

## Лекция 16. АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ, ВАРИАЦИИ, СОЛНЕЧНОЕ ЗАТМЕНИЕ 01.08.2008

В 16-ой лекции рассмотрены вопросы, связанные с наблюдениями временных вариации АЭП во время (и перед) землетрясений, в окрестности работающего сейсмодатчика. Вариации  $E$  при приближении циклона, корреляция показаний риометра и величины  $E$ , во время проведения эксперимента по активному воздействию струи водяного пара на АЭП и др. Рассмотрены эффекты в АЭП, магнитном поле и ионосфере во время солнечного затмения.

### Вариации АЭП, связанные с землетрясением

Датчик АЭП, установленный на сейсмостанции Uper Tiber Valley (Тосканиа, Италия) зарегистрировал заметные изменения вертикальной компоненты поля перед, во время и после крупнейшего землетрясения на Суматре (26.12.2004). Эти данные, насколько известно, не были подтверждены в других пунктах наблюдения АЭП. В частности, на Камчатской обсерватории Паратунка, в этот день были условия «хорошей погоды», однако подобного явления (рис. 1, справа) - зарегистрировано не было.

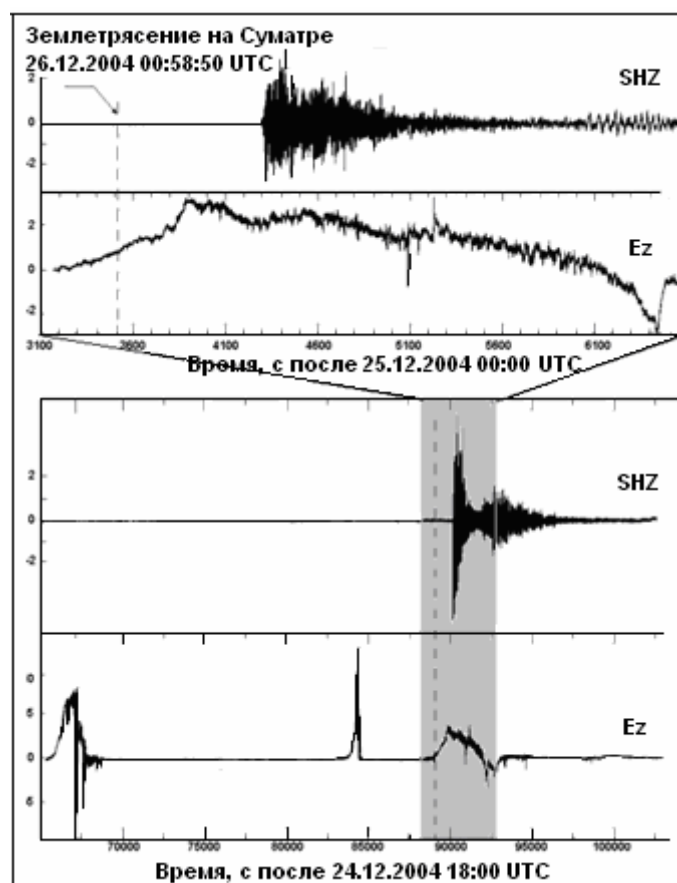


Рис. 1. Вариация электрического поля  $Ez$  во время, перед землетрясением и после него (SHZ) на Суматре 26.12.2004 ( $M = 8.3$ ) (Roder, et al. 2005).

В сейсмически опасных районах Земли при наблюдении суточного хода величины атмосферного электрического поля, незадолго перед землетрясениями, регистрировалось значительное понижение величины  $E$ , либо даже смена его знака. О.П. Руленко выделяет два типа аномалий  $E$ , возникающих перед землетрясением. К первому типу относятся аномалии, имеющие бухтообразную отрицательную форму, ко второму, – форму пакета колебаний, с некоторым набором частот.

