разряды. Их называли ракетными молниями, облачно-стратосферными разрядами,

восходящими молниями и даже молниями «облако — космос». Однако в отсутствие надежных доказательств странные сообщения очевидцев просто игнорировались.

2. СТРОЕНИЕ АТМОСФЕРЫ. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В АТМОСФЕРЕ. ОБРАЗОВАНИЕ ИОНОВ.

2.1. Строение атмосферы



Атмосфера — газовая оболочка (геосфера), окружающая планету Земля. Внутренняя её поверхность покрывает гидросферу и частично земную кору, внешняя граничит с околоземной частью космического пространства [2].

Основным признаком, определяющим подразделение атмосферы на отдельные слои, является изменение ее температуры с высотой. Характер этого изменения во многом зависит от состава атмосферы.

Тропосфера — нижний, наиболее изученный слой атмосферы, высотой в полярных областях 8 – 10 км, в умеренных широтах до 10 – 12 км, на экваторе — 16–18 км.

В тропосфере сосредоточено более 80% всей массы атмосферного воздуха, сильно развиты турбулентность и конвекция, сосредоточена преобладающая часть водяного пара, возникают облака, формируются и атмосферные фронты, развиваются циклоны и антициклоны, а также другие процессы, определяющие погоду и климат.

При подъёме через каждые 100 м температура в тропосфере понижается в среднем на $0,65^\circ$ и достигает 220К (-53°C) в верхней части. Этот верхний слой тропосферы называют тропопаузой.

Часть тропосферы, в пределах которой на земной поверхности возможно зарождение ледников называется хионосферой.

Происходящие в тропосфере процессы обусловлены, прежде всего, конвекцией.

Следующий, расположенный выше тропосферы, слой атмосферы называется стратосфера.

Тропопауза — часть атмосферы, переходный слой от тропосферы к стратосфере. Расположена, в среднем, в 12 км от поверхности Земли.

Толщина тропопаузы составляет от нескольких сотен метров до 2 — 3 километров. Высота тропопаузы зависит от географической широты, циклонической деятельности и сезона (летом тропопауза расположена выше, чем зимой). В субтропиках наблюдаются разрывы тропо-

паузы, обусловленные мощными струйными течениями. Тропопауза над отдельными районами часто разрушается и формируется заново.

В тропопаузе градиент температуры, имеющийся в тропосфере, уменьшается; иногда наблюдается температурная инверсия.

Стратосфера — слой атмосферы, располагающийся на высоте от 11 до 50 км. Характерно незначительное изменение температуры в слое 11–25 км (нижний слой стратосферы) и повышение её в слое 25–40 км от $-56,5$ до $0,8^{\circ}\text{C}$ (верхний слой стратосферы или область инверсии). Достигнув на высоте около 40 км значения около 273К (почти 0°C), температура остаётся постоянной до высоты около 55 км. Эта область постоянной температуры называется стратопаузой и является границей между стратосферой и мезосферой.

Именно в стратосфере располагается слой озоносферы («озоновый слой») (на высоте от 15 – 20 до 55 – 60 км), который определяет верхний предел жизни в биосфере. Озон (O_3) образуется в результате фотохимических реакций наиболее интенсивно на высоте ~ 30 км. Общая масса O_3 составила бы при нормальном давлении слой толщиной 1,7 – 4,0 мм, но и этого достаточно для поглощения губительного для жизни ультрафиолетового излучения Солнца. Разрушение O_3 происходит при его взаимодействии со свободными радикалами, NO, галогенсодержащими соединениями (в т. ч. «фреонами»).

В стратосфере задерживается большая часть коротковолновой части ультрафиолетового излучения (180 – 200 нм) и происходит трансформация энергии коротких волн. Под влиянием этих лучей изменяются магнитные поля, распадаются молекулы, происходит ионизация, новообразование газов и других химических соединений. Эти процессы можно наблюдать в виде северных сияний, зарниц и других свечений.

В стратосфере и более высоких слоях под воздействием солнечной радиации молекулы газов диссоциируют — на атомы (выше 80 км диссоциируют CO_2 и H_2 , выше 150 км — O_2 , выше 300 км — H_2). На высоте 200 – 500 км в ионосфере происходит также ионизация газов, на высоте 320 км концентрация заряженных частиц (O^+_{2} , O^-_{2} , N^+_{2}) составляет $\sim 1/300$ от концентрации нейтральных частиц. В верхних слоях атмосферы присутствуют свободные радикалы — $\text{OH}\cdot$, $\text{HO}\cdot_2$ и др.

Стратопауза — слой атмосферы, являющийся пограничным между двумя слоями, стратосферой и мезосферой. В стратосфере температура повышается с увеличением высоты, а стратопауза является слоем, где температура достигает максимума. Температура стратопаузы — около 0°C .

Данное явление наблюдается не только на Земле, но и на других планетах, имеющих атмосферу.

На Земле стратопауза находится на высоте 50 – 55 км над уровнем моря. Атмосферное давление составляет около 1/1000 от давления на уровне моря.

Мезосфера — слой атмосферы на высотах от 40 – 50 до 80 – 90 км. Характеризуется повышением температуры с высотой; максимум (порядка +50°C) температуры расположен на высоте около 60 км, после чего температура начинает убывать до –70° или –80°C. Такое повышение температуры связано с энергичным поглощением солнечной радиации (излучения) озоном. Термин принят Географическим и геофизическим союзом в 1951 году.

Газовый состав мезосферы, как и расположенных ниже атмосферных слоев, постоянен и содержит около 80% азота и 20% кислорода.

Мезосфера отделяется от нижележащей стратосферы стратопазой, а от вышележащей термосферы — мезопазой. Мезопауза в основном совпадает с турбопазой.

