

Лекция 15. АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ, УНИТАРНАЯ ВАРИАЦИЯ

В 15-ой лекции обсуждается модель унитарной вариации, известной ранее для АЭП и обнаруженной в ионосфере и магнитосфере. Обсуждается проблема поведения атмосферного электрического поля во время геомагнитных бурь.

Особенности поведения E . Известно, что Земля заряжена отрицательно относительно окружающего её пространства. Принято считать, что положительный заряд сосредоточен в т.н. электросфере. Эту область пространства часто отождествляют с ионосферой. Напряженность электрического поля у поверхности Земли практически постоянна вдоль её поверхности, весьма незначительно меняется во времени и составляет (при выполнении условий “хорошей погоды”: т.е. при отсутствии грозовой и интенсивной кучевой облачности, осадков, метели, поземки и других атмосферных явлений): $E \approx 120 - 150$ В/м над океаном и $75 - 125$ В/м над материками. По сравнению с окружающим Землю воздухом, вещество Земли можно считать хорошим проводником. Это допущение позволяет рассчитать величину электрического заряда Земли: $Q = \varepsilon_0 R^2 E$, где ε_0 - диэлектрическая постоянная, R - земной радиус, а величина заряда оказывается равной: $Q \approx 6 \times 10^5$ кулон. Величина электрического поля $E = j/\sigma$ достаточно быстро уменьшается с высотой (см. рис. 1), что связано с возрастанием проводимости атмосферы σ , в то время как ток проводимости (j - плотность тока: $j \approx 10^{-12}$ А/м²) от высоты практически не зависит. Интегрируя j по поверхности Земли, можно подсчитать полный “ток утечки” Земли: $I \approx 10^3$ А. Полное сопротивление атмосферы $R^* \approx 230$ Ом. Используя известную формулу $Q = It$, можно оценить t - “время разрядки” конденсатора “Земля-ионосфера”. Это время не превышает 10 минут. Каков же должен быть источник атмосферного электрического поля, чтобы поддерживать поле практически постоянным? Ответ на этот вопрос, несмотря на многочисленные попытки, до сих пор так и не получен.

Проблема сохранения Землей электрического заряда считалась 100 лет тому назад одной из основных проблем геофизики (Швейдлер, 1936). За прошедшие годы приоритеты физики Земли значительно изменились, но уровень решения этой проблемы остался таким же, близким к нулевому, как это было и в прошлом веке.

Потенциал между поверхностью Земли и электросферой (ионосферой) V определяется выражением:

$$V = \int_0^{\infty} E(h) dh, \quad (1)$$

где $E(h)$ - высотный профиль напряженности атмосферного электрического поля, полученный с помощью радиозондовых, аэростатных и ракетных измерений. Величина V составляет примерно 300 кВ, практически синхронно меняется на очень больших расстояниях и испытывает суточную и унитарную вариации.

Унитарная вариация (Кривая Карнеги). Наиболее интересным свойством атмосферного электричества является её т.н. унитарная вариация. Явление унитарной (УТ) вариации заключается в том, что величина E по всей Земле одновременно возрастает на 20% в тот момент, когда в Лондоне (УТ-мировое время) 19 часов (см. рис. 20-11-а). Общепринятое объяснение этого явления состоит в том, что именно в это время на Земле происходит максимальное количество гроз, представляется малоубедительным. Тем более что количество гроз максимально летом, а величина E летом - уменьшается (см. рис. 20-11-б). Грозы, как известно, чаще происходят ближе к экватору, в то время как наибольшие значения E наблюдаются на широтах авроральной зоны; к полюсам и к экватору величина E убывает (Апсен и др., 1988).

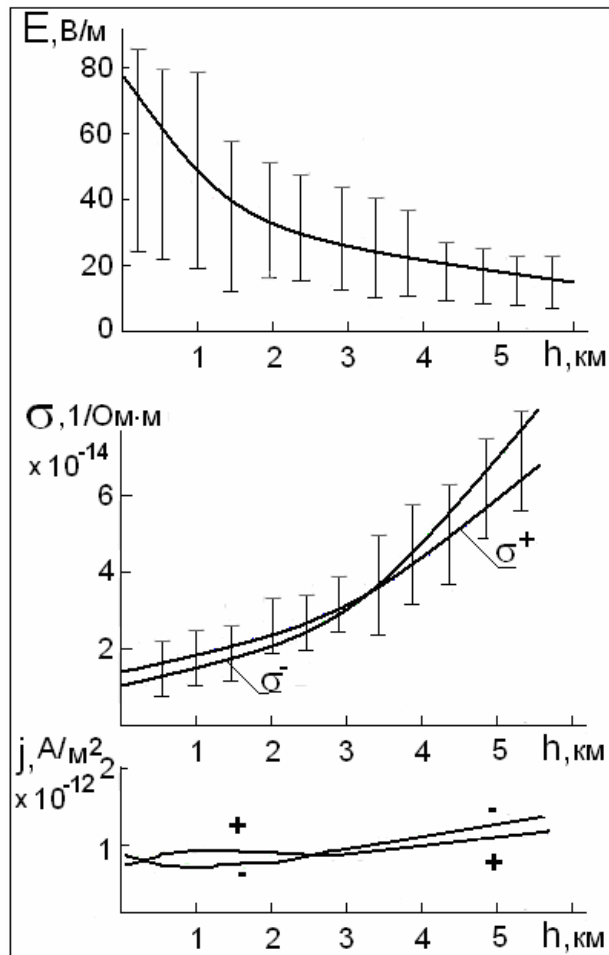


Рис. 1. Изменение поля E , проводимости атмосферы σ и плотности тока j с высотой z . (Рокитянский, 1981).

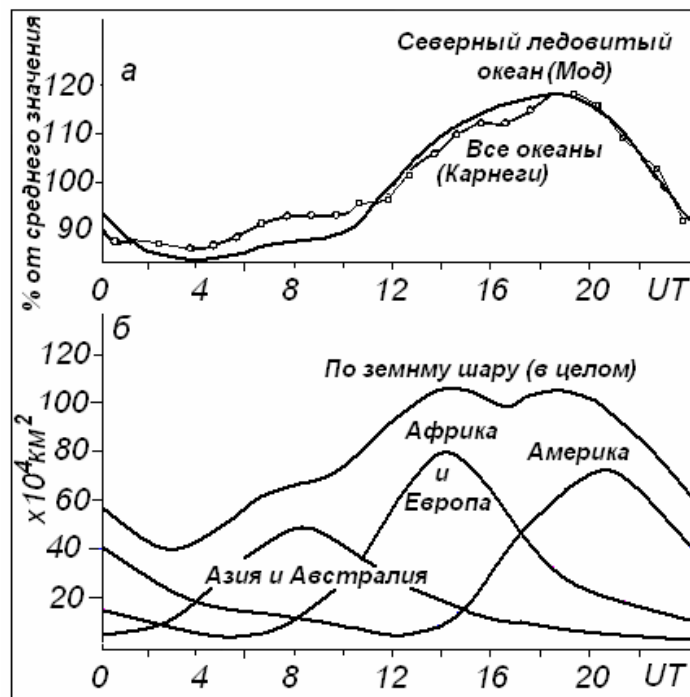


Рис. 2. Унитарная вариация E – а; распределение гроз по поверхности Земли – б.

Известна реакция гроз на солнечную активность, в частности, на вспышки. Частота гроз увеличивается на 20-70% на третьи-четвертые сутки после вспышки. Однако солнечные вспышки оказывают влияние и на атмосферное электричество. Аномально большие среднесуточные значения E , наблюдавшиеся в условиях хорошей погоды, как правило, совпадают с начальной стадией форбуш-понижения интенсивности космических лучей, непосредственно следующего за солнечной вспышкой. Таким образом, реакция гроз на вспышки проявляется с большим запаздыванием, чем реакция самого электрического поля. Аналогичные результаты наблюдений за поведением атмосферного электричества в момент разряда молнии приведены в известном популярном учебнике (Фейнман и др., 1966). Там говорится, что каждый удар молнии переносит примерно 20-30 кулон. Как быстро туча может восстановить потерю своего заряда? Измерения электрического поля, проведенные вдали от тучи, показали, что при разряде молнии наблюдается внезапный спад величины E , которая восстанавливается в течение примерно 5 секунд. Следовательно, в грозовой “машине” течет ток разделения зарядов порядка 4-6 ампер. В такой ситуации модель генерации E за счет разрядов молний представляется сомнительной.

Вариации E . Во временной зависимости E обнаружена 27-дневная вариация, связанная, по мнению авторов (ссылки в Апсен и др., 1988), со скоростью вращения Солнца и прохождением группы пятен через центральный солнечный меридиан. Там же отмечается, что по данным среднеширотной обсерватории, расположенной в Японии, корреляция E с потоком солнечного радиоизлучения не обнаружена.

E в океане. Интересный результат получен при измерении атмосферного электрического поля в океане. На среднеширотных станциях атмосферного электричества зафиксировать четкую унитарную вариацию практически не удается, т.к. “мешает” т.н. обменный слой высотой 2-3 км. Этот слой не оказывает такого сильного влияния на УТ-вариацию E в океане (Гончаренко и др., 1992). Авторы сообщения обнаружили зависимость напряженности электрического поля атмосферы от глубины океана. Величина E уменьшалась с глубиной. Кроме этого, здесь же, в этой работе было обнаружено еще одно явление, связанное с атмосферным электричеством. Величина E уменьшалась на закате и увеличивалась на восходе. Авторы объясняют его образованием объемного заряда в процессе испарения воды с морской поверхности.