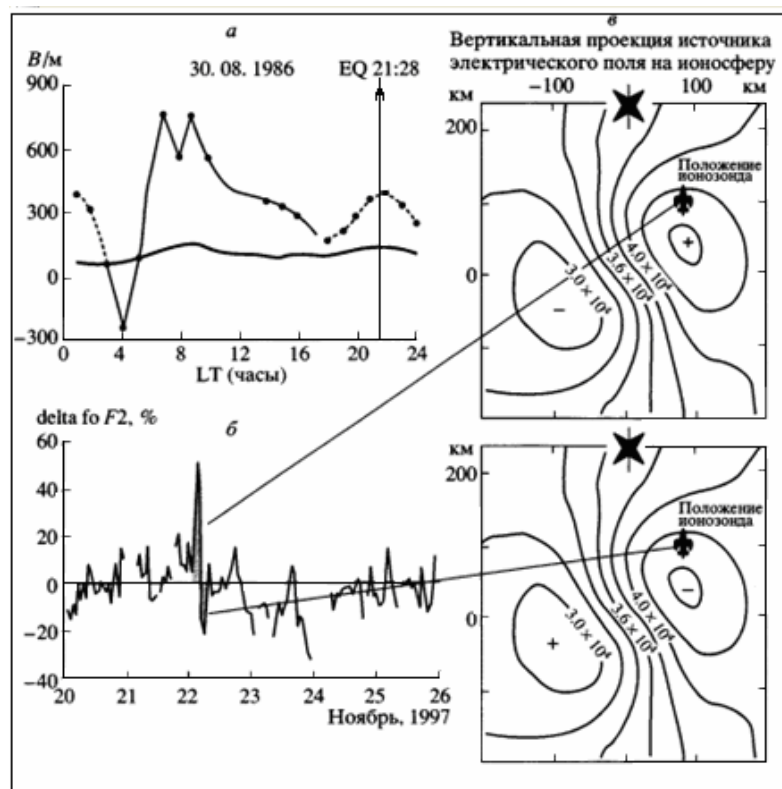


Рис. 2 (а): Вариация электрического поля с изменением знака поля перед землетрясением в Карпатах 30.08.1986. ( $M = 7.0$ ). (б): Пример ионосферного предвестника (девиация критической частоты  $f_oF_2$ ) перед землетрясением в Каусете (Аргентина) 23.11. 1997 ( $M = 7.8$ ). (в): модельные представления девиации критической частоты в ионосфере  $f_oF_2$  (Пулинец и др., 2004).

**Вариации  $E$  в эпицентре землетрясения.** Измерения атмосферного электрического поля проводились на сейсмостанции "Акташ" в ноябре 2003 г. примерно через месяц после сильного (с магнитудой 7.5, по оценке ГС СОРАН) Чуйского землетрясения, произошедшего на юге Горного Алтая на территории Кош-Агачского района 27 сентября 2003 г. в 11 час. 33 мин. по Гринвичу. Погодные условия во время измерения  $E$  были далеки от - нормальных. Кроме этого, из-за ограниченной длины кабеля, датчик поля был установлен очень близко к зданию станции, недалеко от датчика находились высокие деревья, что также могло оказывать влияние на измерения (для нормальной работы электрометр рекомендуется устанавливать на открытой ровной местности). Низкая температура воздуха (в особенности ночью) и большой ее суточный перепад приводили к периодическим отказам датчика - за весь период измерений достоверная запись вариации электрического поля получена только для двух землетрясений 5 ноября.

Основная проблема при идентификации сигналов, генерируемых при землетрясении в различных геофизических полях, состоит в доказательстве того, что датчики не регистрируют собственные механические колебания при толчке, т.е. не работают как сейсмографы. В нашем случае таким доказательством в определенной степени может быть отсутствие сигналов в  $E$  во время достаточно сильных сигналов в акустике, например, видимые за 10-13 мин. до землетрясения, хотя сильный инфразвуковой сигнал не обязательно должен сопровождаться значительными механическими колебаниями почвы, а значит и электрометра. Но, с другой стороны, датчик " $E$ " не реагировал на заведомо сильные вибрации, возникающие при передвижении по территории станции автомобиля. Еще одним фактором является существенное

различие спектров акустических сигналов от землетрясения и спектров помех (скорее всего связанных с перемещениями сотрудников по территории станции).