Мезопауза — слой атмосферы, являющийся пограничным между двумя слоями, мезосферой и термосферой. На Земле располагается на высоте 80 – 90 км над уровнем моря. В мезопазе находится температурный минимум, который составляет около –225°C (температура постоянная или медленно повышается), выше неё (до высоты около 400 км) температура снова начинает расти. Мезопауза совпадает с нижней границей области активного поглощения рентгеновского и наиболее коротковолнового ультрафиолетового излучения Солнца. На этой высоте наблюдаются серебристые облака.

Мезопауза имеется не только на Земле, но и на других планетах, имеющих атмосферу.

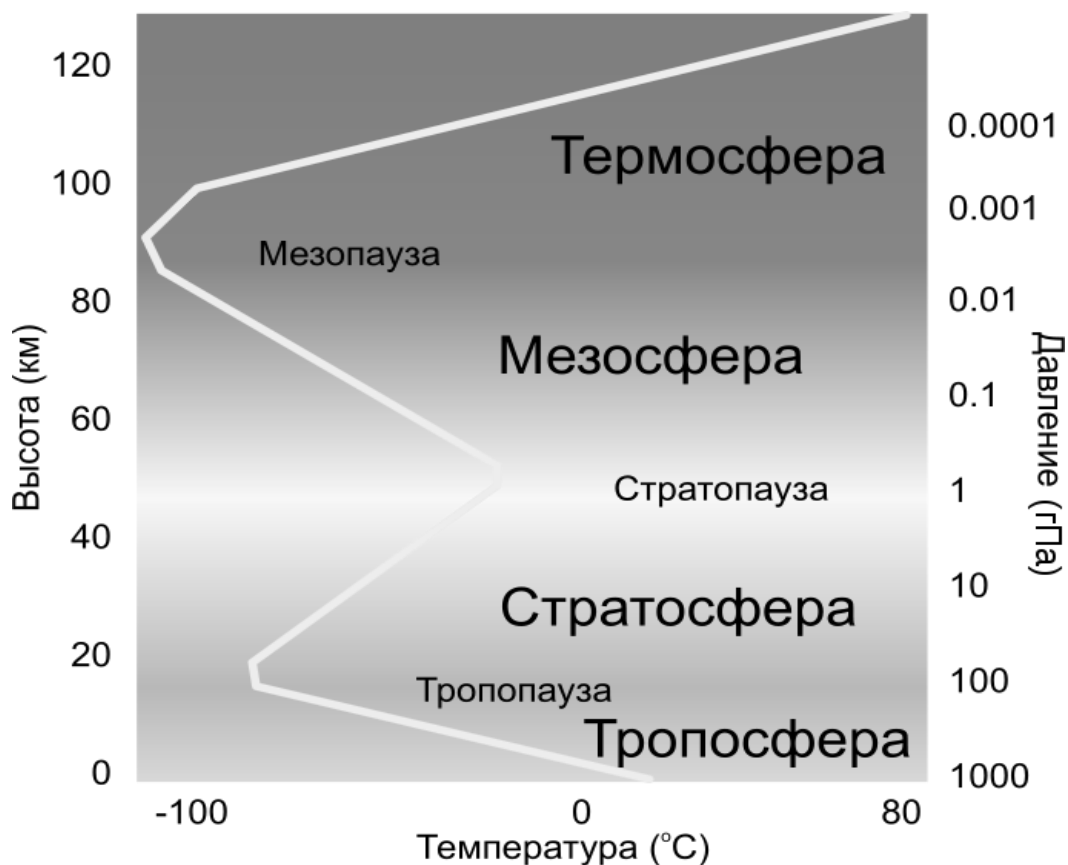


Рис. 2.1.1. Атмосферные слои до высоты 120 км

Термосфера — слой атмосферы, следующий за мезосферой, — начинается на высоте 80 – 90 км и простирается до 800 км. Температура воздуха в термосфере колеблется на разных уровнях, быстро и разрывно возрастает и может варьироваться от 200К до 2000К, в зависимости от степени солнечной активности. Причиной является поглощение ультрафиолетового излучения Солнца на высотах 150 – 300 км, обусловленное ионизацией атмосферного кислорода. В нижней части термосферы рост температуры в сильной мере обусловлен энергией, выделяющейся при объединении (рекомбинации) атомов кислорода в молекулы (при этом в энергию теплового движения частиц превращается энергия солнечного УФ-излучения, поглощённая ранее при диссоциации молекул O_2). На высоких широтах важный источник теплоты в термосфере — джоулева теплота, выделяемая электрическими токами магнитосферного происхождения. Этот источник вызывает значительный, но неравномерный разогрев верхней атмосферы в приполярных широтах, особенно во время магнитных бурь.

Экзобаза — основание экзосферы, лежащее на высотах порядка 400 – 800 км.

Экзобаза — верхний предел атмосферы, где взаимные соударения удерживают частицы газов, и не происходит выброс газов в космос. Выше экзобазы уже ничто не может остановить атом или молекулу, имеющие достаточную скорость для вылета в космос.

Температура на высоте экзобазы Земли колеблется вблизи 1000К, что соответствует средней скорости атомов водорода около 5 км/с. Это меньше второй космической скорости для Земли на этой высоте (10,8 км/с); но скорости атомов вокруг среднего значения распределены широко, поэтому некоторые атомы водорода имеют шанс преодолеть притяжение планеты.

Экзосфера — самая внешняя часть верхней атмосферы Земли и планет с низкой концентрацией нейтральных атомов. Для атомов экзосферы достаточно высока вероятность покинуть атмосферу без столкновений с другими атомами. Протяжённую экзосферу Земли, распространяющуюся вплоть до высот порядка 100 тыс. км, часто называют геокороной, она состоит из атомов водорода, «испаряющихся» из верхней атмосферы.

2.2. Электрическое поле в атмосфере

В обычный день над пустынной равниной или над морем электрический потенциал по мере подъёма возрастает с каждым метром на 100 В, т.е. в воздухе имеется вертикальное электрическое поле $E=100 \text{ В/м}$. Земная поверхность заряжена отрицательно. Это не означает, что между ногами и головой человека разность потенциалов более 100 В: тело — довольно хороший проводник. Человек, стоящий на земле, образует с ней эквипотенциальную поверхность, так как заряды с земли переходят на его голову. Поле вблизи земли, обычно параллельное ей (рис.2.2.1,а), искажается и выглядит так, как показано на рис.2.2.1,б.

