

# РАСПРОСТРАНЕНИЕ И РАССЕЯНИЕ ВОЛН

УДК 537.87

## ГРОЗЫ ЮЖНОЙ АМЕРИКИ И ЮЖНОАТЛАНТИЧЕСКАЯ ГЕОМАГНИТНАЯ АНОМАЛИЯ

О. Б. Печеная, А. П. Николаенко\*

*NASA Goddard Institute for Space Studies and Columbia University, New York, NY*

E-mail: [opechony@giss.nasa.gov](mailto:opechony@giss.nasa.gov)

*\*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины*

*12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина*

E-mail: [sasha@ire.kharkov.ua](mailto:sasha@ire.kharkov.ua)

Значительный объем информации, собранный космическими аппаратами «Оптический импульсный детектор» (ОИД) и «Сенсор изображений гроз» (СИГ), широко применяется в самых различных исследованиях. Высыпание частиц из радиационных поясов Земли вызывало ложные срабатывания оптических детекторов, когда эти спутники пролетали над Южноатлантической аномалией (ЮАА) геомагнитного поля, приуроченной к юго-восточному побережью Южной Америки. Для устранения помех применялся жесткий отбор данных (фильтрация), что неизбежно приводило к потере вспышек от настоящих молний. Отличия во взаимодействии аппаратуры космического аппарата с аномалией, а также различные способы фильтрации данных привели к заметному отличию в распределениях молний, полученных ОИД и СИГ для этого района. В статье проводится сравнение с данными спутника ДЕМЕТЕР и обсуждаются возможные причины отличий данных ОИД и СИГ. Выдвигается предположение, что повышенная молниевая активность в области ЮАА, регистрируемая СИГ, может свидетельствовать не только об общей связи космической и земной погоды, но и о стимулировании грозových разрядов высыпаниями космических частиц. Ил. 5. Библиогр.: 37 назв.

**Ключевые слова:** Южноатлантическая аномалия геомагнитного поля, мировая грозовая активность, оптические детекторы.

Мониторинг различных параметров окружающей среды принадлежит к наиболее популярным темам научных исследований. Одним из интереснейших разделов является регистрация электрической активности атмосферы, поскольку имеется надежда связать ее с температурой подстилающей поверхности. Это позволило бы отслеживать климатические изменения с помощью «глобального электрического термометра», [1]. Несмотря на то что еще первые опыты А. С. Попова в области радио (1895 г.) были связаны с регистрацией радиоизлучения молний, в настоящее время о мировых грозах нам известно не так уж много. Первые карты распределения мировой грозовой активности по планете были получены только в ходе Первого международного геофизического года (1957 г.). Тогда регистрация гроз проводилась с помощью записи «числа грозových дней» месяца и года, т. е. таких дней, когда на станциях Мировой метеорологической сети были слышны раскаты грома. Обработывая эти косвенные акустические данные, удалось получить глобальное распределение гроз, опубликованное в «Справочнике по геофизике» [2] для каждого месяца, квартала и всего года. О временных изменениях активности известно еще меньше.

Столь непривычный для современности способ наблюдений был связан с объективными трудностями регистрации молний, которая должна, с одной стороны, обеспечить глобальное покрытие, а с другой – достаточную пространствен-

но-временную точность. Эта задача в полном объеме не решена до настоящего времени.

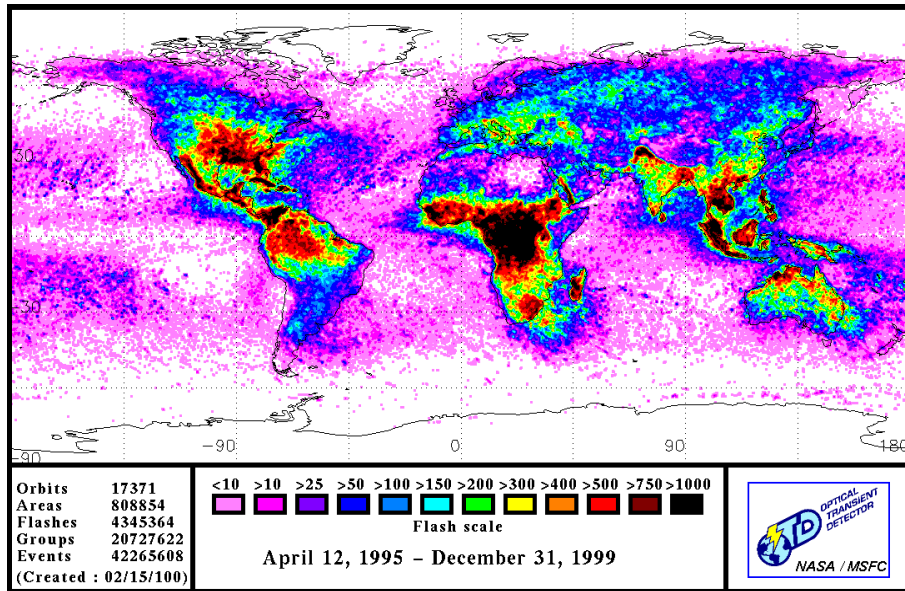
В конце 1990-х гг. была предпринята попытка изучить динамику мировых гроз с помощью оптических наблюдений из космоса. Оптический импульсный детектор (ОИД), выведенный на орбиту в апреле 1995 г., был первым спутником, на борту которого находился датчик оптических вспышек молний, способный работать как над ночным, так и над дневным полушарием Земли [3]. Полученные в течение пяти лет записи содержат колоссальный объем информации, в частности, доказательства того, что мировые грозы сконцентрированы над сушей в тропическом поясе [3, 4]. В распределениях планетарной грозовой активности, которые можно найти на сайтах [3, 4], легко распознаются контуры континентов.

Наблюдения ОИД обозначили ряд проблем, часть из которых была учтена при подготовке и запуске следующего космического аппарата: сенсора изображений гроз (СИГ), запущенного на два года позднее ОИД. Чувствительность оптических детекторов СИГ увеличилась почти вдвое по сравнению с ОИД, а сектор обзора земной поверхности у этого спутника был значительно сужен. Вспышки молний регистрировались только в интервале от  $35^\circ$  ю. ш. до  $35^\circ$  с. ш., что не способствует наиболее полным наблюдениям гроз средних широт.