В спектрах акустических сигналов от землетрясения, большая часть энергии лежит в высокочастотной области, в то время как в спектрах помех, – в низкочастотной. При большей чувствительности электрометра на высоких частотах это может приводить к селективности воздействия. Однако спектры сигнала  $E$ , вычисленные для временных интервалов, охватывающих период землетрясения и вне его, представляют собой спектр "белого" шума и различаются только амплитудой во всей полосе частот (больше 5 Гц). Отметим также, что электрометр подобного типа использовался нами при изучении вариаций атмосферного электрического поля, возникающих во время работы мощных виброисточников, и не показал заметной зависимости от механического воздействия на него в ближней зоне сейсмодатчиков (Кузнецов и др. 1999).

Изложенное выше позволяет предположить, что наблюдаемые во время землетрясений сигналы в электрическом поле представляют собой действительные вариации электрического поля. Более детальный анализ позволяет выделить сдвиг примерно на  $1/3$  интервала дискретизации, который связан с задержкой между последовательно опрашиваемыми каналами АЦП и равный 6 мс для датчиков "Р" и "Е".

Синхронные по времени вариации электрического поля  $E$  и инфразвука  $P$  позволяют предположить, что сигнал  $E$  во время землетрясения может быть генерирован при колебании во время толчка электрических зарядов в районе сейсмостанции (при этом ожидается, что колебания будут синфазны на значительной площади).

**Вариации  $E$  в окрестности сейсмодатчика.** Измерения вертикальной составляющей атмосферного электрического поля вблизи работающего сейсмодатчика проводились сотрудниками Новосибирской обсерватории «Ключи» с помощью датчика поля струнного типа, с порогом чувствительности порядка 1 В/м. Датчик предназначен для регулярных обсерваторских наблюдений больших изменений электрического поля, что ограничило его применение лишь незначительными расстояниями от сейсмодатчика (первые сотни метров). В некоторых случаях использовался электрометр с чувствительностью порядка 1 мВ/м, реализованный в виде приемника с вертикальной штыревой антенной длиной около 30 см (Кузнецов и др. 1999).

Возмущения электрического поля на частоте сейсмодатчика (полезный сигнал) обнаружены как при работе электромеханических вибраторов, так и вибратора с пневматическим приводом. Последнее указывает на геофизическое происхождение этих возмущений, а не на связь его с работой сейсмодатчика как технического устройства.

В июне 1998 г. измерения электрического поля были выполнены двумя электрометрами в свип-режиме сейсмодатчика ЦВ-100 на расстоянии около 700 м. Оба электрометра зарегистрировали единственную моду с практически нулевым запаздыванием. Это позволяет предположить, что возмущения электрического поля не связаны с акустическими или сейсмическими колебаниями в окрестности датчиков, а возбуждаются процессами, происходящими вблизи сейсмодатчика.

**Вариации  $E$  при приближении циклона.** Влияние циклонов на величину вертикальной компоненты АЭП  $E_z$  исследовано в обсерватории Паратунка (ИКИР, Камчатка) (Кузнецов и др., 2007). Циклоны регистрировались по электромагнитному излучению грозных разрядов с помощью ОНЧ пеленгатора, разработанного в ИКИР, а так же по спутниковым данным.