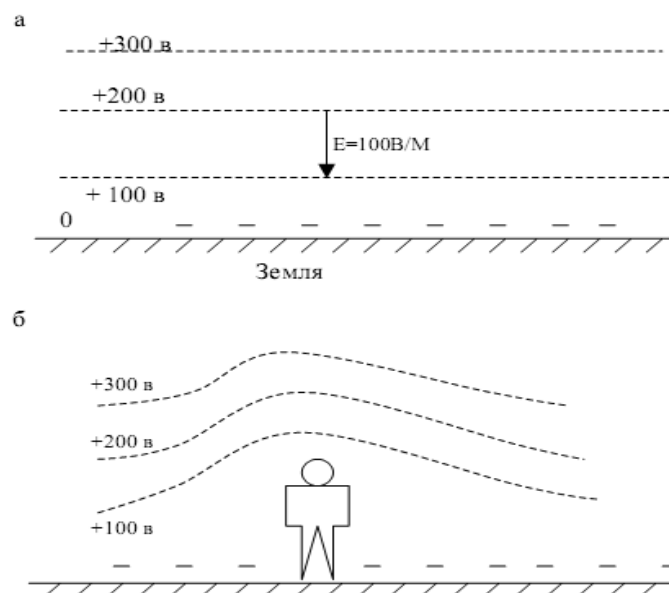


Рис.2.2.1. Распределение потенциала

Электрическое поле медленно ослабевает с высотой. На высоте 50 км оно уже еле заметно. Вся разность потенциалов между поверхностью земли и верхом атмосферы равна почти 400 тысяч вольт. В этом поле к земле всё время течёт слабый электрический ток: через каждый квадратный метр параллельной земле поверхности проходит около 10^{-6} мкА. Значит, атмосфера обладает проводимостью, которая создаётся ионами.

2.3. Образование ионов

[3] Воздух ионизуется космическими лучами – заряженными частицами высоких энергий. Они испускаются Солнцем и представляют собой ядра атомов, в основном протоны, и электроны. Это – первичные космические лучи. Они находятся за пределами земной атмосферы. Энергия их огромна: на каждую частицу в среднем приходится $10^8 \dots 10^{13}$ эВ (для сравнения – средняя тепловая энергия молекул газа при комнатной температуре кТ имеет величину порядка 10^{-2} эВ). Врываясь в атмосферу Земли, первичные лучи сталкиваются с атомами азота и кислорода воздуха, отдают им свою энергию, срывая с них электронные оболочки. Возникают электронно-ядерные ливни, ядра расщепляются до отдельных нуклонов. Это – вторичные космические лучи. Образуются **широкие атмосферные ливни** (ШАЛ). Поперечные размеры ливня более 1 км^2 ; при энергиях первичных частиц свыше 10^{13} эВ ливень может содержать многие миллионы частиц, в основном электроны и позитроны.

Космические лучи постоянно снабжают воздух ионами («малые ионы»), которые окружаются другими ионами, образуя заряженные

«комочки», медленно движущиеся в электрическом поле Земли - так создаётся ток. Ионы могут образовываться и не только из молекул. Заряжаются частички пыли, попадающие в воздух с земли. Их называют «ядрами». Мелкие брызги морской воды испаряются, оставляя кристаллики NaCl. И они могут заряжаться, образуя «большие ионы». Малые ионы проносятся в воздухе со скоростью 1 см/с в поле 100 В/м. Большие ионы и ядра движутся гораздо медленнее.

Проводимость воздуха изменчива. Она очень чувствует его засорённость. С высотой она увеличивается по двум причинам: во-первых, с высотой растёт ионизация воздуха космическими лучами; во-вторых, уменьшается плотность воздуха, увеличивается длина свободного пробега ионов в поле.

Весь электрический ток, достигающий земной поверхности, равен примерно 1800 А. Он переносит к Земле положительные заряды. Мощность этого тока (т.е. энергия, переносимая за секунду) составляет при напряжении 400 кВ огромную величину – 700 миллионов ватт (700 мегаватт). При таком токе отрицательный заряд земной поверхности должен бы очень быстро компенсироваться. Понадобилось бы около получаса, чтобы разрядить всю Землю. Однако этого не происходит.

На высоте около 50 км над землёй проводимость воздуха так велика, что там существует практически проводящая сфера, из которой вытекают вниз токи (это ещё не ионосфера - верхняя часть атмосферы, сильно ионизованная под влиянием ультрафиолетового, рентгеновского и корпускулярного излучения Солнца [4]). Ток атмосферы меняется в течение суток примерно на $\pm 15\%$ и достигает максимального значения в 19.00 часов по лондонскому времени одновременно на всей Земле. Минимальное его значение – в 4.00 часа по тому же времени и тоже везде. Любые изменения потенциала и должны быть всемирными, если Земля окружена проводящей сферой.

Отрицательный заряд земной поверхности поддерживается молниями. Они заряжают Землю током в 1800 А электричества (ток – это заряд, протекающий в единицу времени), которое затем разряжается в районах с хорошей погодой. На Земле каждые сутки гремит около 300 гроз. Оценка того, сколько молний ежесекундно бьёт в Землю, показала, что максимум грозовой деятельности приходится на 19.00 часов по лондонскому времени.