***Carnegie curve* в мезосфере.** Авторы (Zadorozhny, Tyutin, 1997) анализировали измерения электрического поля на мезосферных высотах, которые проводились с использованием ракет в течение почти 20 лет. По мнению авторов, электрическое поле на высотах 50 – 70 км (величина $E \approx 1$ В/м) испытывает УТ-вариацию, аналогичную той, которая обнаружена у приземного E . Этот результат находится в согласии с обнаруженной нами УТ-вариацией в ионосфере.

***Carnegie curve* в ионосфере и магнитосфере.** Унитарная вариация была обнаружена в F-слое ионосферы (Kuznetsov et al., 1990; Плоткин и др., 1992; Kuznetsov et al., 1993) при обработке данных 26-ти ионосферных станций вертикального зондирования, расположенных в средней широте северного полушария. После отбора суточных вариаций на мировой сети станций, выяснилось, что при сравнительно простой их обработке, критическая частота F-слоя ионосферы (foF_2) при изменении мирового (универсального - УТ) времени ведет себя аналогично величине атмосферного электрического поля E .

В этих работах применялось два метода. Первый - основан на наблюдаемом малом отличии ежесуточных зависимостей foF_2 на станциях с приблизительно одинаковой широтой. Входные данные исследуемой величины обычно представлены в зависимости от местного времени LT того часового пояса, где находится станция наблюдения. Станции

расположены крайне неравномерно: в одних часовых поясах имеется несколько таких станций, в других, - их нет совсем. Поэтому, прежде всего, необходимо сопоставить каждому часовому поясу типичную для него зависимость исследуемой величины от местного времени LT. В тех часовых поясах, где было несколько станций, применялось обычное усреднение суточных зависимостей по станциям. Если в каком-либо часовом поясе, - станций наблюдения не оказывалось, использовалась линейная интерполяция зависимостей от LT, полученных в ближайших соседних часовых поясах. Справедливость подобной операции обусловлена небольшой величиной наблюдаемого долготного эффекта. Последний этап заключается в усреднении найденных зависимостей по часовым поясам для каждого момента мирового времени UT. Вследствие долготных вариаций и UT-изменений суточного хода, вычисляемая на данной широте величина, не будет постоянной. По смыслу, это мгновенное среднее значение частоты foF_2 на данной широте. Описанный метод был использован впервые для получения унитарной вариации вертикального атмосферного электрического поля вблизи поверхности Земли (Парамонов, 1950), чем и объясняется использование нами термина, - унитарная вариация foF_2 .

Однако не всегда можно подобрать обсерватории на фиксированной широте с долготным распределением, позволяющим применить линейную интерполяцию суточного хода по долготе. Был предложен другой метод (Плоткин и др., 1992; Kuznetsov et al., 1993) получения унитарной вариации с более слабыми требованиями к долготному распределению станций. При малом количестве станций авторы исходили из представления суточных зависимостей в виде суммы двух вариаций, одна из которых контролируется местным временем LT, а вторая, - мировым UT. Применяя для спокойных регулярных вариаций foF_2 спектральное представление данных в виде рядов Фурье, легко разделить методом наименьших квадратов наблюдаемые на станциях спектральные составляющие на части, контролируемые местным и мировым временем. Одновременное использование описанных методов повышает надежность определения унитарной вариации foF_2 .

В работах (Плоткин и др., 1992; Kuznetsov et al., 1993) использовались данные мировой сети станций вертикального зондирования ионосферы в диапазоне широт 40° - 50° N за сентябрь 1964 г. Результаты обработки ионосферных и геомагнитных данных по схеме, применявшейся для выделения унитарной вариации атмосферного электрического поля на континентах, показаны на рис. 3-а. Оказалось, что суточные пространственно-временные изменения критической частоты foF_2 -слоя ($fo \approx 9 \cdot 10^3 n_e^{1/2}$, n_e – концентрация электронов, см^{-3}) среднеширотной ионосферы, содержат поле унитарной вариации. UT вариация характеризуется в географической системе координат синхронным изменением foF_2 по мировому времени в течение суток на всех долготах круга заданной широты. Основное внимание было направлено на изучение интегральных характеристик суточной унитарной вариации foF_2 . В качестве такой характеристики рассматривалось мгновенное средне долготное значение этой величины. Результаты расчетов показали наличие устойчивой вариации, зависящей от мирового времени, с максимумом в 19 UT и сходство унитарных вариаций ионосферного параметра foF_2 и атмосферного электрического поля E_z , по данным большинства месяцев 1964 года. Расчеты были выполнены по данным 1963 и 1965 годов. Они показали близкие результаты. Полученная в средних широтах амплитуда унитарной вариации foF_2 имеет величину 0,5 МГц ($\Delta n_e/n_e \approx 10\%$) Она невелика и ее удастся выделить лишь при общем спокойном состоянии ионосферы. Это обстоятельство позволяет предложить использовать данную величину как количественную характеристику глобального поведения ионосферы.

По методикам, пригодным для определения унитарных вариаций различных геофизических параметров, испытывающих суточные колебания, были обработаны данные среднеширотных станций (20° - 60° N) мировой геомагнитной сети. Использовались усредненные обычным образом по спокойным дням вариации X-

компоненты геомагнитного поля для нескольких месяцев 1964 года. Установлено, что существует унитарная вариация суточного изменения северной компоненты геомагнитного поля с величиной вариации ~ 1 нТл. К сожалению, в сравнении с ионосферной ситуацией, точность используемых в мировой геомагнитной сети станций наблюдения не столь велика, чтобы можно было достаточно надежно выделять обсуждаемую вариацию указанной амплитуды, но полученные результаты указывают на ее существование.

В (Кузнецов и др. 1998; Kuznetsov et al., 1998) была исследована UT-вариация частоты foF_2 , в зависимости от солнечной активности и времени года. Установлено, что вид унитарной вариации foF_2 в годы минимумов и максимумов (рис. 20-12-b) солнечной активности существенно отличается. В годы минимумов она имеет вид, похожий на унитарную вариацию атмосферного электрического поля с максимумом в 19 UT (рис. 20-12-a). Сезонные изменения унитарной вариации foF_2 в годы минимума очень незначительны (рис. 3-с), тем не менее, они повторяют аналогичные кривые, полученные для UT E_z . В годы максимума солнечной активности вид унитарной вариации foF_2 существенно изменяется (рис. 3-б). Можно предположить, что в спокойных условиях, в годы минимума солнечной активности UT E_z и UT – вариация ионосферы и магнитосферы имеют общую природу.

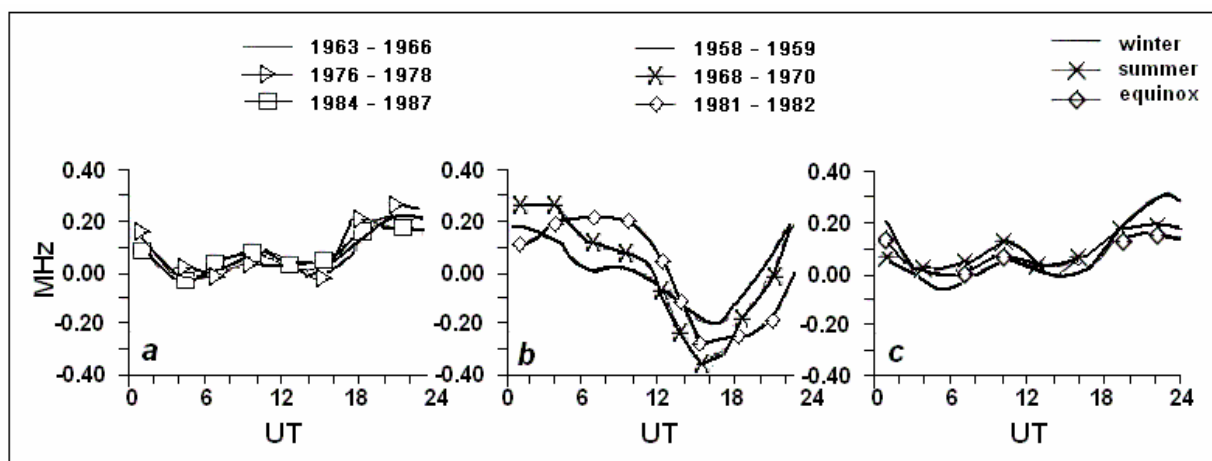


Рис.3. Унитарная вариация foF_2 , усредненная за годы минимумов (а), максимумов (б) для трех циклов солнечной активности, и в зависимости от сезона (с) (Кузнецов и др., 1998; Kuznetsov et al., 1998).

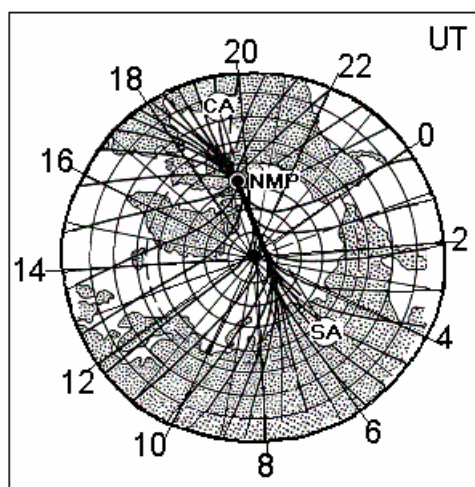


Рис. 4. Структура магнитных силовых линий в районе северного магнитного полюса (NMP) и глобальных магнитных аномалий: Канадской (CA) и Сибирской (SA).