Максимальное расстояние до грозных очагов, регистрируемое пеленгатором, достигает четырех тысяч километров. Авторами приведены азимутальные распределения

источников ОНЧ излучения и распределения эпицентров циклонов, определяемых на основе синоптических карт гидрометеослужбы Камчатки. Показаны азимутальные перемещения грозowych источников, находящихся в прилегающих к Камчатке областях. Мониторинг  $E_Z$  проводился с применением прибора «Поле-2». Показано, что величина  $E_Z$  понижается синхронно с атмосферным давлением по мере приближения циклонов к обсерватории. Получена оценка величины электрического заряда циклона (5 000 Кл), максимального понижения атмосферного давления в центре циклона (от 770 до 745 мм. рт. ст.) и др. Показано, что АЭП реагирует на циклон на расстоянии большем 1.5 тыс. км.

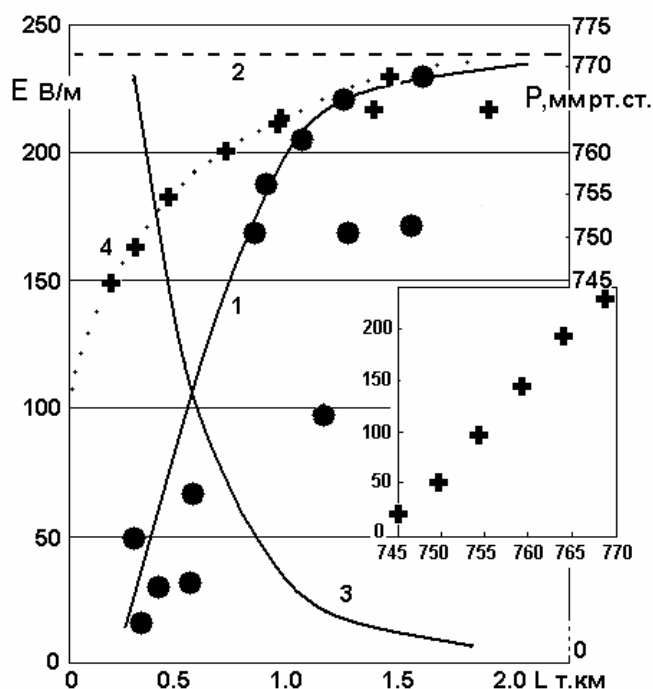


Рис. 3. Эффект циклона в АЭП. Кривая 1 и точки - величина АЭП в Паратунке; прерывистая линия 2 - величина АЭП ( $E_Z$ ) в отсутствие циклонов; 3 - электрическое поле циклонов; 4 (крестики) - изменение атмосферного давления ( $P$ , мм. рт. ст.) при приближении циклонов. На вставке: зависимость  $E_Z$  от  $P$ .

**Эксперимент по активному воздействию струи водяного пара на АЭП.** Эксперимент проводился в районе действующей Мутновской электростанции (Камчатка) на двух скважинах теплоэнергетических вод – парогидротерм. Измерения вертикальной компоненты АЭП  $E_z$  производились с помощью трех электрических флюксометров «Градиент МЗ», датчика электрической проводимости воздуха «Электропроводность-2», системы оцифровки и записи сигнала на цифровой носитель. Датчик электрической проводимости выполнен в виде двойного аспирационного измерительного конденсатора. Датчик состоит из цилиндрической обкладки, внутренней собирающей обкладки, входной трубы и аэрозольной защиты. На обкладки подается напряжение и измеряется ток. Один конденсатор измеряет проводимость положительных легких ионов, другой – отрицательных. Диапазон измерений каждого конденсатора составляет  $\pm 25$  фСм  $m^{-1}$ .