Как уже было сказано, грозы заряжают землю отрицательно, а ионосферу – положительно. Внутри грозового облака разность потенциалов гораздо выше, чем между ионосферой и землей [3]. Создается она за счет разделения зарядов в теплых и влажных восходящих пото-

ках, которые возникают в атмосфере над нагретой Солнцем земной поверхностью. По еще не вполне ясным причинам самые мелкие водяные капли и ледяные кристаллики заряжаются положительно, а более крупные — отрицательно. Восходящие потоки легко выносят мелкие положительно заряженные частицы на большую высоту, а крупные, проваливаясь под действием своей тяжести, в основном остаются внизу. Разность потенциалов между заряженными областями внутри электризованных облаков может достигать миллионов вольт, а напряженность поля — 2000 В/см. Бьющие из подошвы облака молнии, как правило, несут к земле отрицательный заряд, а сверху положительный стекает в ионосферу, поддерживая между ионосферой и землей разность потенциалов.

При разряде молнии во все стороны от нее распространяется сильное возмущение электрического поля. В нижних слоях атмосферы, где нет свободных электронов, эта волна не производит никаких эффектов. На высотах более 50 километров немногочисленные имеющиеся в воздухе свободные электроны начинают разгоняться под воздействием импульса электрического поля.

Но плотность воздуха все еще слишком велика, и электроны сталкиваются с атомами, не успевая набрать заметной скорости. Лишь на высотах около 70 километров длина свободного пробега, а с ней и энергия электронов увеличивается настолько, чтобы при столкновениях возбуждать и даже ионизировать атомы и молекулы, отрывая от них новые электроны. Те, в свою очередь, тоже разгоняются, запуская лавинообразный процесс. Волна ионизации движется к земле, проникая во все более плотные слои атмосферы. Ток с нарастанием числа свободных электронов резко усиливается, возбужденных атомов и молекул становится все больше, и вот мы уже видим свечение высотного разряда. Так молнии в нижних слоях атмосферы на короткое время «высвечивают» (и усиливают) токи в ее верхних слоях.

3. ФЕНОМЕНОЛОГИЯ РАЗРЯДОВ И ВСПЫШЕК ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЕ

Наиболее изученными вспышками света являются вспышки от молний. Кроме молний, существует менее известный тип атмосферных разрядов. Над системами грозовых облаков со спутников, самолетов и земной поверхности неоднократно наблюдались высотные оптические «транзиентные» явления: «синие струи» (Blue Jets), «красные спрайты» (Red Sprites) «эльфы» (Elves) (см. рис. 3.1).

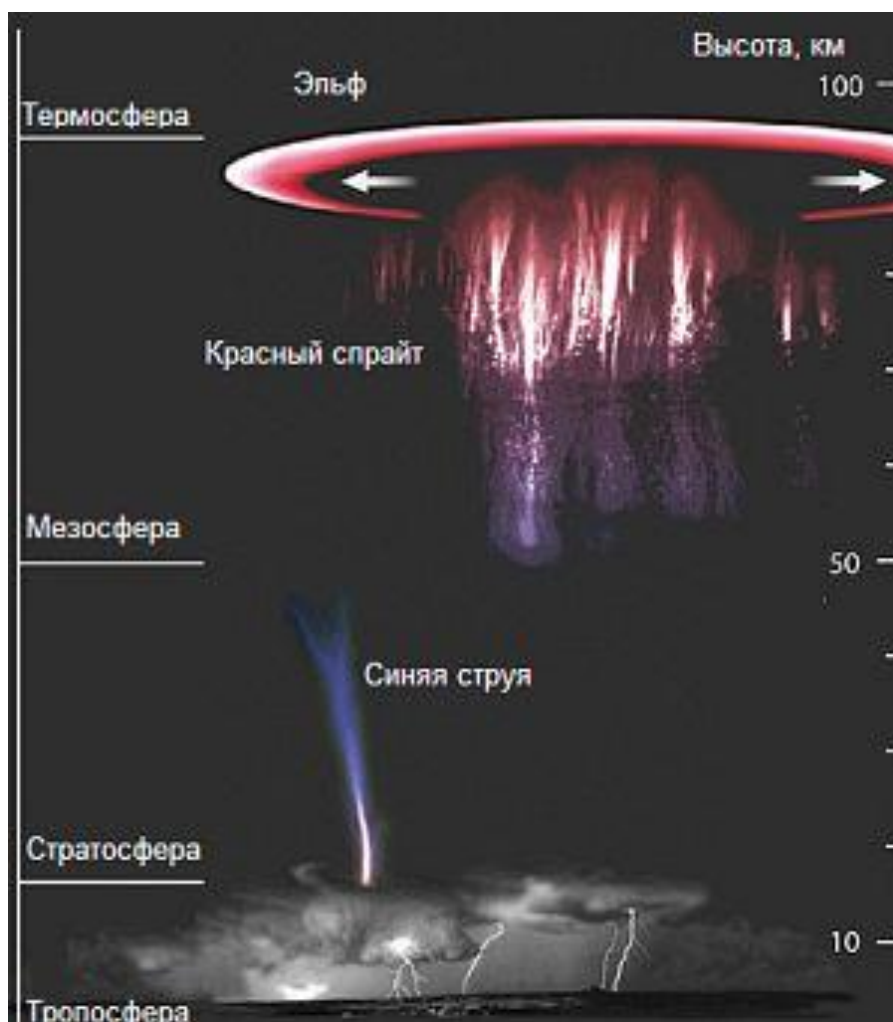
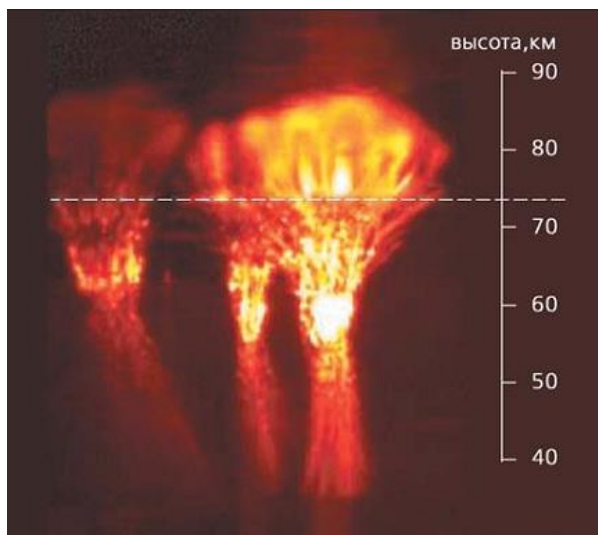


Рис.3.1. Выско-атмосферные оптические вспышки (с точки зрения детекторов, направленных к горизонту).