Необычное поведение слоя F_2 на высоких широтах, в частности, образование широтной зоны пониженной ионизации («провала»), идущей параллельно зоне полярных сияний, где наблюдается более высокая степень ионизации, хорошо известно и изучено. Всё это говорит о том, что помимо солнечного излучения изменения электронной концентрации, а, следовательно, и критической частоты f_o в F_2 -слое определяются рядом геофизических факторов. Одним из таких факторов может быть и наличие ГМА, являющихся причиной, по нашей модели, возникновения UT-вариации E_z . В общепринятой интерпретации, это явление адекватно факту несовпадения полюсов: географического и магнитного. На рис. 4 показано распределение магнитных силовых линий в районе северного полюса. Можно видеть, что в области изучения вариаций ионосферы на широте $\sim 50^\circ$ N (внешний овал на рис. 4) плотность магнитных силовых линий возрастает в районах ГМА, что в принятой нами шкале соответствует ~ 7 и 19 UT. Как известно, ионосферная плазма в приполярных районах дрейфует вдоль магнитных силовых линий, и чем гуще силовые линии, тем выше плотность плазмы. Эффекты влияния геомагнитного поля на концентрацию электронов в F_2 слое рассмотрены, например, в (Акасофу, Чепмен, 1974).

Θ-аврора и унитарная вариация. Более 100 лет тому назад стало известно, что полярные сияния чаще происходят в районе Северного полюса, причем, даже не в районе геомагнитного полюса. Они сосредоточены в так называемом овале полярных сияний, расположенном в районе Северного полярного круга (67° с.ш.). В Канаде овал проходит несколько южнее и приурочен району Канадской магнитной аномалии. В Сибири овал располагается несколько северней 67° , и так же приурочен к местоположению Сибирской магнитной аномалии. Авроральная зона в южном полушарии проходит вдоль побережья Антарктиды, и так же как в северном полушарии, «касается» Антарктической глобальной аномалии (см. рис.5).

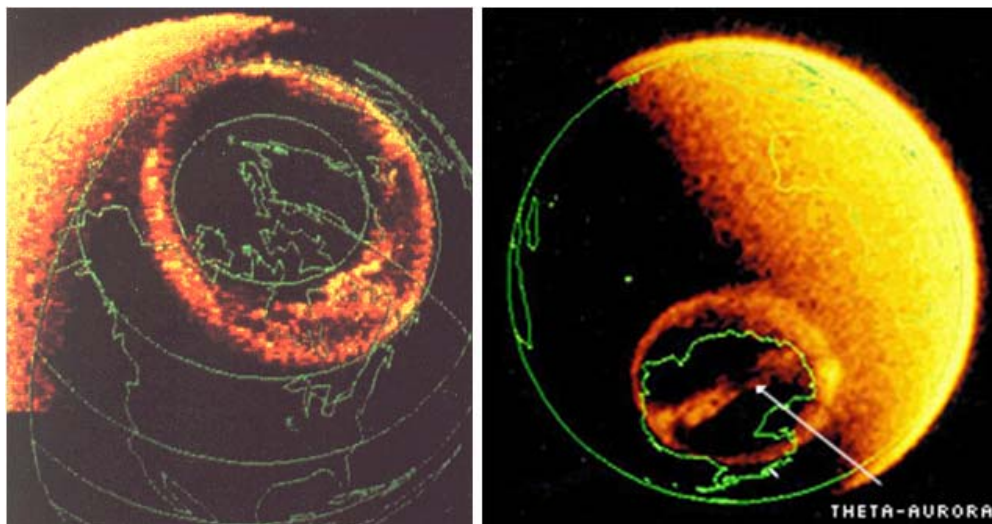


Рис. 5. Авроральные зоны в северном и южном полушариях. Яркие светящиеся образования совпадают с Канадской (слева) и Антарктической (справа) глобальными магнитными аномалиями.

До недавнего времени исследователей устраивало объяснение возможной причины появления овала полярных сияний (ПО), предложенное С.И.Акасофу (Акасофу, Чепмен, 1974). Однако к настоящему моменту имеются основания полагать, что результаты наблюдений полярного овала с помощью двух спутников Dynamics Explorer: DE-1 и DE-2, скорее не подтверждают модель Акасофу. Во время проведения эксперимента, спутник

DE-1 производил комплекс наблюдений ПО с высоты 3-4 земных радиусов, в то время как спутник DE-2, одновременно с первым, - вел аналогичные наблюдения с высоты 500 – 800 км (рис.6).

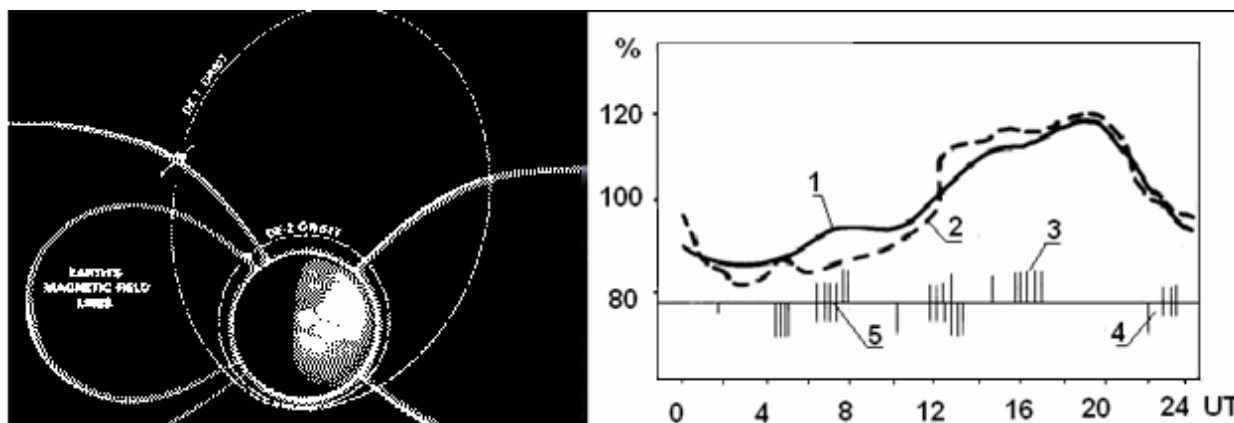


Рис. 6. Схема наблюдений спутников DE-1 и DE-2. Унитарная вариация E (1), изменение ионосферного потенциала (2) (Марксон, 1982), поведение полярной перемычки (дуги) Θ -авроры: 3 - устойчивая дуга, 4 – дуга отсутствует, 5 – наличие дуги неоднозначно (Кузнецов и др., 1989).

Результаты, по одновременному наблюдению за полярными овалами северного и южного полушарий, полученные в 2001 г. (Østgaard, et al., 2003), подтвердили наши предположения. Как следует из работы (Østgaard, et al., 2003), наблюдения проводились в течение времени от 16 до 20 UT, т.е. соответствовали максимальному значению E во время UT-вариации (19 UT). При этом в северном секторе авроральной зоны перемычка Θ -авроры наблюдалась, а в южном – нет. Как можно видеть из рис.7, перемычка возникает в южном полярном овале в момент времени, когда на Земле ~ 12 LT. На картинке полдень приходится примерно на 120° E, что соответствует ~ 8 UT. Этот факт ещё раз подтверждает, что атмосферное электрическое поле Земли может быть связано с явлениями, происходящими в авроральных зонах.

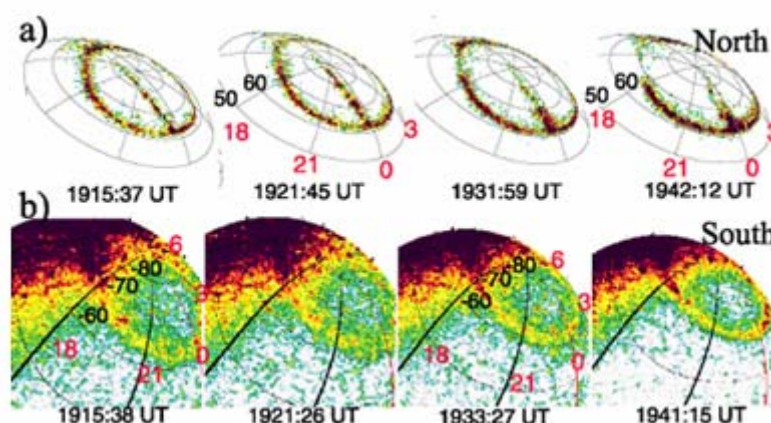


Рис. 7. Одновременное наблюдение авроральных зон северного (a) и южного (b) полушарий с помощью ультрафиолетовых (~ 130 нм) камер. Перемычка видна в северной полярной зоне и не наблюдается, - в южной. (Østgaard, et al., 2003).