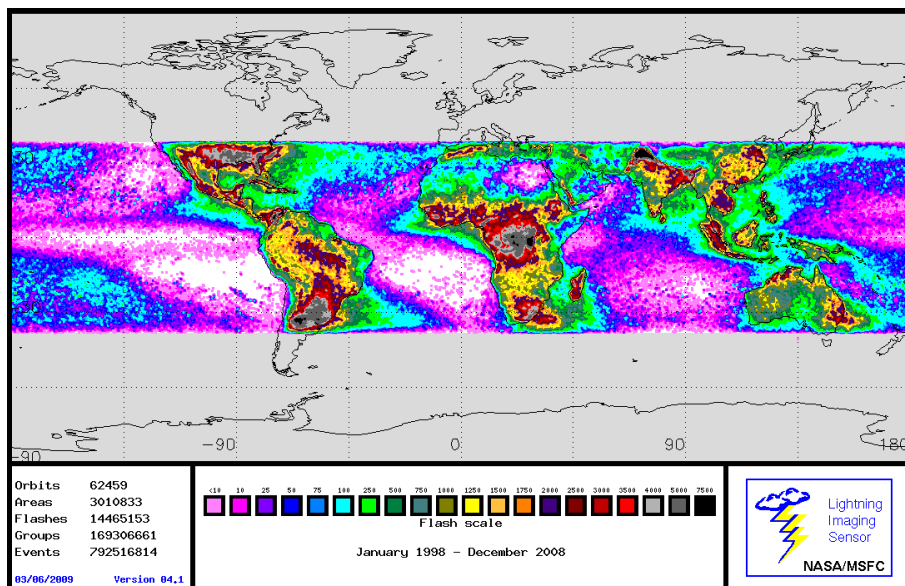
Данные ОИД-наблюдений мировой грозовой активности с 1995 по 1999 г. были собраны и опубликованы группой по изучению гроз Цент-

ра глобальных и гидрологических исследований [3] (рис. 1, а). Здесь представлена ставшая классической карта мировых гроз, на которой хорошо видны области повышенной активности (мировые грозовые центры) в Африке, Северной и Южной Америке и в Юго-Восточной Азии. В этих обла-

стях земного шара чаще всего наблюдались оптические вспышки грозовых разрядов. В той же ссылке [3] дан адрес веб-сайта, где находятся карты распределений молний, полученные спутником СИГ. Итоговая карта наблюдений этого космического аппарата приводится на рис. 1, б.



а)



б)

Рис. 1. Глобальное распределение мировых гроз [3]: а) – мировая грозовая активность за все годы регистрации ОИД; б) – грозы Земли, зарегистрированные в наблюдениях СИГ

На рис. 1 показаны данные ОИД и СИГ, прошедшие окончательную обработку, они хорошо согласуются между собой. Единственным исключением является Южная Америка, где вид-

ны значительные отличия. Если карты ОИД говорят о высокой грозовой активности в тропической Южной Америке, то данные СИГ указывают на заметный пик активности, сдвинутый к юго-

востоку и расположенный над морем у Южного тропика. Здесь число световых вспышек достигает уровня, сравнимого с активностью африканского грозового центра.

**1. Космические частицы и ложные срабатывания оптических детекторов.** Одна из главных проблем оптических наблюдений из космоса связана с ложными срабатываниями оптического детектора при попадании в него энергичных частиц (электронов) из радиационных поясов Земли, что подтверждается картами рис. 2.

На рис. 2, а показаны необработанные многолетние оптические данные ОИД, а на

рис. 2, б – распределение высыпаний энергичных электронов. Исходные орбитальные данные ОИД [3] имеют не столь привлекательный вид, как окончательное распределение (см. рис. 1, а). В этом распределении видны многочисленные события над акваторией южной части Атлантики, в области Южноатлантической аномалии (ЮАА) [4]. При окончательной обработке данных большая часть из этих вспышек была отбрасывана, поскольку здесь проявляется влияние энергичных частиц, высыпающихся из магнитосферы Земли и попадающих на оптический детектор [5].