Спрайты – огромные, но слабосветящиеся вспышки-конусы (чаще всего криволинейные конусы), которые появляются непосредственно из верхней части грозового облака (наковальни). Они появляются выше активной системы (ядра) грозы и прямо связаны с ударами линейных и плоских молний. Они представляют собой конусной формы красного цвета, которые могут располагаться над облаком либо группами, либо по отдельности. Спрайты очень высоки, их макушки поднимаются в среднем на высоту до 95 км (рис.3.2, 3.3)



*Рис.3.2. Фотография спрайта (По: Pasko V.P., Stenbaek-Nielsen H.C.
// Geophys. Res. Lett. 2002. V.29 (A10); doi: 10.1029/2001GL014241).*

Самая яркая область спрайтов находится на высоте около 65 – 75 км, выше которых иногда появляется слабое красное свечение или тонкие красные «подсветы», распространяющиеся до высоты в 90 – 95 км.

Ниже красных пятен располагается синяя полоса в виде нити или каната, которая связывает красное пятно (пятна) и ядро грозы. Как выяснилось, синие «рукава», связывающие красные пятна с облаком, могут опускаться вниз на расстояние до 40 км. Спрайты редко появляются в одиночку. Чаще они появляются парами или тройками. Очень большие спрайты при ближайшем рассмотрении представляют собой набор более маленьких, тесно возникших одиночных спрайтов.

Иногда расстояние между спрайтами, возникающими над отдельной грозовой зоной, составляет около 50 км. Объёмы, в которых сверкают спрайты, достигают 10 000 кубических километров.

Продолжительность вспышки спрайта обычно составляет 10 – 100 миллисекунд, поэтому невооруженным глазом, в среднем воспринимающим мерцание не короче 300 – 400 миллисекунд, спрайт

разглядеть невозможно. К тому же спрайт формируется на высоте 50 – 100 км, над грозой.

Текущие исследования указывают на то, что спрайты возникают преимущественно в разрушающихся грозовых облаках. Также обращается внимание на то, что спрайты связаны с положительными разрядами молнии в отрицательно заряженную поверхность земли. (Обычно нижняя граница грозового облака заряжается отрицательно, а по индукции поверхность Земли – положительно. Бывает, что из-за некоторых процессов в облаке полярность меняется, и молнии бьют из положительно заряженного облака в отрицательно заряженную землю. Положительный удар молнии – такой удар, при котором молния бьёт из положительно заряженного облака в отрицательно заряженную землю).

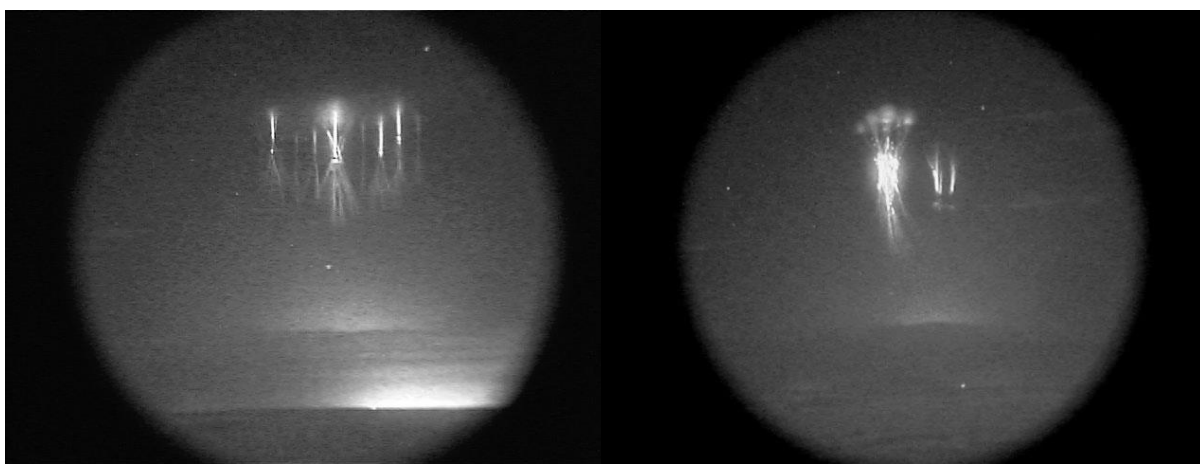


Рис.3.3. Спрайты над грозами в Канзасе 10 августа 2000 г. Наблюдались в мезосфере на высоте 50 - 90 км в ответ на мощные разряды молний тропосферных гроз. Истинный их цвет не тот, что на фотографиях, а розовато-красный.

Яркость спрайтов принято оценивать по блеску звёзд, принятого в астрономии. Практически яркость высокоатмосферной вспышки сравнивают с блеском звёзд, находящихся рядом, так как такие наблюдения в основном происходят в ночное время.

Иногда спрайты сопровождаются так называемым **гало** длительностью около миллисекунды. Под термином "гало" в данном случае подразумевается область слабого оптического свечения на высотах около 50 км и толщиной в десяток километров. Гало всегда возникает прямо над вспышкой молнии.

Эльфы – красноватые кольцообразные вспышки (рис.3.4), происходящие на базе ионосферы на высоте приблизительно 100 км. Эльфы выглядят как быстро расширяющееся в плоскости тусклое свечение, достигающее в диаметре сотен километров. Цвет эльфов, как и у спрайтов, связан с атмосферным азотом. Длительность существования эльфа – около одной миллисекунды.