Модель унитарной вариации. Как отмечалось, обсуждаемая модель АЭП основана на том, что разделение зарядов происходит не столько в грозовом облаке, что очевидно, но и в атмосфере «хорошей погоды». Подтверждением правомерности модели атмосферного электричества могло бы служить объяснение природы Carnegie curve (CC) АЭП, - Universal diurnal variation (UD-variation). Предложим модель UT-вариации АЭП без привлечения механизма, связанного с частотой гроз*, якобы максимальной на

Африканском материке. Напомним, что суть Carnegie curve АЭП состоит в том, что величина поля возрастает примерно на 20 % одновременно, на всей Земле, в период времени, когда в Лондоне 19 часов (UT = 19). Заметим, что в это время Земля ориентирована относительно Солнца таким образом, что полдень приходится в район Канады, точнее, Канадской магнитной аномалии, т.е. области, в которой горизонтальная компонента геомагнитного поля H - минимальна. Второй максимум кривой SS приходится на другой минимум величины компоненты H , который соответствует другой глобальной магнитной аномалии (ГМА) – Восточно-Сибирской.

* Согласно данным по частоте гроз, представленным на карте, отображенной на сайте: http://flash.ess.washington.edu/TOGA_network_global_maps.htm Африка вовсе не является мировым центром гроз. Частота появления гроз значительно выше в Индонезии и Южной Америке. Постоянный мониторинг данных, приводимых на этом сайте, убедительно показывает, что вообще нет смысла говорить о каком-либо мировом центре гроз.

Нашу модель SS АЭП иллюстрируем рис. 8-а, где показана плотность распределения ГКЛ, измеренная с помощью космического аппарата UoSAT, в период с 09.1988 по 05.1992 (Glassmeier et al., 2002). Для удобства представления, карта, показывающая плотность ГКЛ, перевернута таким образом, что северный полюс находится внизу, а восточная часть карты слева, - по ходу вращения Земли. Северное полушарие на рис. 8-а выбрано потому, что здесь наблюдается наибольшая долготная анизотропия ГКЛ. Несмотря на то, что в южном полушарии расположена Бразильская (Южно-Атлантическая) магнитная аномалия, в зоне влияния которой регистрируется огромная плотность заряженных частиц. Однако принято считать, что в районе БМА заряженные частицы «высыпаются» из радиационного пояса. Спектр этих частиц значительно «мягче» спектра тех ГКЛ, которые проникают в нижнюю атмосферу и там определяют концентрацию электрических зарядов. Частицы высокой энергии, регистрируемые в районе Бразильской ГМА, участия в притоке зарядов в нижнюю атмосферу не принимают и нами не учитываются. Распределение плотности ГКЛ в области южных полярных широт не имеет такой ярко выраженной анизотропии, как это наблюдается в северных широтах. На этом основании нами используется только северная часть карты. На рис. 8-б приведена карта горизонтальной, H -компоненты геомагнитного поля, расположенная аналогично карте рис. 8-а. Можно наблюдать пространственную корреляцию: области понижения величины H соответствуют областям, где наблюдается наибольшая концентрация ГКЛ, что очевидно.

Определим шкалу времени в нашей модели. Будем полагать, что ноль часов (0 UT) соответствует 180° меридиану, причем именно тогда, когда здесь полдень по местному времени. В такой шкале 19 UT соответствует полуденному времени в районе Канадской ГМА, региону Земли, в котором в атмосферу попадает максимальное количество ГКЛ, модифицированных солнечным ветром. Так как, когда в Лондоне 19 часов, как показано на рис. 8-с, Земля ориентирована таким образом, что линия 10 мкТл H -компоненты геомагнитного поля занимает самые низкие широты, а это означает, что на Землю попадает максимальное количество ГКЛ, обладающих минимально возможной энергией (самая низкая энергия обрезания). Очевидно, что при этом количество заряженных частиц в нижней атмосфере заметно возрастает, что собственно и приводит к увеличению атмосферного электрического поля. На рис. 8-с показана унитарная вариация электрического поля. Можно видеть, что изолиния H -компоненты геомагнитного поля 10 мкТл (выделена черным цветом, север – внизу) и UT-вариация атмосферного электрического поля E – практически совпадают. Эти факты положены в основу нашей модели.

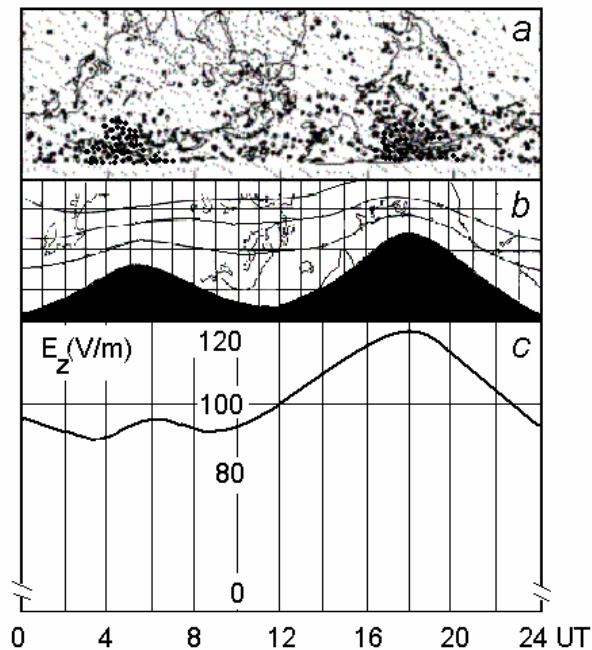


Рис. 8: *a* – Распределение интенсивности космических лучей, полученное с помощью космического аппарата UoSAT в период с 09.1988 по 05.1992 (Glassmeier et al., 2002) в северном полушарии (север – внизу); *b* – Изолиния величины Н-компоненты геомагнитного поля 10 мкТл (выделена черным цветом, север – внизу); *c* – UT-вариация АЭП.

Надо сказать, что эта идея совсем не нова. Аналогичную мысль высказал много лет тому назад Э. Швейдлер, который писал: «.. время вступления в максимум (19 часов по Гринвичу) совпадает приблизительно с полуднем меридиана (96° з.д.), проходящего через магнитный полюс северного полушария» (Швейдлер, 1936). Северный магнитный полюс был близок в то время к Канадской глобальной магнитной аномалии.

Выясним, существуют ли экспериментальные факты, касающиеся UT-вариации, свидетельствующие в пользу нашей модели? Действительно, такие факты известны, сошлемся, например, на результаты наблюдений сезонного хода E_z в Антарктиде, на станции Восток, в течение 1998 г. (Corney, et al., 2003). Результаты, полученные авторами этого сообщения (данные представлены в относительных единицах), приведены на рис. 9(1). Авторы измеряли унитарную вариацию в течение 1998 года спокойного Солнца и отобрали всего 127 дней «хорошей погоды»: зимой (ноябрь, декабрь, январь и февраль) - 44; летом (май, июнь, июль и август) - 33 и 50 - в равноденствие (март, апрель, сентябрь и октябрь). Как и следовало ожидать, электрическое поле в дни равноденствий (equinox) вело себя таким же образом, что и в среднем в году. Максимальные значения поля E_z были примерно одинаковы и от сезона особенно не зависели. Кривые (рис. 20-18.1) удобнее различать по относительным величинам поля в периоды второго максимума: летом, это 0.9, в дни равноденствия – 0.8, зимой – 0.7.

Рассмотрим модель взаимодействия ГКЛ (на рис.9.2 - показаны стрелками), с магнитным полем Земли. В дипольном геомагнитном поле ГКЛ, модифицированные Солнцем, достигнут Земли преимущественно на её геомагнитных полюсах, где горизонтальная компонента равна нулю. Именно в районах полюсов должна наблюдаться самая высокая концентрация электрических зарядов.

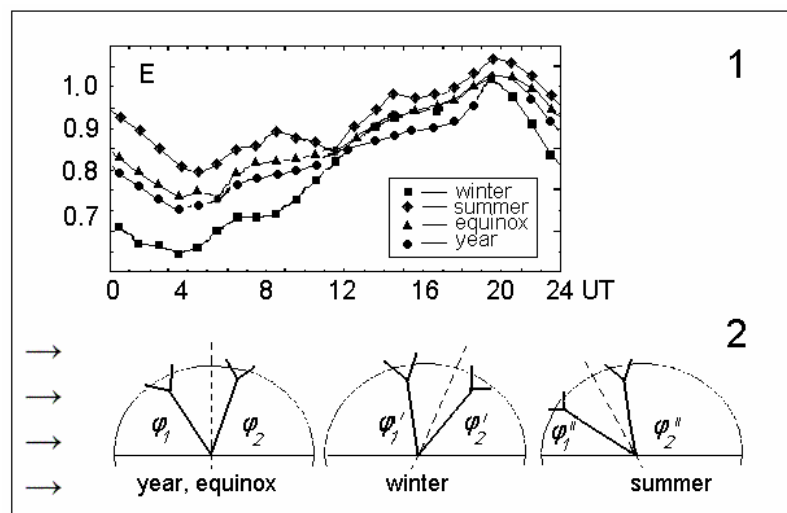


Рис.9. Усредненная величина атмосферного электрического поля (в отн. ед.), зарегистрированная на станции Восток (Антарктида) в течение 1998 г. (Corney, et al., 2003) [1]. Ориентация Земли относительно направления СКЛ (стрелки) в равноденствие, зимой и летом. Углы и «воронки» соответствуют ГМА [2]: Канадская ГМА находится на широте $\varphi_1 \approx 55^\circ$ N, Сибирская - $\varphi_2 \approx 63^\circ$ N.