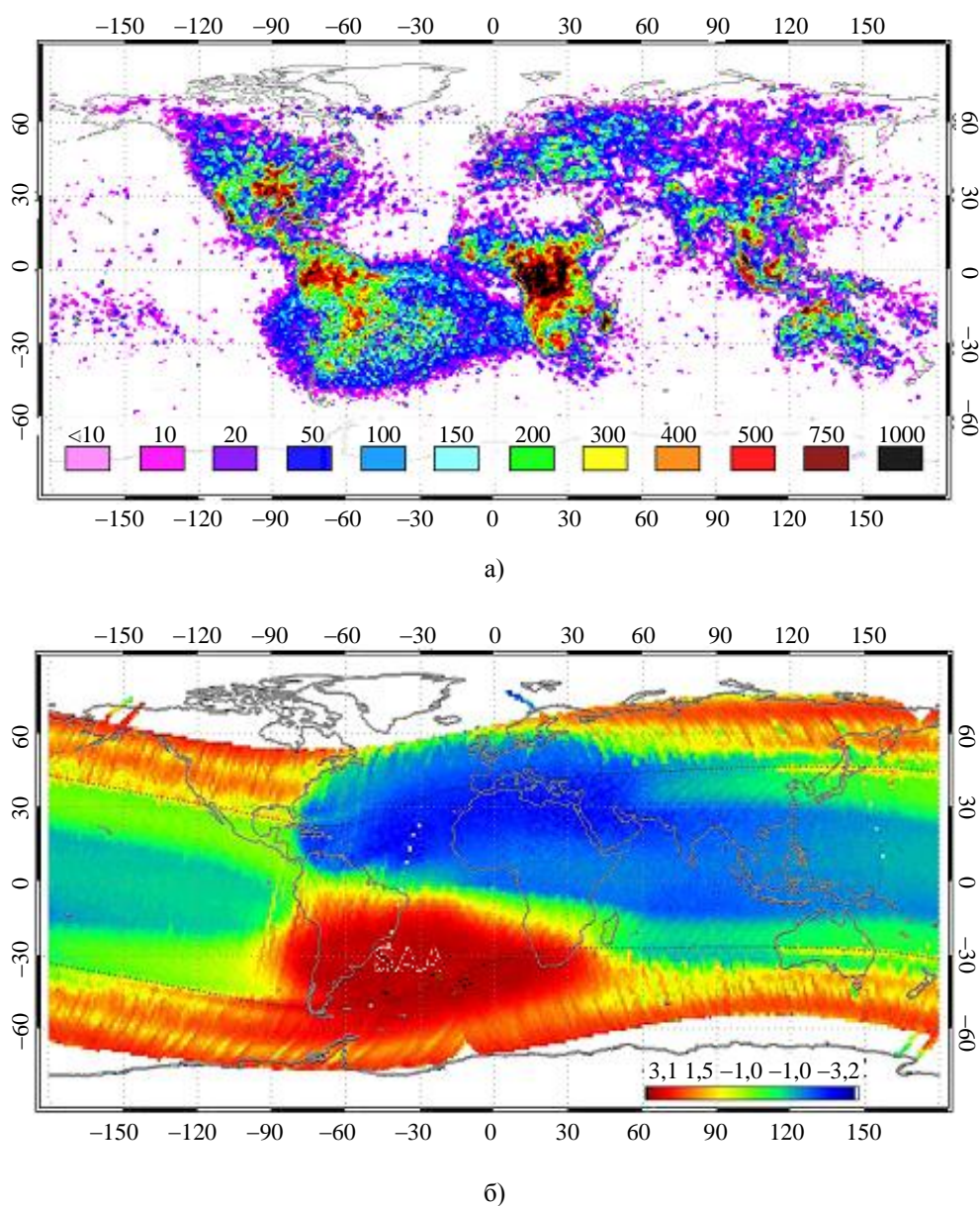


Рис. 2. Сопоставление данных спутников ОИД и ДЕТЕТЕР: а) – многочисленные вспышки молний над ЮАА в многолетних неотфильтрованных орбитальных данных ОИД [4]; б) – максимум потока электронов с энергией 200 КэВ [6]

Трудности интерпретации оптических орбитальных наблюдений отчетливо иллюстрирует подобие карт рис. 2. Карта рис. 2, б показывает распределение высыпаний энергичных электронов, полученное счетчиком космических частиц на борту спутника ДЕМЕТЕР [6]. Как видно, карты рис. 2 во многом идентичны, особенно в области ЮАА, хотя они отображают совершенно разнородные физические процессы: рис. 2, а – это число оптических вспышек, наблюдавшихся в 1995–1999 гг., а рис. 2, б – это современная плотность потока электронов, высыпающихся из радиационных поясов Земли. Очевидно, что оптические данные явно подвержены влиянию космических частиц. К сожалению, в оптических измерениях ОИД параллельная регистрация частиц не была предусмотрена, что не позволяло исключить или компенсировать шумовые сцинтилляции, не связанные с оптическими вспышками гроз.

Энергичные космические частицы заметно повышают радиационный шум в районе ЮАА [4–6]. Это та область, в которой из-за смещения наклонного магнитного диполя Земли радиационные пояса ближе всего подходят к поверхности планеты. В ней резко возрастает вероятность столкновения частиц радиационных поясов с атмосферными и ионосферными частицами, что приводит к «высыпанию». В исходных данных ОИД явно прорисовывается ЮАА с ее повышенным радиационным шумом.

Орбита космического аппарата ДЕМЕТЕР лежит на 710 км [6], что очень близко к 735-км высоте ОИД [4, 5]. Оба аппарата пересекают практически одну и ту же область высот над ЮАА. Это объясняет визуальное сходство очертаний географической области высокой оптической активности (преимущественно ложной), наблюдавшейся ОИД, с районом увеличения потока электронов из радиационного пояса, зарегистрированного счетчиком частиц ДЕМЕТЕР. Все это свидетельствует об абсолютно правильной интерпретации исходных оптических данных о грозах.

Спутник СИГ был запущен двумя годами позднее ОИД, и радиус его орбиты был уменьшен до высоты 402 км [7], поэтому оптический детектор СИГ подвергался меньшему воздействию космического радиационного фона вообще, а в области ЮАА – в особенности. Записи СИГ содержали здесь вдвое меньше ложных срабатываний, чем ОИД [5, 7].

Для корректировки исходных орбитальных оптических данных при окончательной обработке применялся оригинальный алгоритм «чистки». При отбраковке ложных вспышек, в частности, требовалось, чтобы истинные события наблюдались примерно в одном и том же районе и происходили с частотой, соответствующей вре-

мени восстановления заряда типичного грозового облака [5, 7]. Большая часть ложных срабатываний оптического детектора в области ЮАА при этом отфильтровывалась. Однако при такой селекции истинных событий неизбежно отбрасывается часть световых вспышек от настоящих молний, особенно если эти молнии происходили с невысокой частотой и были расположены в изолированных малоразмерных очагах [5, 7].

Впоследствии, как описано в документации по данным спутников ОИД/СИГ, пришлось дополнительно корректировать число разрядов, зарегистрированных ОИД над Южной Америкой. Для этого использовалось климатологическое отношение более достоверных вспышек, записанных СИГ, к событиям, зарегистрированным ОИД. Эта калибровочная процедура после отладки приводит к распределениям молний ОИД и СИГ, хорошо согласующимся между собой во всех районах мира, включая ЮАА. Эти распределения и показаны на рис. 1. Важно отметить, что при окончательной селекции оптических вспышек отсутствовал физический критерий, поскольку неизвестны данные об энергичных частицах, подобные показанным на рис. 2, б.

**2. Шумановский резонанс, СНЧ-всплески и фильтрация редких вспышек.** Авторы работы [5] отмечают, что окончательная фильтрация данных ОИД могла оказаться избыточной из-за отсутствия объективного критерия отбора вспышек, вызванных в детекторе частицами из радиационных поясов, от отдельных, хоть и редких, световых вспышек от настоящих молний. Формально при обработке предполагалось, что события, наблюдаемые с частотой меньше 1 события в минуту, относятся к радиационным помехам, они отбрасывались из общего ансамбля данных [8].

Существуют и такие грозовые разряды, которые будут одновременно отбракованы из записей ОИД и СИГ. В эту группу, прежде всего, попадают сравнительно редкие молнии, сосредоточенные в стороне от наиболее активных в данный момент грозовых областей. На первый взгляд, такие разряды составляют малую часть мировой грозовой активности и поэтому «не делают погоду». В действительности это не так, и чисто формальная отбраковка событий приведет к потере важной информации по крайней мере в двух аспектах.