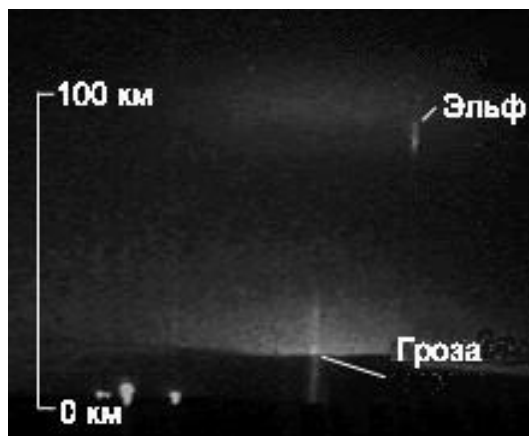


Рис.3.4. Эльф

Меньше, чем за миллисекунду свечение, возникнув в центре, расширяется до 300 — 400 километров и угасает. Они рождаются через 300 микросекунд после сильной молнии, ударившей из грозового облака в землю. Ее ствол становится «передающей антенной», от которой со скоростью света стартует мощная сферическая электромагнитная волна очень низкой частоты. За 300 микросекунд она как раз добирается до высоты 100 километров, где возбуждает красно-фиолетовое свечение молекул азота. Чем дальше уходит волна, тем шире становится кольцо, пока не угасает с удалением от источника.

Получить качественные кадры эльфа до сих пор не получилось.

Голубые джеты, или гномы (рис.3.5), представляют собой трубки-конусы синего цвета, которые живут относительно дольше спрайтов и, как правило, тесно не связаны с ударами линейных или плоских молний.

Из облака джеты выстреливают с приблизительно скоростью 100 км/с, на высоту приблизительно 50 – 60 км.

Свечение молекул азота в ультрафиолетово-голубой полосе дает голубой цвет джетов. Продолжительность явления составляет доли секунды.

Джеты, как правило, немного слабее в блеске, чем спрайты, но иногда встречаются джеты, сопоставимые по блеску со спрайтами.

Кроме обычных джетов с верхней кромки облака иногда срываются вверх так называемые **голубые стартеры**. Они не поднимаются выше

30 километров. Существует предположение, что это просто разряд молнии, направленный вверх, в область, где давление быстро падает, и поэтому стартеры расширяются гораздо сильнее обычных молний.

Гигантские джеты (gigantic jets) (рис.3.6) "связывают" вершины облаков (16 км) с ионосферой (70 - 80 км). Однако наблюдаются они чрезвычайно редко, и надежно их регистрировали не более дюжины раз.

Длительность их составляла около секунды, что позволяет заметить их невооруженным глазом, и по своей форме они подразделялись на "древовидные струи" (tree jets) и "морковообразные струи" (carrot jets).



Рис.3.5. Голубые джеты — один из самых загадочных видов высотных разрядов. Они срываются с верхней кромки грозовых облаков и поднимаются вверх на 10, 20, а то и 30 километров. Фото – SPL/EAST NEWS

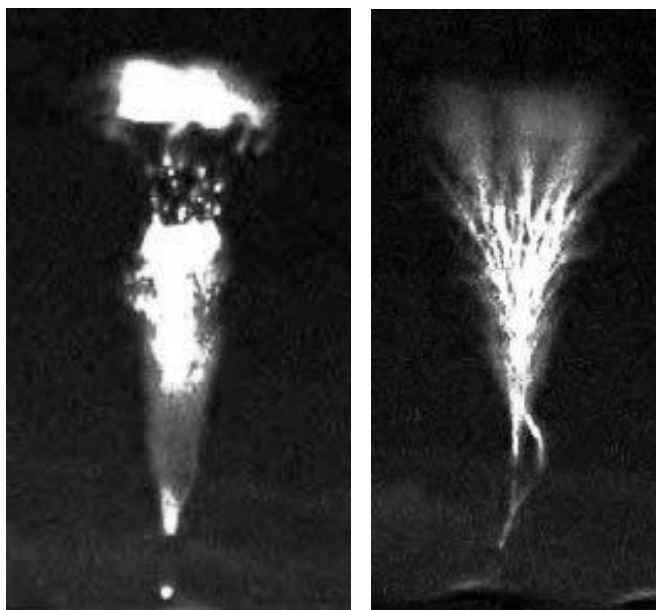


Рис. 3.6. Гигантские джеты (gigantic jets)

4. НАБЛЮДЕНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ТРАНЗИЕНТНЫХ ВСПЫШЕК ИЗЛУЧЕНИЯ

[5] Первые сообщения метеорологов о таких молниях появились еще в 1920-х, но в них никто не поверил. Сталкивались с ними и пилоты трансатлантических рейсов, а в 1957 - 58 гг. американцы Руми и Атлас получили первое документальное подтверждение – зафиксировали радиолокационные отражения от молний, бьющих на высоте 20 км. Только в 1970-х после запуска советских (серия «Космос») и американских спутников со специальной аппаратурой удалось зарегистрировать интенсивные вспышки света. С фотографией дела обстоят еще хуже: до сих пор за всю историю наблюдения эльфов и спрайтов удалось сделать только 2 качественных снимка.

О первых попытках видеосъемки спрайтов сообщалось в 1999 году. Вскоре ученые предприняли еще одну попытку – с помощью делающей до тысячи кадров в секунду видеокамеры, но также безуспешно. Дело в том, что продолжительность вспышки спрайта обычно составляет 10 – 100 миллисекунд, поэтому невооруженным глазом, в среднем воспринимающим мерцание не короче 300 – 400 миллисекунд, спрайт разглядеть невозможно. Хотя в местах, где распространены сверхмолнии, он возникает довольно часто. К тому же спрайт формируется на высоте 50 – 100 км, над грозой, и от Земли надежно закрыт лежащими ниже тучами.

Постепенно камеры совершенствовались и сегодня уже можно получить неплохие результаты с камер способных снимать 10000 кадров в секунду. Видеонаблюдения позволили обнаружить очень короткие спрайты. Специалисты считают, что возникновение их связано не только с возбуждением среды мощными радиоволнами, сопровождающими разряд молнии, но и с воздействием частиц высокой энергии космического излучения.