Один из датчиков АЭП «Градиент МЗ» устанавливался в непосредственной близости от сопла скважины на верхней площадке металлического кожуха, другие располагались на расстоянии 20 и 40 м от скважины. Прибор «Электропроводность-2», система оцифровки данных и компьютер размещались в 20 м от скважины. Таким образом, наибольшее удаление электрометра от скважины достигало 40 м, что ограничивалось длиной измерительного кабеля (20 м). Предполагалось, что чем выше

выброс пара, тем на больших расстояниях скажется его влияние на АЭП, но при открытии скважины стало очевидным, что это удаление было выбрано недостаточно. Высота струи первой скважины превысила 150 м. Расход пароводяной смеси на первой скважине 115 кг/сек с 22% содержанием пара, а расход во второй скважине - 14-15 кг/сек чистого пара (100%), без примеси воды. В момент открытия первой скважины процентное отношение пара в ходе эксперимента повышалось, затем скважина резко вышла на основные свои характеристики, и расход и, соответственно, водность струи пара, увеличились. В этот момент на аппаратуру обрушилась огромная масса воды, и эксперимент пришлось прекратить. В статье мы используем только ту часть записей, в которой количество воды в пароводяной смеси понижалось. Струя пара во второй скважине была практически сухой. Это даёт возможность сравнить результаты воздействия на АЭП как сухого, так и влажного водяного пара, а так же условно, конечно, считать эксперимент с сухой скважиной как бы продолжением наблюдений, проведенных на первой скважине, содержащей 78% воды.