*Фоновый резонансный сигнал.* Изолированные грозы, удаленные от наиболее активных областей и поэтому характеризующиеся невысокой плотностью событий, могут составить значительный фоновый электромагнитный сигнал, если такая «внеурочная» активность охватывает значительную часть планеты. Известно, что подобная составляющая обнаружена в записях глобального электромагнитного (шумановского) ре-



зонанса, где она обеспечивает так называемый «пьедестал» (рис. 3). Сигнал шумановского резонанса создается радиоизлучением мировых гроз, которое из-за низкого затухания на частотах в несколько герц регистрируется в любой точке резонатора Земля-ионосфера [9, 10].

При моделировании шумановского резонанса с помощью данных ОИД [11–17] хорошо воспроизводится суточный (и сезонный) ход его амплитуды.

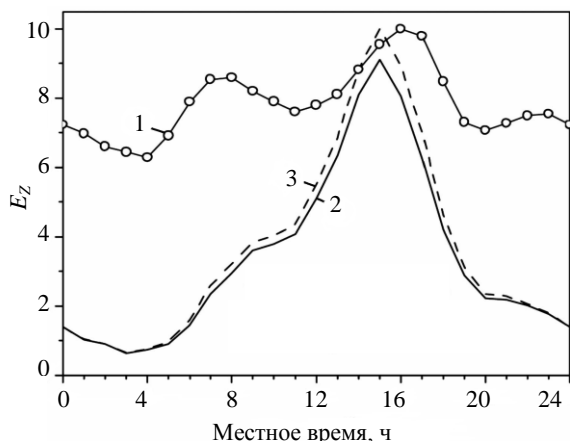


Рис. 3. Пьедестал в экспериментально измеренной амплитуде шумановского резонанса [13]: 1 — эксперимент, кривая «приподнята» над горизонтальной осью; 2 — расчетные вариации в модели однородного резонатора с распределением гроз из ОИД-данных; 3 — резонатор с неоднородностью день-ночь и координатами гроз из ОИД-наблюдений

Однако наблюдаемые на опыте (кривая 1 на рис. 3) относительные вариации (отношение максимальной интенсивности резонансных колебаний к минимальной) оказываются заметно ниже, чем в расчетах (кривые 2 и 3 на рис. 3). Отличия возникают из-за «пьедестала», постоянно присутствующего в экспериментальных спектрах мощности и не зависящего от времени суток. Наблюдаемые спектры состоят из двух частей.

Первая часть обусловлена радиоизлучением подвижной компактной области (мировым грозным центром), который в течение суток обходит Землю. Интенсивность центра изменяется так, чтобы электрическая активность над сушей была больше, чем над морем [16, 17]. Вторая часть связана с постоянным некогерентным излучением гроз, разбросанных по всему тропическому поясу Земли и имеющих неизменную интенсивность. Это «внеурочное» излучение также создает резонансный сигнал, ответственный за пьедестал, «приподнимающий» спектры над осью частот. При этом относительные суточные вариации, связанные с молниями компактного подвижного центра, уменьшаются.

Очевидно, что алгоритм отбора оптических вспышек с высокой степенью вероятности

отбросит световые вспышки фоновой грозовой активности как помеху, вызванную ложными срабатываниями. В результате расчеты глобального электромагнитного резонанса, основанные на записях ОИД, будут давать завышенные относительные суточные вариации, что и наблюдается в практике моделирования [16, 17].

На существование двух типов пространственного распределения источников косвенно указывают и результаты измерений поляризации горизонтальной компоненты магнитного поля в диапазоне шумановского резонанса [18–21]. Примерно 50 % природного радиосигнала относится к поляризованному (когерентному) излучению, а остальные 50 % — к деполяризованному (некогерентному) излучению. Первая часть естественным образом связывается с молниями, сосредоточенными в сравнительно компактной области, а вторая — с излучением взаимно независимых пробоев, равномерно распределенных относительно азимута прихода (равномерно распределенных в тропическом поясе).

Очевидно, что применение отфильтрованных ОИД-распределений гроз при моделировании и интерпретации СНЧ-экспериментальных данных должно столкнуться с трудностями.

*Всплески СНЧ-излучений.* Часть редких по времени пробоев и связанных с ними световых вспышек относится к всплескам СНЧ-излучений [9]. СНЧ-всплески — это дискретные импульсы, которые в 10 и более раз превышают по амплитуде обычный резонансный сигнал. Импульсы приходят от редких сверхмощных молний примерно один раз в несколько минут.

По имеющимся данным [22], СНЧ-всплески порождаются разрядами, которые способны вызывать над собой электрические пробои и импульсное свечение в разреженном воздухе мезосферы, так называемые «красные спрайты». Спрайты документированы над редкими, но очень мощными положительными разрядами, характеризующимися гигантскими моментами заряда. Положительные пробои происходят, как правило, в заключительной фазе грозы. Они приурочены к верхней, положительно заряженной части облака («наковальне») [22]. Свое название пробои получили из-за того, что переносят на землю положительный электрический заряд. СНЧ-всплески и спрайты наблюдаются примерно один раз в несколько минут и происходят в сильно развитых, но «умирающих» грозных системах [23]. Очевидно, что вспышки таких редких молний, вероятнее всего, будут отсеяны из окончательных данных оптических наблюдений.

Отбрасывание световых вспышек при окончательной обработке только из-за того, что они редки и наблюдаются в стороне от наиболее активных во время наблюдения грозных обла-

стей, приведет к потере информации о положительных пробоях. А ведь именно эти сверхмощные события способны порождать СНЧ-всплески и спрайты. Следует опасаться, что статистика оптических наблюдений после проведения «чистки» перестает соответствовать действительному распределению сверхмощных молний, а значит, и спрайтов.

Сравним ОИД карту с непосредственными распределениями источников всплесков СНЧ-излучений по планете [24] с тем, чтобы обнаружить отличия. На рис. 4 совмещены две карты. Одна из них контурами показывает пространственное распределение мировых гроз по данным ОИД в августе, а вторая – точками отмечает ко-

ординаты сверхмощных молний, породивших СНЧ-всплески. Координаты точек найдены из результатов наблюдений в обсерватории Уэст Гринвич (Род Айленд, США) в августе 1996 г. На рис. 4 видны только те мощные разряды, которые выходят за область, занятую грозами по оптическим данным. Как видно, наблюдения СНЧ-импульсов говорят о большом количестве импульсов, приходящих от «странных» источников, которые расположены в тропиках, но над океанами, или же в Австралии над пустыней, т. е. там, где грозовая активность по данным климатологии и наблюдениям ОИД, мала. Отбраковка оптических вспышек при окончательной селекции может привести к негативным последствиям.