Четыре глобальных магнитных аномалии Земли оказывают существенное влияние на структуру геомагнитного поля, две из них расположены в северном полушарии: это Канадская и Сибирская магнитные аномалии. Координаты Канадской ГМА: широта $\varphi_1 \approx 55^\circ$ N, долгота $\lambda \approx -100^\circ$; координаты Сибирской аномалии: $\varphi_2 \approx 63^\circ$ N, долгота $\lambda \approx 120^\circ$. Эти ГМА определяют конфигурацию геомагнитного поля в северном полушарии, в частности, - «провал» к югу изолинии Н-компоненты, изображенный в верхней части рис. 20-17. Представим себе схему, в которой высокоэнергичные протоны ГКЛ попадают в атмосферу Земли через ГМА, как своеобразные стоки - «воронки» (рис.9.2). Обозначим широту Канадской ГМА - φ_1 , Сибирской - φ_2 . Плотность потока частиц ГКЛ, попадающих в геомагнитную «воронку», пропорциональна широте положения ГМА: $\sim \cos \varphi$, где φ - широта. Повторим, что наибольшее количество ГКЛ попадает в атмосферу Земли в районах полярных широт, где $\varphi \rightarrow 90^\circ$. Пользуясь принятым правилом, оценим соотношение интенсивностей потоков ГКЛ (обозначим его A) в районе Канадской ГМА, соответствующей 19 UT и Сибирской ГМА, соответствующей 7 UT.

Учтем, что положение Земли относительно Солнца в течение года меняется на угол $\pm 23^\circ$. Среднегодовое значение A равно отношению интенсивностей потоков ГКЛ в периоды весеннего и осеннего равноденствий, величина $A \sim \cos \varphi_1 / \cos \varphi_2 = E = 0.8$, для зимы $A \sim \cos (\varphi_1 + 23) / \cos (\varphi_2 + 23) = E = 0.7$, и лета $A \sim \cos (\varphi_1 - 23) / \cos (\varphi_2 - 23) = E = 0.9$. Полученные значения практически совпадают с данными, по отношениям E , приведенными на рис. 9.1, что может говорить об адекватности модели.

В поддержку модели можно сослаться на результаты работы (Tinsley, 2000), где показано, что в моменты Форбуш понижения потока ГКЛ синхронно уменьшается и величина E_z . Этот вопрос подробнее будет рассмотрен ниже.

Атмосферное электричество во время геомагнитных бурь.

Форбуш-понижения в АЭП. Магнитные бури и ионосферные возмущения находят отражение в поведении атмосферного электричества «хорошей погоды». Эта проблема интенсивно изучается, однако, она выходит из круга обсуждаемых нами здесь вопросов. Остановимся лишь на эффектах, демонстрирующих влияние на атмосферное электричество - ГКЛ и других заряженных частиц, попадающих в атмосферу Земли во

время геомагнитных бурь. Как отмечалось выше, основной вопрос, рассматриваемый в этой работе, состоит в выяснении причины, почему и каким образом Земля сохраняет свой заряд неизменным? В контексте с этой темой, нас интересует, какое влияние на заряд Земли оказывают заряженные частицы, попадающие в атмосферу. Казалось бы, присутствие таких частиц приводит к дополнительной ионизации, иначе, к увеличению электропроводности σ и, т.к. $E \sim 1/\sigma$, - к уменьшению величины АЭП. И, соответственно, наоборот, - в моменты Форбуш понижений в ГКЛ, АЭП должно было бы возрастать (Rycroft, et al., 2000; Ogawa, 1985).

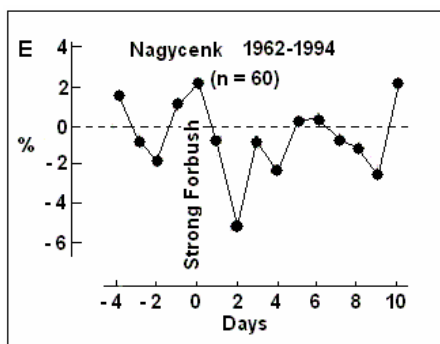


Рис. 10. Изменения атмосферного электрического поля во время Форбуш-понижения галактических космических лучей (Märcz, 1997).

Исследованию этого явления посвящена работа (Märcz, 1997), в которой автор в течение 1962-1994 гг. регистрировал поведение АЭП в моменты Форбуш понижений ГКЛ. Наблюдения велись на венгерской обсерватории Nagycenk. Оказалось, что в моменты сильных Форбуш понижений, электрическое поле уменьшалось на $\sim 5 - 10\%$ (рис. 10), а затем восстанавливалось до прежнего уровня в течение 5 – 10 дней. Полученные автором результаты отличались от всех предшествующих, но, как можно понять из статьи (Märcz, 1997), исследования проведены очень тщательно и вполне заслуживают доверия. Автор приходит к выводу, что в рамках существующих представлений о глобальном атмосферном электрическом контуре (ГАЭК), объяснить поведение E не удастся: «маловероятно, что изменения проводимости и потока солнечных частиц одни могут объяснить глобальные изменения электрического поля». Кроме этого, автор приходит к важному для нашей модели выводу: «электрическое поле может одновременно находиться под влиянием других факторов, которые более эффективны в другом месте в атмосфере, и действуют посредством изменения параметров ГАЭК. Таким образом, реакция АЭП к солнечно-земным событиям не всегда однозначна».

Модель Форбуш-эффекта в АЭП. Основной вопрос, который мы задаем в этой главе, состоит в выяснении физики АЭП, в частности, сохранения величины поля практически постоянной на всей Земле, или переформулировав проблему, выяснении причины, почему и каким образом Земля сохраняет свой заряд неизменным? В контексте с этой темой, нас интересует, какое влияние на заряд Земли оказывают заряженные частицы, попадающие в атмосферу. Казалось бы, присутствие таких частиц приводит к дополнительной ионизации, иначе, к увеличению электропроводности σ и, т.к. $E \sim 1/\sigma$, - к уменьшению величины АЭП. С другой стороны, как следует из нашей модели, ГКЛ вносят в атмосферу Земли электрический заряд, который, разделяясь падающими на Землю каплями, является источником поля E . Таким образом, должно наблюдаться увеличение поля E при увеличении потока ГКЛ.

Наблюдения АЭП проведенные на Камчатке показали, что если Форбуш понижения в ГКЛ выделяются очень наглядно, то эти же эффекты в АЭП наблюдать значительно сложнее (см. рис. 11). Дело в том, что на атмосферное электричество, т.е. на

поведение E_Z во времени оказывают процессы, происходящие в т.н. обменном слое атмосферы и, в частности, большую роль играют резкие порывы ветра и другие метеопараметры. Фазу восстановления поля E_Z на Камчатке проследить не всегда удается, т.к. ситуация, когда 5 дней «хорошей погоды» идут подряд, - бывает довольно редко. Тем не менее, как следует из рис. 11, понижение величины E_Z синхронно с Форбуш понижением ГКЛ наблюдается достаточно однозначно. Задержка начала понижения величины АЭП (Märcz, 1997) связана, по всей видимости, со временем осреднения данных.

Детальный анализ совпадений времени начала Форбуш понижения интенсивности ГКЛ и временной зависимости уменьшения интенсивности потока нейтронов с явлениями в АЭП показал, что действительно Форбуш понижение интенсивности потока ГКЛ совпадает по времени с началом понижения величины E_Z . Анализу были подвергнуты данные записи E_Z , с минутным осреднением, полученные на обсерватории Паратунка с 1998 г. по 2006 г.. Сначала, по данным супермониторов Москвы и Магадана отбирались дни, когда происходили Форбуш понижения интенсивности ГКЛ. Затем из данных E_Z выделялись дни «хорошей погоды» для АЭП, совпадающие с датами Форбуш понижений интенсивности ГКЛ, и дни, когда регистратор E_Z работал нормально. Из данных, полученных в течение семи лет регистрации E_Z на станции Паратунка, таких совпадений оказалось чуть больше 20. Анализ данных приведенных на рис. 11 показывает, что уменьшение величины E_Z начинается практически одновременно с началом Форбуш понижения, задержка сигнала E_Z относительно Форбуш понижения не более двух часов. Скорости понижения величин интенсивности потока ГКЛ и АЭП практически совпадают.

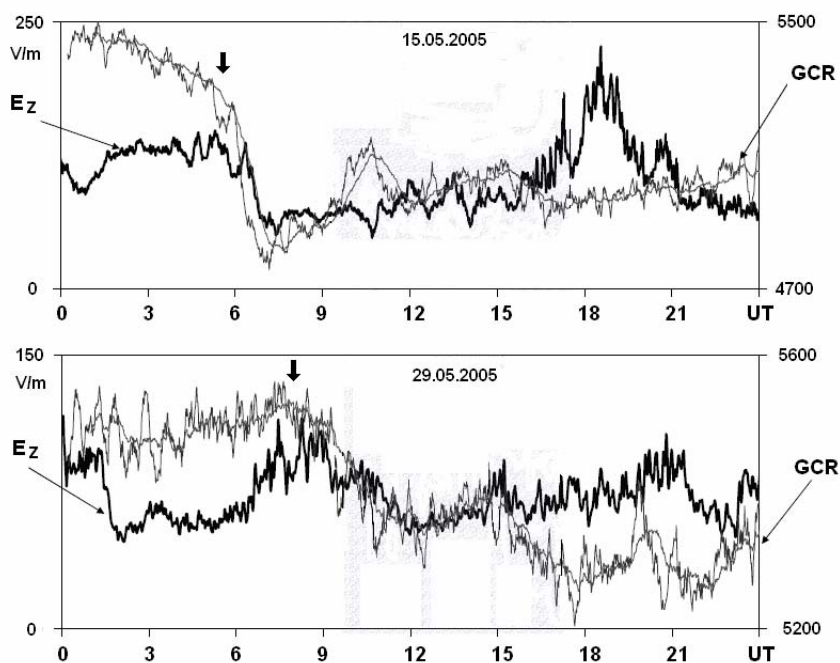


Рис. 11. Изменение атмосферного электрического поля E в момент Форбуш понижения и восстановление величины E в последующие дни.