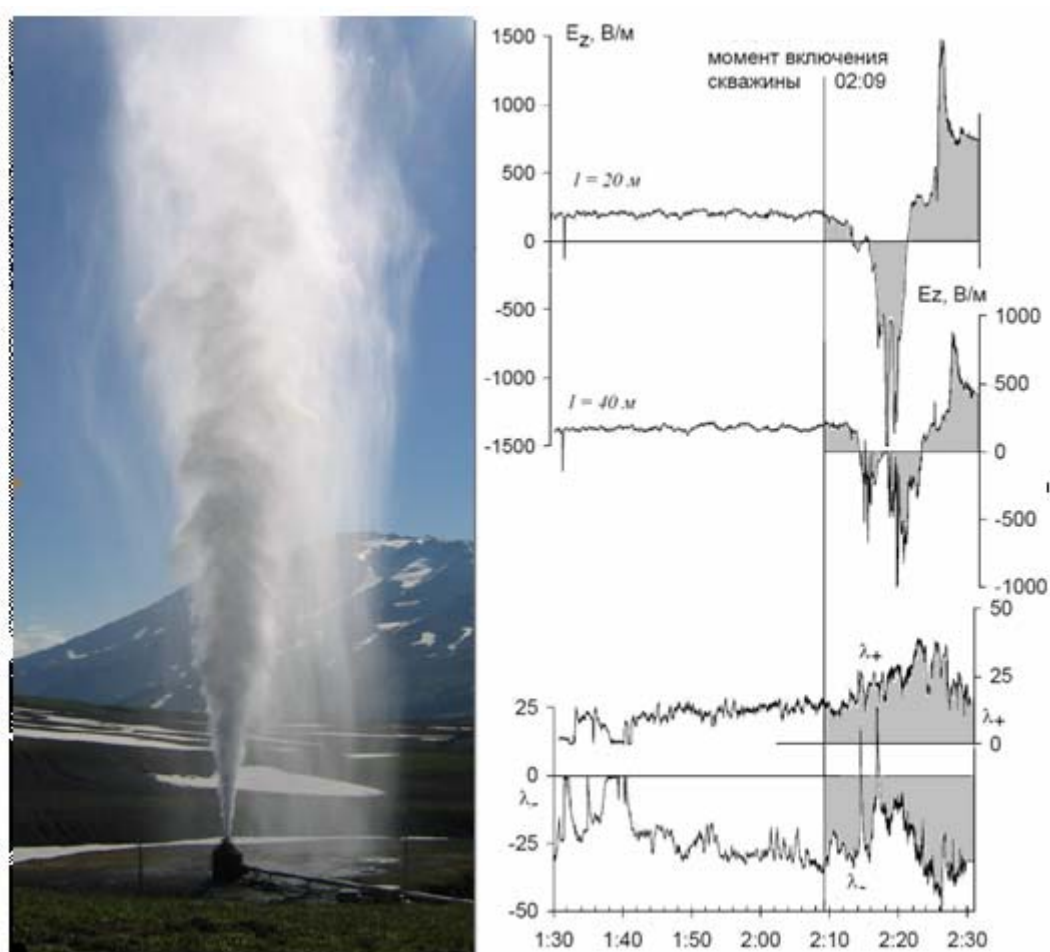


Рис. 4. Струя пара из термальной скважины на поле Мутновской станции. Результат измерений  $E_z$ ,  $\lambda_+$  и  $\lambda_-$  (Кузнецов и др. 2007, 2008).

Данные эксперимента приведены на рис. 4, на котором представлена фотография струи пара, а также данные по изменению во времени: величины АЭП на расстояниях 20 и 40 м и данные измерения электропроводности на расстоянии 20 м от скважины. Данные регистрации АЭП полученные с датчиков, установленных в непосредственной близости от выходной трубы не приводятся из-за их малой информативности.

Анализ результатов эксперимента, представленных на рис. 4, показывает, что изменения электропроводности  $\lambda_+$  и  $\lambda_-$  практически всегда совпадают по времени с временными вариациями поля  $E$ , что служит подтверждением нашей модели, основанной на идее Френкеля при использовании её в свободной атмосфере. В заключение отметим, что активные эксперименты по воздействию на атмосферное электрическое поле струи пара-водяной смеси из термальной скважины в районе Мутновской гидротермальной электростанции Камчатки приводят к заметным изменениям АЭП. Сухой водный пар, выброшенный в атмосферу, - вызывает возрастание величины поля  $E$ . В то время как выброс воды в атмосферу и последующее её дробление, - привносит отрицательный заряд, что приводит к уменьшению поля  $E$  и даже к изменению его полярности.

### **Корреляция показаний риометра и величины $E$ .**

Известно, что ионосферное поглощение резко возрастает после солнечных вспышек во время магнитных бурь и высыпания заряженных частиц. При этом АЭП понижается, после чего наблюдается увеличение  $E$  в течение первых – четвертых суток после максимума ионосферного поглощения. Связь между вариациями вертикальной компоненты атмосферного электричества  $E(t)$  и ионосферным поглощением исследована в (Märcz, 1976). Недостатком этих исследований является то, что анализ реакции атмосферного электричества и риометрического поглощения проводился по среднесуточным значениям. Такой подход не позволяет с точностью, меньшей, чем сутки, оценить время запаздывания реакции глобальной атмосферно-электрической цепи на солнечную вспышку.

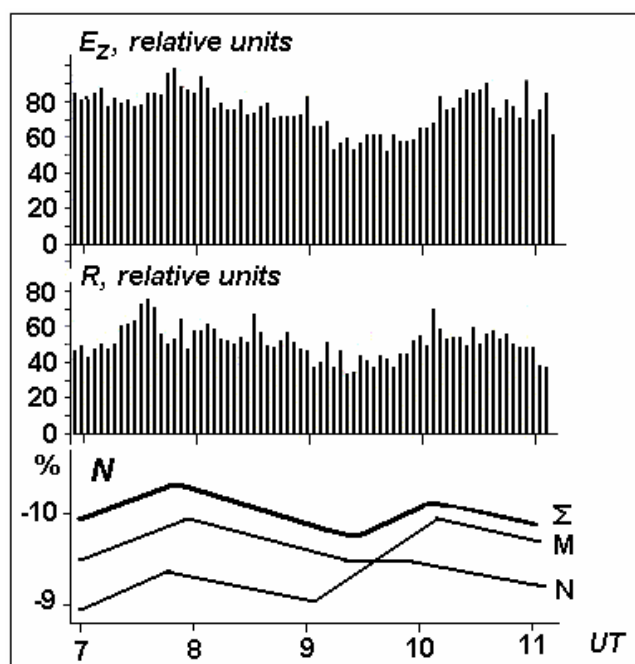


Рис. 5. Вариации величины вертикальной компоненты АЭП  $E_z$ , поглощения солнечного радиоизлучения  $R$  (Кузнецов и др. 1991) и данные нейтронных супермониторов Новосибирска (N), Москвы (M) и сумма обеих мониторов ( $\Sigma$ ).