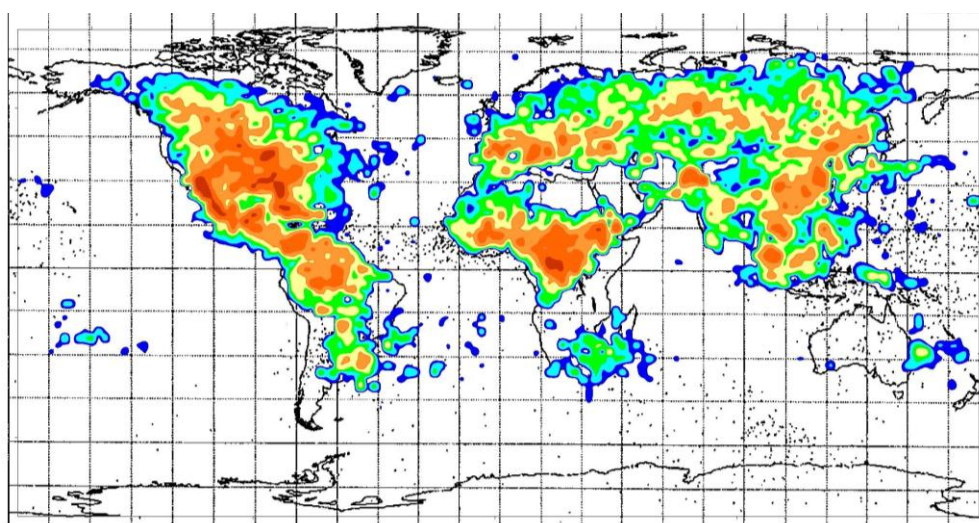


Рис. 4. Пространственное распределение гроз в августе по данным ОИД, совмещенное с координатами молний, породивших СНЧ-всплески, зарегистрированные в обсерватории Уэст Гринвич (Род Айленд, США)

**3. Грозовая активность и высыпание частиц радиационных поясов.** Как отмечено выше, окончательная обработка данных, собранных над областью ЮАА, все более жестко отбраковывает события, требуя увеличивающейся пространственно-временной связи для оставляемых вспышек [5]. Фактически это означает, что учитываются «молнии-среднячки», происходящие в пределах наиболее активных грозовых ячеек. А вот пробои в одиночных изолированных грозах или сверхмощные события, которые происходят с невысокой частотой, будут представлены слабо или совсем утеряны в ОИД и СИГ-данных.

В отфильтрованных, а возможно, и излишне отфильтрованных записях СИГ, представленных на рис. 5, б, все же присутствует заметная зона, выдвинутая в Южную Атлантику. Ее очертания напоминают неоткорректированные записи ОИД на рис. 1, а. Данные ОИД в области ЮАА

были откорректированы с помощью климатологического отношения СИГ/ОИД-импульсов, подробно описание обработки и сами данные можно найти на сайте [5].

Возможно, что область повышенной активности возникла из-за увеличенного радиационного шума над ЮАА и что истинное количество молний Южной Америки ниже. Однако нам представляется более вероятным, что вспышки, записанные СИГ над ЮАА, отражают истинное распределение из-за того, что чувствительность его оптических детекторов высока, а сам спутник мало подвержен воздействию энергичных частиц радиационного пояса по сравнению с ОИД. Если при этом учесть, что окончательная обработка данных могла дополнительно отбросить одиночные редкие вспышки, то окажется, что приводимая карта дает нижнюю оценку количества событий, а истинное количество молний в этой области было большим.