Несомненный интерес представляет выяснить, насколько связаны понижения E_Z и ГКЛ по амплитуде, т. е. иначе, пропорционально ли изменяется величина E_Z с понижением интенсивности потока ГКЛ? Этот вопрос был специально исследован; отобраны 18 событий, на которых понижения ГКЛ и E_Z фиксировались очень четко. Данные приведены на рис. 12-а, где показан усредненный временной ход ГКЛ и E_Z во время Форбуш понижения, рис. 12-б показывает, что наблюдается линейная зависимость

понижений ГКЛ и АЭП, причем, процент понижения величины E_Z примерно в 10 раз превышает процент понижения интенсивности ГКЛ. Модель АЭП, в которой предполагается взаимосвязь E_Z с ГКЛ, должна учитывать и находить объяснение этому факту.

Объяснение будем искать в нашей модели АЭП. Вспомним, что в работах (Ермаков et al., 1997; Ермаков, Стожков, 2004) экспериментально установлено, что ионизация атмосферного воздуха космическими лучами q происходит в соответствии с линейным уравнением баланса ионов: $q = \beta N$, а не в состоянии с обычно используемым квадратичным уравнением: $q = \alpha N^2$. Здесь α – коэффициент объемной рекомбинации, β – коэффициент линейной рекомбинации, эти коэффициенты различны по величине и по размерности. Обнаруженная зависимость указывает на то, что в действительности связь между концентрацией ионов в атмосфере и потоком космических лучей является более сильной ($N \sim P$), чем предполагалось ранее ($N \sim P^{1/2}$) (см. рис. 12-с). Этот подход укрепляет уверенность в том, что ГКЛ оказывают решающее влияние на АЭП и ток проводимости атмосферы j . В качестве иллюстрации сказанному приведем рис. 12-б, на котором можно видеть устойчивую корреляцию между потоком ГКЛ - N и током j (dQ/dt).

Из наблюдений мы получили: изменения E (атмосферное электрическое поле) в момент Фобуш понижений к вариациям P (интенсивность потока КЛ): $dE/E \approx 10 dP/P$, т.к. $E \sim N$, то $dN/N \approx 10 dP/P$, иначе $N \sim P$.

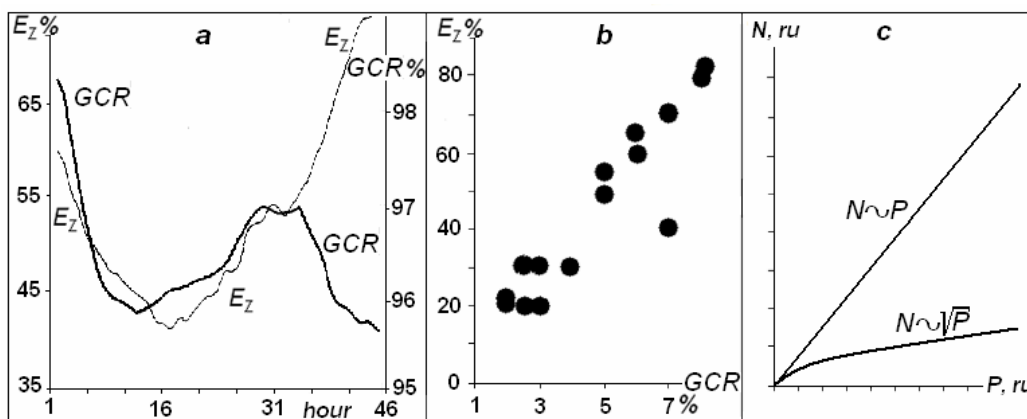


Рис. 12. Время Форбуш понижений в ГКЛ и E_Z (из наших наблюдений) - а; Соотношение величин понижений - б; Зависимости между N и P - с.

Обсудим полученный результат в контексте нашей модели. Как отсюда следует, в атмосфере происходят одновременно два процесса: один из них, это возникновение электрического поля за счет разделения заряда падающими каплями, а другой, состоит в том, что присутствующие в атмосфере легкие ионы, не захваченные каплями, являются носителями атмосферного электрического тока j за счет собственной подвижности u : $j = n^+ eu$. В первом процессе тоже «течет ток», обозначим его j_i . Этот «ток» представляет собой перемещение отрицательных зарядов к Земле и положительных – к ионосфере. Будем считать его внутренним током источника. Заметим, что наша модель в высокой степени согласована: внутреннее сопротивление источника равно (или меньше) сопротивлению внешней цепи атмосферного тока. Это условие соответствует, как мы отмечали выше: $I = I_i$ (I - ток утечки, I_i – внутренний ток источника), однако, это совсем не означает, что $j = j_i$, т.е. должно соблюдаться равенство плотностей тока.

В такой ситуации, естественно, возникает вопрос, известно ли что-нибудь о внутреннем токе источника, т.е., иначе, имеются ли данные о наличии «другого тока» в атмосфере, кроме $j = n^+ eu$? Это принципиальный момент нашей модели. Оговоримся, что

современные методы регистрации АЭП и проводимости σ обнаружить I_i не смогут, т.к. тяжелых ионов и заряженных аэрозолей не регистрируют. Принято считать, что ток утечки I , - это дрейф легких ионов в поле E . Модель АЭП окажется правдоподобной в том случае, если удастся выявить ток источника, привлекая любые, в том числе не прямые методы обнаружения. (Ниже мы попытаемся связать ток источника АЭП с токами Шмидта-Бауэра).

Существуют ли «токи Шмидта-Бауэра»?

Мы отмечали, что ни заряженные отрицательные аэрозоли, ни «тяжелые» ионы, - не регистрируются аппаратурой, предназначенной для измерения АЭП и проводимости атмосферы. Постулированный нами внутренний «ток» источника АЭП представляет собой сумму падающих на Землю отрицательно заряженных тяжелых ионов и капель, и подъем положительно заряженных ионов гидроксония (H_5O^+ и H_3O^+) восходящими потоками воздуха в верхние слои атмосферы, вплоть до D-слоя ионосферы. Движение заряженных частиц положительных в одном направлении, а отрицательных - в другом, это, собственно, и есть ток - внутренний ток источника. Очевидно, что этот ток не может быть обнаружен стандартной аппаратурой.

Естественно, возникает вопрос, если это ток источника, то где же он должен «протекать»? В каком регионе Земли? Как отмечалось, ГКЛ в основном попадают на Землю в полярных регионах. Там должна быть максимальная концентрация зарядов. По-видимому, там должны быть и токи источника, причем направление тока должно быть противоположным току утечки: снизу-вверх. Известно ли что-нибудь о таких токах? Вполне возможно, что «ток», требующийся согласно модели, есть ни что иное, как тот самый, уже давно забытый ток Шмидта-Бауэра, который вызывал огромный интерес у физиков более 100 лет тому назад (Швейдлер, 1936). Так как наблюдения велись с помощью аппаратуры, предназначенной для измерения атмосферного тока j , токи Шмидта-Бауэра никогда не были обнаружены экспериментально. Наличие на Земле таких вертикальных токов в атмосфере, решало бы ещё одну важную проблему физики Земли - проблему потенциальности источника генерации геомагнитного поля, с одной стороны, и, с другой, служило бы поддержкой нашей модели АЭП.

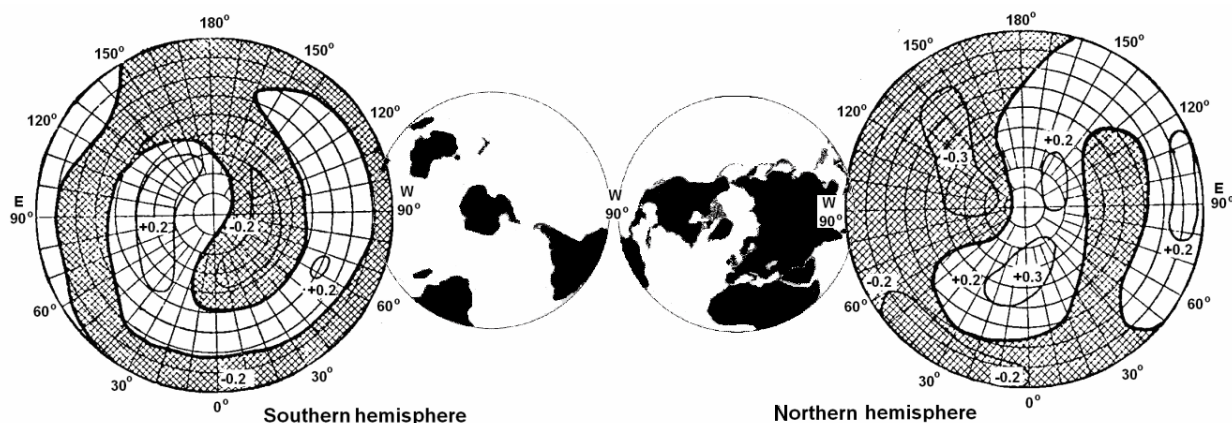


Рис. 13. Токи Шмидта-Бауэра (Швейдлер, 1936) в северном и южном полушариях. В районах полюсов – токи положительные (направлены вверх), в экваториальной зоне – токи отрицательны (направлены вниз). На внутренней вставке – соответствующее расположение материков.