Эльфы вспыхивают огромным красноватым кольцом. Спрайты похожи на медуз. Красные медузы, появляющиеся ниже спрайтов, это тайгеры. Голубые джеты - самые низложившие из всех ионосферных обитателей - выглядят синими фонтанами.

[6] Первые более-менее удачные кадры были получены летом 2005 года в Колорадо (Соединенные Штаты Америки). Исследователи выбрали точку для своих измерений – полевую станцию Yucca Ridge Field Station в Форт-Коллинсе, Колорадо. Снимали работники Праттовской инженерной школы при университете Дьюка. Их камера совершала пять тысяч кадров в секунду. Получить пристойные кадры эльфа никому не посчастливилось. Но и спрайт научные работники толком не

рассмотрели. Как рассказал участник исследования Николас Джоги, иногда спрайты следуют друг за другом раз в 10 – 15 минут, а иногда можно увидеть всего два спрайта за четыре часа. На телеэкране, даже когда наблюдатель знает, с чем он имеет дело, можно увидеть только короткую вспышку. Но затем при восстановлении полученного быстродействующей камерой изображения становится ясно: спрайт – это очень красиво, по выражению Джоги. Всего ученым удалось 76 записей, на 66 из них хорошо различимы отдельные элементы спрайта.

Как показывают наблюдения, спрайты обычно возникают над поверхностью грозовых облаков, имеют длину около 50 миль, причем наполовину состоят из «головы» – наиболее яркой нижней части, выше – тонкие светящиеся линии.

Для того чтоб приметить поведение явления понадобилась аппаратура, обладающая быстротой в десять тысяч кадров в секунду. Такую камеру использовали эксперты по физике воздуха из Университета Аляски под управлением Ганса Нельсена.

Скорость – одна десятая скорости света. На раскадровке стало видно то, что загадочное свечение зарождается в виде больших шаров. В первую очередь они летят книзу (наверху), затем – кверху (внизу).

[7] Недавно очередную попытку предприняли израильские исследователи из Университета Тель-Авива (Tel Aviv University in Israel). Израильтяне подтвердили наличие шаров. Но подметили еще одну особенность их поведения. Ученые рассмотрели, что шары не просто прыгают примерно на 15 километров, а выстраиваются при этом в круг. Получается «хоровод» диаметром в 50 – 70 километров.

Геофизик из Тель-Авива Колин Прайс (Colin Price) полагает, что появление в космосе спрайтов каким-то образом провоцируют земные – «нижние» грозы.

Авторы данной работы изучали так называемые зимние спрайты (появляются в зимние месяцы в северном полушарии) при помощи дистанционно управляемых камер, установленных на крыше. Такой способ позволил ученым наблюдать грозы, «производящие» спрайты, когда они еще находились над Средиземным морем (сами приборы находились на территории Израиля).

[8] На протяжении пяти лет (2000 – 2005 гг.) ученые из Национального космического центра Дании изучали спрайты при помощи камер на вершинах гор. Однако они позволяли делать лишь снимки небольших вспышек из облаков, расположенных на небольшой высоте.

Размещение камер на МКС позволит производить наблюдения за огромными вспышками, вырывающимися из облаков.

В настоящее время в Национальном космическом центре Дании уже есть отработанный набор инструментов для подобных исследований, получивший название Монитор атмосферно-космических взаимодействий (ASIM). Его и намерено использовать в своих исследованиях ЕКА (Европейское космическое агентство).

[9] Первый спутник МГУ им. М.В. Ломоносова «Университетский – Татьяна» в феврале 2005 года зарегистрировал световые вспышки УФ диапазона. Все наблюдавшиеся всплески ультрафиолета длительностью в миллисекунды и мощностью до 10 Джоулей были расположены вблизи экваториальной плоскости, где и располагалась область интенсивной облачности (рис.4.1).

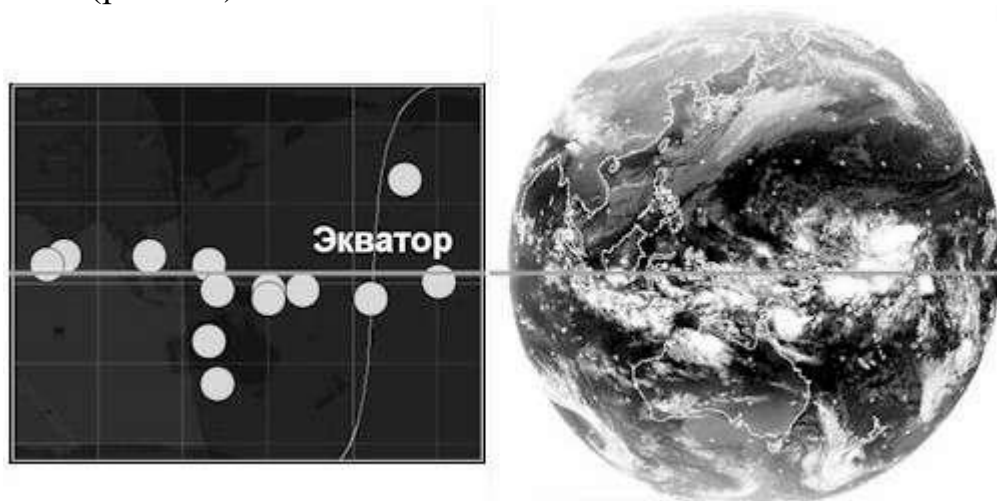


Рис.4.1. Пространственное распределение всплесков ультрафиолетового свечения по наблюдениям на спутнике «Университетский – Татьяна» и облачный покров в феврале 2005 г

Спутник МГУ «Университетский – Татьяна-2», запущенный уже с целью изучения транзиентных световых явлений, показал существенную неравномерность распределения вспышек (разрядов в атмосфере) на карте Земли (рис.4.2) [10]. Как и по данным, полученным на первом студенческом спутнике «Университетский – Татьяна», самым активным является район экватора, а в этом районе особенно активны области, где магнитные меридианы пересекают Южную Америку, Западную Африку и Юго-Западную Азию.