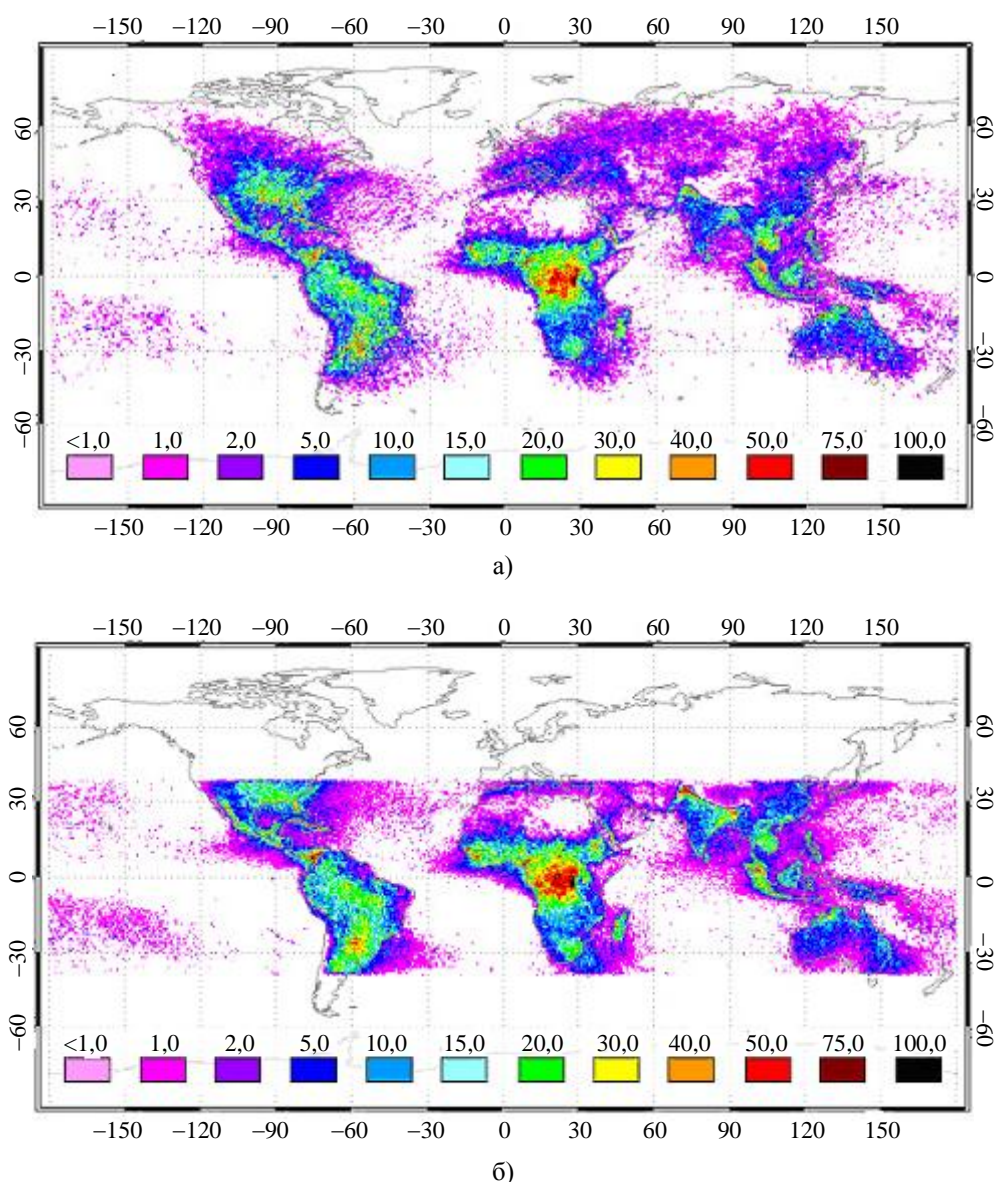


Рис. 5. Плотность молний (вспышки/км<sup>2</sup>/год) по данным высокого разрешения: а) – ОИД; б) – СИГ

Примем, что записи СИГ отражают истинную грозовую активность. Тогда подобие областей, где концентрируются молнии (рис. 5, б), и высыпания в ЮАА (рис. 2, б), указывает на возможную связь высокоэнергичных частиц радиационных поясов с грозовыми разрядами. Оказывается, что именно в районе ЮАА следует искать молнии, спровоцированные высыпаниями космических частиц.

Взаимодействие низкочастотного радиоизлучения грозовых разрядов и заряженных частиц, захваченных магнитосферой, давно и хорошо известно. Одним из проявлений такого взаимодействия является высыпание частиц из магнитных силовых трубок. Детальные спутниковые измерения высыпаний электронов, индуцирован-

ных молниями (ВЭИМ), были представлены в работе [25]. Последующие наблюдения показали, что отдельная гроза может индуцировать сотни событий ВЭИМ, каждое из которых приводит к образованию неоднородностей («сосулек») на нижней границе ионосферы [26, 27]. Сами неоднородности отмечаются в записях сигналов СДВ-радиостанций как характерные фединги (тримпи-эффект). Отдельный грозовой разряд может вызвать значительный поток энергичных электронов [28]. В последние годы наряду с высыпаниями, спровоцированными сигналами СДВ-радиостанций [29], удалось даже провести локацию отдельных молний, вызвавших высыпание электронов из магнитосферы [30]. Были обнаружены также «ранние/быстрые события» [31],

обусловленные не высыпаниями, а разогревом ионосферной плазмы падающим радиоизлучением молний [32, 33].

Высокая грозовая активность Южной Америки может иметь отношение к ЮАА. Здесь отметим следующее: при упоминании гроз Южной Америки, как правило, предполагается, что речь идет о бассейне Амазонки [34]. Данные оптических наблюдений спутника СИГ, скорее, указывают на бассейн Ла Платы, которому уделялось недостаточное внимание. Сравнение интенсивности гроз над Африкой и Южной Америкой говорит в пользу второй [34]. В то же время вклад африканских гроз в интенсивность глобального электромагнитного резонанса и в атмосферное электростатическое поле (поле ясной погоды) оказывается более заметным. Этот парадокс известен давно, и в 1920-х гг. Вильсон предложил объяснение, построенное на учете электрических зарядов, переносимых на землю заряженными дождевыми каплями. Наблюдать заряженные дожди значительно сложнее, чем молнии, поэтому в данных могут возникать неожиданные расхождения. Согласно этой концепции [34], заряженные дожди могут превратить район с меньшим количеством зарегистрированных молний (Африку) в главный генератор атмосферного электричества за счет невидимых заряженных капель.

Влияние заряженных дождей не является единственно возможным объяснением. Тот же результат будет получен, если предположить, что типичные молнии Африки и Америки характеризуются разными по величине токами и переносят разное количество электричества. Проверить такую гипотезу экспериментально намного проще. Если она верна, то одинаковая по числу оптических вспышек активность над этими континентами может соответствовать разной электрической активности. По нашему мнению, «асимметрия» грозных пробоев может быть вызвана влиянием ЮАА. Действительно, в литературе обсуждалась и моделировалась образование электрического пробоя атмосферы за счет «убежавших» электронов [35, 36]. Было показано, что эти частицы способны вызвать развитие стримеров, формирующих лидеры при образовании грозных пробоев [35, 36]. Вторичные космические лучи формируют ионизированные плазменные колонны (стримеры), в которых развиваются локальные электрические пробои над облаком или внутри него. В области ЮАА интенсивность космических лучей максимальна [37], здесь заряженные частицы радиационных поясов способны проникать глубоко в атмосферу и тем самым способствовать развитию пробоев.

Высыпание частиц радиационных поясов может привести к образованию своеобразного «стока» в общем балансе зарядов, накапливаемых

грозовым облаком. Такой механизм препятствует накоплению рекордно высоких зарядов и напряжений в грозовом облаке, поскольку очередная порция «разряжающих» электронов из магнитосферы приходит до того, как облако сумеет приобрести очень высокий потенциал. Наличие космических частиц «обрежет хвосты» статистических распределений зарядов облака или токов молний в американском центре грозовой активности. Здесь молнии (и вспышки) могут наблюдаться чаще, но средний ток этих источников будет меньше, чем у африканских разрядов, и переносимый на землю заряд тоже будет меньшим. Так появляется механизм, альтернативный предложенному в 1920 г. Вильсоном.

Возможно и «обратное» взаимодействие, когда высокая грозовая активность в бассейне Ла Платы провоцирует высыпание электронов из магнитосферы над ЮАА. Для выяснения истинной картины взаимодействия необходимы специальные исследования. Однако уже сейчас мы должны признать, что повышение уровня грозовой активности в области ЮАА, вероятнее всего, обусловлено связью космической погоды с земными грозами (имеется в виду малоизученный механизм формирования грозных разрядов при их взаимодействии с энергичными частицами, высыпавшимися из магнитосферы).

Вопрос о связи оптических наблюдений с истинным распределением гроз Южной Америки, включая изолированные грозы и редкие сверхмощные события, до настоящего времени все еще остается открытым.