В чем же состоит природа токов Шмидта-Бауэра? Напомним, что А. Шмидт, анализируя результаты наблюдений геомагнитных данных 1885 г., обнаружил, что, если интегрировать величины Н-компонент геомагнитного поля по замкнутой кривой на поверхности Земли, то интеграл оказывается не равным нулю. Это может означать только

то, что внутри этого контура имеется вертикальный ток, плотность которого (по оценкам Шмидта) в 10 000 раз больше плотности тока j . Вычисления Шмидта по материалам, полученным на сети станций, местами недостаточно густой, признали не вполне надёжными. Однако, Л.А. Бауэр, опираясь на значительно более плотную сеть магнитных станций и на более точные наблюдения, повторил расчеты Шмидта для данных 1897, 1904, 1908, 1920 гг. Практически во всех случаях он находил подтверждение результата Шмидта. Проведенные им оценки погрешностей измерения поля и его интерполяции показали, что даже при отклонении ошибок в одном направлении во всех пунктах измерения и при примитивном линейном методе интерполяции, не получается и половины среднего значения циркуляции поля, что, в частности, послужило основанием для Швейдлера (1936) высказаться в пользу реальности данного явления.

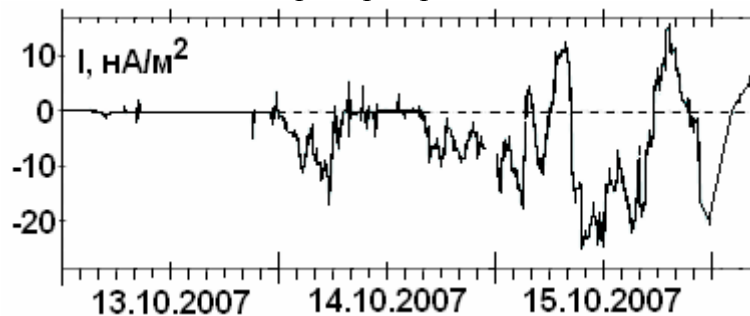
В результате расчетов, проведенных Шмидтом и Бауэром (ШБ), было обнаружено, что в полярных регионах "ток" действительно направлен вверх (как и следует из нашей модели), в то время как «ток» экваториального пояса в целом имеет противоположную направленность. Согласно модели, этот «ток» обязан интенсивному испарению в районе экватора с выносом восходящих потоков большого количества отрицательно заряженных водных аэрозолей.

Расчеты показали, что плотность обнаруженного таким методом "тока" на 4 порядка превышает плотность атмосферных токов проводимости. Кроме этого, оказалось, что не потенциальная часть поля присутствует не только в постоянном, но и в переменном геомагнитном поле, т.е. в суточных S_q -вариациях (Бенькова, 1941). В частности, Беньковой было показано, что не потенциальная часть S_q -вариаций достигает 1/5 всего поля вариаций, а плотность переменных "токов", которые ее создают, на 2-3 порядка превышает плотность токов проводимости атмосферы. Эти данные так же не противоречат нашей модели АЭП.

Токи, текущие в атмосфере Земли, известны:

- Плотность тока ионов в районах с ясной погодой составляет $2\text{-}3 \cdot 10^{-16}$ А/см²
- Плотность тока, обусловленного переносом зарядов на каплях дождя, града, снега, при спокойных ливнях составляет $10^{-11}\text{-}10^{-10}$ А/см²
- Плотность тока, обусловленного переносом зарядов на каплях дождя, града, снега, при грозовых ливнях и граде составляет до $10^{-8}\text{-}10^{-10}$ А/см²
- Сила тока в молнии - до 500 кА, (с наибольшей вероятностью - в диапазоне 20-40 кА). Напряжение в молнии составляет до 10^9 В, длина молнии достигает 10 км, диаметр канала молнии достигает 20 см.

Отметим, что плотность тока ШБ примерно равна плотности тока дождя.



Ток дождя (Канониди et al., 2010).

Сравним величины электрических зарядов в атмосфере Земли:

- Средний заряд грозового облака 50 кулон.
- Заряд циклона, по нашим оценкам, достигает $Q = 5 \cdot 10^3$ Кл. Площадь его 100×100 км² = 10^{10} м². (Кузнецов и др. 2007)

- Заряд Земли как шара радиусом R обладающим полем $E = 100$ В/м: $Q_1 = \varepsilon_0 R^2 E = 5.7 \cdot 10^5$ кулон, R_E – радиус Земли ε_0 – электрическая постоянная.

- Заряд слоя положительных ионов, толщиной 1 км, на высоте 85 км: $Q_2 = NSh_e = 10^4 \text{ см}^{-3} \times 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^2 \times 10^5 \times 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} = 10^9 \text{ Кл}$, где N - концентрация зарядов, S - площадь поверхности Земли, h - толщина слоя, e - заряд электрона.

- Заряд, переносимый к Земле током дождя в течение одних суток на территории равной примерно 0.1% от общей поверхности Земли: $Q_3 = j S k t = 10^{-10} \text{ А/см}^2 \times 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^2 \times 10^{-3} \times 1 \text{ сутки} (\approx 10^5 \text{ с}) = 5 \cdot 10^{10} \text{ Кл}$. Здесь: j – плотность тока дождя, k – доля поверхности Земли, занятой дождем, t - время зарядки Земли дождем.

- Заряд конденсатора «Земля-ионосфера»: $Q_4 = CU$, где C - ёмкость конденсатора Земля-ионосфера (электросфера) $C = 4\pi\varepsilon_0 \Delta R_E / R_E^2 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ ф}$. ΔR_E – высота ионосферы. U – потенциал ионосферы $U = 300\,000 \text{ В}$. $Q_4 = CU = 5 \cdot 10^{-2} \text{ ф} \times 3 \cdot 10^5 \text{ В} = 1.5 \cdot 10^4 \text{ Кл}$.

Сравнение величин зарядов Q_1 и Q_4 , имеющих непосредственное отношение к АЭП, с величинами зарядов слоя положительных ионов (ионов гидроксония) Q_2 и зарядов дождевого облака Q_3 , показывает, что электрический заряд атмосферы значительно (более чем на 4 порядка) превышает заряд, приписываемый АЭП.

Если природа токов АЭП известна, это дрейф легких ионов, то о природе токов ШБ этого сказать нельзя. Выше мы отмечали, что токи ШБ по величине идентичны токам дождя. Примем, что ток дождя и есть ток ШБ, и в дальнейшем будем считать это истиной. Известно, что дождевые капли заряжены отрицательно и падают вниз. Это означает направление тока вверх, что относится к полярным регионам. Следуя этой логике, в экваториальных регионах, так как там ток направлен вниз, а носителем заряда могут быть только капли воды, должен происходить перенос отрицательно заряженных водных аэрозолей вверх. Выясним, каким образом может быть реализована эта схема.

Давно известно, что при испарении воды в гравитационном поле происходит разделение зарядов. Этот процесс ответствен за возникновение электрических вспышек и молний в атмосфере. В динамике таких процессов явно формируются кулоновские динамические аттракторы, фокусирующие электрическое поле и заряд. Образование двойного слоя на поверхности раздела фаз является общим свойством (и не только воды и газа). На экваторе происходит интенсивное испарение, ионизация и разделение зарядов.

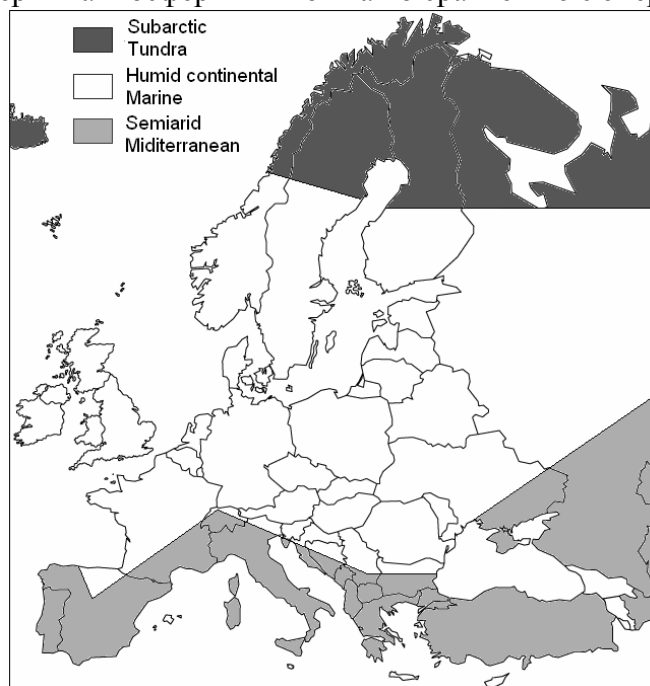
При этом происходит диссоциация воды на ионы водорода и гидроксила. Свободный ион H^+ не способен к самостоятельному существованию и гидратируется молекулой воды с образованием иона гидроксония: $\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+$. Суммарная реакция представляет собой переход протона от одной молекулы к другой и образование ионов гидроксония и гидроксила: $\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$. Гидроксоний – летучий газ быстро поднимается в атмосфере до высоты 85 км и по неясной причине - здесь накапливается. Гидроксил коагулирует на себя пары воды, превращается в водный аэрозоль, который поднимается восходящим потоком нагретого воздуха. Именно этот процесс является током ШБ, направленным вниз. Как известно, на экваторе происходит основное образование облаков, которые переносятся ветрами в более холодные районы Земли и выливаются дождем.