Сегодня изучение природы транзиентных световых явлений – это самый передний край науки. Европейское космическое агентство только приступило к подготовке подобных экспериментов, запуск японского спутника оказался неудачным. В МГУ уже готовится более масштабный проект «Михайло Ломоносов», на котором будет установлена

более совершенная аппаратура НИИЯФ МГУ (космический телескоп для измерения энергетического спектра и химического состава космических лучей предельно высоких энергий с околоземной орбиты, а также детекторы гамма-излучения и оптические камеры сверхширокого поля зрения), его запуск планируется на 2011 г. Основной целью данного аппарата является изучение транзитных световых явлений.

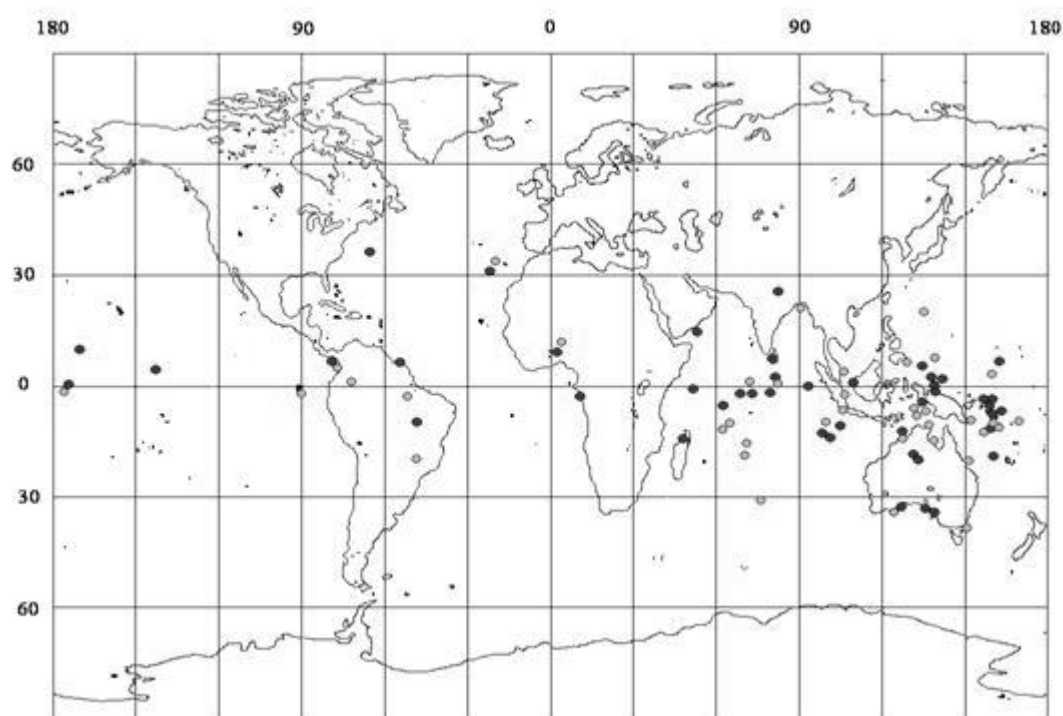


Рис.4.2. На карте нанесены координаты зарегистрированных УФ вспышек

черные точки – длительность вспышки 1 – 4 мсек

серые точки – длительность вспышки 10 – 64 мсек

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение транзиентных световых явлений весьма актуально. Существует мнение, что присущая спрайтам высокая интенсивность энергии активно влияет на химический состав атмосферы. Электроны с таким количеством энергии помимо света способны порождать неожиданные химические соединения [6].

Теория развития высотных атмосферных разрядов постоянно совершенствуется, но для полного понимания разного типа разрядов необходимы новые комплексные экспериментальные данные, как о свечении разрядов, так и об электрических полях, их пространственно-временной структуре.

Подробное изучение этих явлений только началось. И ученые пока не создали завершенной теории, объясняющей их природу. А понять, как и почему возникают такие разряды, очень важно. Прежде всего, для того, чтобы контролировать радиосвязь, диагностировать погоду и обеспечивать безопасность полетов.

Мне очень интересна данная тема. Хотелось бы и в дальнейшем продолжить изучение транзиентных световых явлений. В настоящее время активными исследованиями в данной области занимаются в Московском Государственном Университете им. М.В. Ломоносова и, в частности, в Научно-исследовательском институте ядерной физики имени Д.В. Скобельцына. Между нашими ВУЗами существует соглашение о сотрудничестве в сфере космических научно-образовательных проектов. Наши российские коллеги предоставили нам доступ к данным их научно-образовательных спутников и, в частности, к данным микро-спутников «Университетский – Татьяна» и «Университетский – Татьяна-2». Наши партнеры очень заинтересованы в совместном участии в научно-образовательных проектах и, в частности, по исследованию транзиентных световых явлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. «Вокруг Света» №12 (2831)
2. http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/fizika/ATMOSFERA_ZEMLI.html
3. Р.Фейнман, Р.Лейтон, М.Сэндс. Фейнмановские лекции по физике. т.5, МИР, М.,1977.
4. Б.М.Яворский, А.А.Детлаф. Справочник по физике. М.,Наука, 1968.
5. <http://anomalies.ru/gipoteza/93-fiziki-zametili-tainstvennoe-javlenie-v-ionosfere.html>
6. http://www.federalpost.ru/science/issue_21269.html
7. <http://oko-planet.su/science/sciencenews/6193-plyasku-prizrakov-v-kosmose-prinimayut-za-nlo.html>
8. <http://news.cosmoport.com/2005/10/07/1.htm>
9. <http://nuclpys.sinp.msu.ru/pilgrims/cr14.htm>
10. <http://space.msu.ru>