**Выводы.** Окончательные результаты оптических наблюдений гроз из космоса можно применять при моделировании электрической активности атмосферы и глобального электромагнитного резонанса. Однако пользоваться этими данными необходимо с большой осторожностью, поскольку фоновая грозовая активность, как и сравнительно редкие сверхмощные пробои, могли быть отфильтрованы при окончательной обработке оптических данных.

Высокий уровень грозовой активности в районе ЮАА может быть обусловлен влиянием космической погоды на земную. Здесь может существовать еще не изученный механизм инициации грозных разрядов частицами, высыпавшимися из магнитосферы. Этот механизм, возможно, повышает среднюю частоту грозных разрядов Южной Америки и одновременно снижает токи молний и переносимый ими электрический заряд.

Вопрос о том, насколько оптические наблюдения вспышек молний из космоса отвечают истинной электрической активности атмосферы над Южной Америкой, все еще остается открытым.



1. *Reeve N.* Lightning activity as an indicator of climate change / N. Reeve, R. Toumi // *Q. J. R. Meteorol. Soc.* – 1999. – 125, N 6. – P. 893–903.
2. Справочник по геофизике. – М.: Наука, 1965. – 571 с.
3. *Christian H. J.* Satellite measurements of global lightning / H. J. Christian, J. Latham // *Q. J. R. Meteorol. Soc.* – 1998. – 124, N 11. – P. 1771–1773 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://thunder.msfc.nasa.gov/otd>; <http://thunder.msfc.nasa.gov/lis>. – Загл. с экрана.
4. *Global* frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector / H. J. Christian, R. J. Blakeslee, D. J. Boccippio et al. // *J. Geophys. Res.* – 2003. – 108, N D1. – P. 4005–4025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://thunder.msfc.nasa.gov/otd>. – Загл. с экрана.
5. *Boccippio D. J.* Performance assessment of the Optical Transient Detector and Lightning Imaging Sensor. Part I: Predicted diurnal variability / D. J. Boccippio, W. J. Koshak, R. J. Blakeslee // *J. Atmos. Oceanic Tech.* – 2002. – 19, N 8. – P. 1318–1332 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ghrc.msfc.nasa.gov>. – Загл. с экрана.
6. *Parrot M.* Preface: Special issue of Planetary and Space Science «DEMETER» / M. Parrot // *Planet. Space Sci.* – 2006. – 54, N 5. – P. 411–412.
7. *Finke U.* Optical detection of lightning from space, Lightning: principles, instruments and applications, chapter 12 / U. Finke // Springer: Netherlands, 2008.
8. *Radar*, passive microwave, and lightning characteristics of precipitating systems in the tropics / E. R. Toracinta, D. J. Cecil, E. J. Zipser, S. W. Nesbitt // *Monthly Weather Review.* – 2002. – 130. – P. 802–824.
9. *Nickolaenko A. P.* Resonances in the Earth-ionosphere Cavity / A. P. Nickolaenko, M. Hayakawa. – Dordrecht-Boston-London: Kluwer Academic Publishers, 2002. – 380 p.
10. *Price C.* Schumann resonances in lightning research / C. Price, O. Pechony, E. Greenberg // *J. Lightning Res.* – 2006. – 1, N 1. – P. 1–15.
11. *Hayakawa M.* Diurnal variations of electric activity of global thunderstorms deduced from OTD data / M. Hayakawa, M. Sekiguchi, A. P. Nickolaenko // *J. Atmos. Electr.* – 2005. – 25, N 2. – P. 55–68.
12. *Nickolaenko A. P.* Model variations of Schumann resonance based on OTD maps of the global lightning activity / A. P. Nickolaenko, O. Pechony, C. Price // *J. Geophys. Res.* – 2006. – 111, N D23102.
13. *Pechony O.* Relative importance of the daynight asymmetry in Schumann resonance amplitude records / O. Pechony, C. Price, A. P. Nickolaenko // *Radio Sci.* – 2007. – 42, N RS2S06.
14. *Pechony O.* Modeling and simulations of Schumann Resonance parameters observed at the Mitzpe Ramon field station / O. Pechony // Ph. D. thesis, Tel-Aviv University, Israel 2007.
15. *Результаты* сравнения экспериментальных наблюдений шумановского резонанса с моделью одного мирового грозового центра / Е. И. Яцевич, А. В. Швец, Л. М. Рабинович и др. // *Изв. вузов. Радиофизика.* – 2005. – XLVIII, № 4. – С. 283–298.
16. *Two component source model of Schumann resonance signal* / A. P. Nickolaenko, E. I. Yatsevich, A. V. Shvets, L. M. Rabinowicz // *J. Atmos. Electricity.* – 2006. – 26. – N 1. – P. 1–10.
17. *Николаенко А. П.* Суточные и сезонные вариации интенсивностей и пиковых частот трех первых модов шумановского резонанса / А. П. Николаенко, Е. И. Яцевич, О. Б. Печеная // *Изв. вузов. Радиофизика.* – 2008. – LI, № 7. – С. 528–540.
18. *Обнаружение* расщепления собственных частот шумановских резонансов / А. П. Николаенко, Л. М. Рабинович, А. В. Швец, А. Ю. Щекотов // *Радиофизика и электрон.: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины.* – X., 2002. – 7, № 3. – С. 498–508.
19. *Поляризационные* характеристики низкочастотных резонансов / А. П. Николаенко, Л. М. Рабинович, А. В. Швец, А. Ю. Щекотов // *Изв. вузов. Радиофизика.* – 2004. – XLVII, № 4. – С. 267–291.
20. *Polarization* characteristics of low-frequency resonances in the Earth-ionosphere cavity / A. P. Nickolaenko, L. M. Rabinowicz, A. V. Shvets, A. Yu. Schekotov // *Radiophysics and Quantum Electronics.* – 2004. – 47, N 4. – С. 238–259.
21. *Nickolaenko A. P.* Line splitting in the Schumann resonance oscillations / A. P. Nickolaenko, D. D. Sentman // *Radio Sci.* – 2007. – 42, N RS2S13.
22. *Sprites*, ELF transients, and positive ground strokes / D. J. Boccippio, E. R. Williams, S. J. Heckman et al. // *Science.* – 1995. – 269, N 5. – P. 1088–1091.
23. *Lyons W. A.* Characteristics of luminous structures in the stratosphere above thunderstorms as imaged by low-light video / W. A. Lyons // *Geophys. Res. Lett.* – 1994. – 21, N 10. – P. 875–878.
24. *Global validation of single station Schumann resonance lightning location* / D. J. Boccippio, C. Wong, E. R. Williams et al. // *J. Atmos. Solar – Terr. Phys.* – 1998. – 60, N 5. – P. 701–712.
25. *Lightning-induced* electron precipitation / H. D. Voss, W. L. Imhof, J. Mobilia et al. // *Nature.* – 1984. – 312, N 4. – P. 740–743.
26. *Dowden R. L.* Phase and amplitude perturbations on subionospheric signals explained in terms of echoes from lightning-induced electron precipitation ionization patches / R. L. Dowden, C. D. D. Adams // *J. Geophys. Res.* – 1998. – 93, N A10. – P. 11,543–11,550.
27. *Inan U. S.* Geographic distribution of lightning-induced electron precipitation observed as VLF/LF perturbation events / U. S. Inan, T. G. Wolf, D. L. Carpenter // *J. Geophys. Res.* – 1988. – 93, N 4. – P. 9841–9850.
28. *Johnson M. P.* Subionospheric VLF signatures of oblique (nonducted) whistler-induced precipitation / M. P. Johnson, U. S. Inan, D. S. Lauben // *Geophys. Res. Lett.* – 1999. – 26, N 4. – P. 3569–3573.
29. *Radiation belt* electron precipitation due to VLF transmitters: Satellite observations / J. A. Sauvaud, R. Maggiolo, C. Jacquey et al. // *Geophys. Res. Lett.* – 2008. – 35, N L09101.
30. *DEMETER* satellite observations of lightning-induced electron precipitation / U. S. Inan, D. Pidychy, W. B. Peter et al. // *Geophys. Res. Lett.* – 2007. – 34, N L07103.
31. *Inan U. S.* Heating and ionization of the lower ionosphere by lightning / U. S. Inan, T. F. Bell, J. V. Rodriguez // *Geophys. Res. Lett.* – 1991. – 18, N 4. – P. 705–709.
32. *Николаенко А. П.* О нагреве электронов нижней ионосферы электромагнитным излучением возвратных грозовых разрядов / А. П. Николаенко // *Геомagnetизм и Аэрoномия.* – 1976. – 16, № 2. – С. 260–264.
33. *Кучеров К. И.* О нагреве электронов нижней ионосферы горизонтальными грозовыми разрядами / К. И. Кучеров, А. П. Николаенко // *Изв. вузов. Радиофизика.* – 1979. – XXII, № 7. – С. 884–896.
34. *Williams E. R.* Lightning, thermodynamic and hydrological comparison of the two tropical continental chimneys / E. R. Williams, G. Satori // *J. Atmos. Solar – Terr. Phys.* – 2004. – 66, N 5. – P. 1213–1232.
35. *Gurevich A. V.* Runaway electron mechanism of air breakdown and preconditioning during a thunderstorm / A. V. Gurevich, G. M. Milikh, R. A. Roussel-Dupre // *Phys. Lett.* – 1992. – A165, N 2. – P. 463–468.
36. *Kinetic theory of runaway air breakdown* / R. A. Roussel-Dupre, A. V. Gurevich, T. Tunnell, G. M. Milikh // *Phys. Rev.* – 1994. – E49, N 3. – P. 2257–2271.
37. *Poirier J.* The south atlantic magnetic field anomaly and its effect on the calculated production of atmospheric neutrinos / J. Poirier // *ArXiv Astrophysics e-prints: Proc. of the 26th ICRC.* – Salt Lake City, 1999. – Vol. 2. – P. 253.