Наши наблюдения за изменением полярности АЭП, проведенные на Камчатке в районе термальных полей вулкана Мутновский, подтверждают эту идею. Нами было показано, что если из термальной скважины выбрасывается пар с большим содержанием конденсированной воды, то величина АЭП уменьшается и может изменить свою полярность. Если из скважины выбрасывается сухой водный пар, то величина АЭП значительно возрастает.

Сравним электрическую энергию, запасенную в конденсаторе «Земля-ионосфера» с энергией атмосферы. Электрическая энергия $W \approx C \cdot Q$.

- Энергия атмосферного электрического поля $W_1 = 3 \cdot 10^4 \text{ Дж}$, слоя ионов $W_2 = 5 \cdot 10^7 \text{ Дж}$, заряда дождя $W_3 = 2 \cdot 10^9 \text{ джоулей}$. Энергия конденсатора $W_4 = 5 \cdot 10^2 \text{ Дж}$.

Полученные значения величин сравним с энергией атмосферы. Внутренняя энергия всей атмосферы порядка 10^{23} Дж, потенциальная несколько меньше, а кинетическая - на два порядка меньше: 10^{21} Дж, то есть составляет менее 1% потенциальной энергии. Видно, что электрическая энергия атмосферы ничтожна по сравнению с энергией кинетической.



Климат Европы.

Приведенные выше оценки показывают, что на Земле должно наблюдаться изменение токов ШБ в зависимости от вариаций климата при соблюдении общего условия равенства текущих токов вверх и вниз. Токи должны изменяться и при смене сезонов зима-лето и при изменении температуры. Вероятно, изучая изменения данных магнитных обсерваторий за последние пол века, можно будет обнаружить тенденцию изменения токов ШБ, вызванных современным трендом глобального потепления.

Остается выяснить как, в рамках этой модели, должны изменяться токи ШБ: возрастать или уменьшаться? Очевидно, что сумма токов восходящих должна быть равна токам нисходящим. Как было показано автором, величина АЭП синхронно уменьшается с увеличением температуры. При увеличении температуры скорость конденсации паров воды уменьшается, а скорость испарения растет. Это должно приводить к тому, что фазовый переход «испарение» становится более эффективным, иначе большее количество воды испаряется, образуется большее количество разделенных зарядов и токи ШБ должны бы возрастать. Такая ситуация, если она подтвердится, может говорить, что токи ШБ не имеют непосредственного отношения к атмосферному электрическому току (J), хотя, с другой стороны, именно восходящий поток приводит к возникновению положительно заряженного слоя ионов гидроксония. Собственно, наличие положительного заряда в этом слое и отрицательного – на поверхности Земли и является причиной появления АЭП и тока J . По модели АЭП заряженные частицы выше облачности, т.е. выше действия токов ШБ обеспечиваются ионизацией воздуха галактическими космическими лучами.

Электрическая нейтральность Земли. Обсудим вопрос об электрической нейтральности Земли и других небесных тел. Вопрос можно переформулировать таким образом: является ли Земли отрицательным электродом - своеобразным «катодом» в космосе? Или она в космосе – электрически нейтральна? К сожалению, в данном случае мы не имеем возможности обратиться к опыту по АЭП на других планетах, как это было в случае с геомагнетизмом. Из космических наблюдений известно, что в атмосфере Венеры

спускаемыми аппаратами наблюдались явления типа грозových. Известно, что на Юпитере имеется ионосфера, но есть ли там АЭП – не известно. Одно ясно, что если АЭП – это «продукт» электрических поляризационных свойств воды, то и поля, аналогичного земному, - там нет.

Согласно нашей модели АЭП, так же как радиальное поле F-слоя в ядре Земли, - это поле двойного электрического слоя (ДЭС). Среди большого количества определений этого понятия, на первом месте стоит следующее: «Двойной электрический слой, два весьма близких друг к другу слоя электрических зарядов разного знака, но с одинаковой поверхностной плотностью, возникающие на границе раздела двух фаз». АЭП, как и поле F-слоя обязаны разделению электрических зарядов в поле тяготения. Причины ионизации различные: ионизация космическими лучами - в первом случае, и высокая температура – во втором. Электрическое поле ограничивается границами раздела двух фаз, именно так, как это следует из определения ДЭС. В нашей модели отрицательный «электрод» АЭП – проводящая поверхность Земли, положительный – слой положительных ионов гидроксония. За пределами ДЭС – поле отсутствует, обеспечивая электрическую нейтральность Земли. Ионосфера, расположенная выше этого слоя – электрически нейтральна. Конечно, в ней, при движении проводящей среды в геомагнитном поле, электрические поля возникают, но они, естественно, потерю зарядов Земли не вызывают. Т.о. наша модель отвечает на поставленный вопрос, почему Земля свой электрический заряд сохраняет (Швейдлер, 1936). Можно ли распространить этот вывод на другие космические объекты, в частности, на Солнце, которое «разбрасывается» протонами, сказать не могу. Честно говоря, этот вопрос, так же как вопрос об электрическом заряде элементарных частиц (Ахиезер, Рекало, 1974) выходит из круга проблем физики Земли. Для того чтобы рассмотреть вопрос о величине «остаточного заряда» Земли, планет и звезд и, возможно, связанного с ним следствия – не ошибаемся ли мы в связи с этим в оценке масс небесных тел, пока нет достаточных оснований. (По крайней мере, в рамках обсуждаемой здесь модели).

Обсуждение модели. Основное отличие нашей модели атмосферного электричества от общепринятых представлений о сущности АЭП, состоит в том, что грозы, которые без сомнения оказывают влияние на поле E , - не являются главным его источником. При этом исчезает одно из противоречий АЭП, состоящее в том, что атмосферное электричество хорошей погоды связано с грозовой деятельностью облаков, т.е. с тем фактором, который в исследованиях АЭП исключался как аномальный. Вторым важным моментом модели является логичное обоснование постоянства величины АЭП. Оно обязано двум факторам: стабильности среднегодовой температуры поверхности Земли и стабильности потока ГКЛ, которые доставляют Земле электрический заряд. Этот фактор очевиден, так как стабильность среднегодовой температуры определяет стабильное соотношение между скоростями испарения и конденсации, что, в свою очередь, обеспечивает стабильность процесса образования и роста аэрозолей. Третьим важным моментом новой модели является то, что в атмосфере был «обнаружен» положительно заряженный слой ионов гидроксония – второй «электрод» конденсатора Земля-ионосфера.

Вернемся к причинам разработки принципиально новой модели АЭП и её основным положениям. Они заключаются в том, что:

- Неоднократные наблюдения АЭП показывают, что во время гроз его величина – уменьшается, в то время принято считать, что гроза – источник атмосферного электричества.

- В формировании тока утечки j принимают участие только легкие ионы. Именно они определяют характер профиля зависимости E от высоты. Изменение концентрации и соотношения легких ионов различного знака фиксируется измерительными приборами. Тяжелые ионы и мелкодисперсный аэрозоль - не принимают участие в формировании

регистрируемого приборами тока утечки. Эти частицы несут на себе преимущественно отрицательный заряд. Они осаждаются на земную поверхность и поддерживают постоянным отрицательный заряд Земли, который и формирует в атмосфере «хорошей погоды» поле $E = 130$ В/м.

- Максимальная концентрация электрических зарядов, производимых космическими лучами, приходится на высоты тропопаузы. Именно здесь происходит процесс разделения зарядов наиболее эффективно. Когда зарядов много и влажность атмосферы возрастает, на этих высотах конденсируются и коагулируют большие водяные капли. Образуется облачность, интенсивность которой коррелирует с интенсивностью космических лучей.

- В атмосферу Земли ГКЛ поступают преимущественно в полярных широтах. Заметную роль в их распределении по поверхности Земли играет особенности геомагнитного поля, в частности, глобальные магнитные аномалии, в зоне влияния которых горизонтальная компонента поля меньше, в то время как модуль поля выше, чем в зоне, где влияние аномалий не сказывается. Из наблюдений на спутниках известно, что самое большое количество частиц высокой энергии попадают на Землю в зоне влияния Бразильской аномалии. Казалось бы, наблюдается противоречие, т.к. эта аномалия заметного влияния на АЭП не оказывает. Противоречия здесь нет, т.к. в зону влияния Бразильской аномалии попадают частицы из радиационного пояса, энергия которых значительно ниже энергии ГКЛ. Можно сказать, что ГКЛ Бразильскую аномалию «не замечают», в то время как влияние глобальных магнитных аномалий: Канадской и Сибирской проявляется в таком уникальном свойстве АЭП как УТ-вариация.

- Наличие УТ-вариации во всех оболочках Земли от поверхности до мезосферы, ионосферы и магнитосферы является реальным результатом солнечно-земных связей. В предлагаемой модели АЭП связь геооболочек реализуется на Земле без участия сомнительного «мирового источника гроз».

- Эксперименты по регистрации падающих слоев аэрозолей и расчеты «токовых» систем в полярных областях (токи Шмидта-Бауэра) свидетельствуют в пользу предлагаемой модели АЭП.