SOUTH AMERICAN THUNDERSTORMS  
AND THE SOUTH ATLANTIC  
GEOMAGNETIC ANOMALY

O. B. Pechony, A. P. Nickolaenko

Extensive information on global lightning activity was accumulated by the spaceborne Optical Transient Detector (OTD) and Lightning Imaging Sensor (LIS), which is applied in different research. Precipitation of cosmic particles from Earth's radiation belts causes numerous false lightning detections when satellites pass through the South Atlantic Anomaly (SAA), centered near the lower east coast of South America. Aggressive filtering procedures were applied toward the data resulting in unavoidable losses of true flashes along with radiation noise. Differences in exposure to SAA and filtering procedures result in notable differences between OTD and LIS lightning distributions in this region. We compare optical data with DEMETER satellite observations and discuss possible causes of deviations among OTD and LIS data. We also suggest that high lightning activity in the SAA region indicated by LIS might be a manifestation of a link between the space and terrestrial weather, and, possibly, a yet unexplored feedback mechanism between lightning discharges and cosmic particle precipitation.

**Key words:** Global thunderstorm activity, Optical detectors, South Atlantic Anomaly of geomagnetic field.

ГРОЗИ ПІВДЕННОЇ АМЕРИКИ  
ТА ПІВДЕННОАТЛАНТИЧНА  
ГЕОМАГНІТНА АНОМАЛІЯ

О. Б. Печена, О. П. Ніколаєнко

Значний об'єм інформації, що зібраний космічними апаратами «Оптичний імпульсний детектор» (ОІД) і «Сенсор зображень гроз» (СЗГ), широко застосовується в різноманітних дослідженнях. Висипання часток із радіаційних поясів Землі призводило до хибних спрацьовувань оптичних детекторів, коли ці супутники пролітали над Південноатлантичною аномалією (ПАА) геомагнітного поля, яка розташована поблизу південно-східного узбережжя Південної Америки. Для усунення завад застосовували жорсткий відбір даних (фільтрація), що неминуче призводило до втрати сполохів від дійсних блискавок. Відміни у взаємодії апаратури космічного апарата із аномалією, а також різні способи фільтрації даних призвели до помітних відмін у розподілах блискавок, що одержані ОІД та СЗГ для цього району. У статті приведено порівняння з даними супутника ДЕМЕТЕР та обмірковуються можливі причини відміни даних ОІД та СЗГ. Сформульовано гіпотезу, що підвищена блискавична активність в області ПАА, що ресструється СЗГ, може свідчити не тільки про зв'язок космічної та земної погоди, але й про стимулювання грозових розрядів висипаннями космічних часток.

**Ключові слова:** Південноатлантична аномалія геомагнітного поля, світова грозова активність, оптичні детектори.

*Рукопись поступила 26 ноября 2009 г.*