Исследования связи АЭП с риометрическим поглощением проведены (декабрь 1988 - апрель 1989 гг.) в Сибири на среднеширотной станции «Ключи» (Новосибирск). В работе (Кузнецов и др. 1991) обсуждаются обнаруженные случаи корреляции между

вариациями величины  $E$  и показаниями риометра ( $R$ ). В течение времени наблюдений  $E$  и  $R$ , зарегистрировано 19 событий такой корреляции, произошедших в дни повышенной геомагнитной активности. Рисунок 5 показывает записи сигналов поля  $E$ , поглощения риометра и данные нейтронных супермониторов. В работе оценена нормированная функция взаимной корреляции между центрированными случайными массивами данных риометра и АЭП, в предположении их стационарности и эргодичности. Максимальная величина функции достигала 0.7, максимум функции сдвинут по времени таким образом, что показания риометра опережают данные по электрическому полю на 10 и более минут. Во время этого измерения 1 декабря проходила достаточно сильная буря, днем раньше (30 ноября в 16 UT) имело место высыпание частиц, т.к. индекс  $Dst = 111$  нТл. В день, когда проводились измерения, индекс  $Dst$  уменьшился и составлял 60-80 нТл. На следующий день (2 декабря) буря практически прекратилась, корреляции  $E$  и  $R$  уже не наблюдалось.

При проведении этого цикла наблюдений выделена реакция АЭП на солнечные вспышки (Кузнецов и др. 1991). Сразу после солнечной вспышки величина  $E$  возросла примерно на 20%, затем уменьшалась (относительно “нормы”) более чем на 25% и затем, восстанавливалась в течение последующих 6-7 суток. Упомянем, что аналогичные исследования проводились и другими группами ученых. Например, одно из первых экспериментальных свидетельств о влиянии магнитосферных возмущений на величину  $E$  было получено (Freir, 1967) в высокоширотной зоне аномальных возмущений. Детальный анализ проблемы (Бендилет и др., 1985) показал, что знак и величина  $E$  зависят от местного магнитного времени и расположения станции наблюдений относительно авроральной зоны. В работе (Sao, 1967) исследовалась корреляция градиента потенциала с солнечным излучением на частоте 1 ГГц. Наличие корреляции отмечалось только в полярном регионе и в усредненных суточных данных. На среднеширотной магнитной обсерватории корреляции не обнаружено. На среднеширотной магнитной обсерватории Свидер (Польша) во время главной фазы сильной магнитной бури 30 октября 2003 г. ( $Dst = 345$  нТл) было обнаружено сильное понижение величины АЭП и корреляция этого явления с поглощением космического радишума риометром, расположенном в Норвегии, в субавроральной зоне (Никифорова и др. 2005). Согласно данным по наземным наблюдениям космических лучей (Белов и др. 2005) в это время происходило сильное Форбуш понижение, доходившее до 25%. Эти факты свидетельствуют в пользу нашей модели АЭП. Перечислим последовательность событий, связывающих АЭП с солнечной вспышкой и следующие за ней события в магнитосфере и атмосфере:

- вспышка на Солнце – УФ в атмосфере, дополнительная ионизация - усиление АЭП - усиление потока плазмы от Солнца - модуляция ГКЛ - Форбуш понижение - уменьшение АЭП - выпадение заряженных частиц из РП и восстановление заряда - восстановление АЭП.

Последовательность наблюдаемых событий подтверждает нашу модель АЭП. В цепи рассуждений остается неясным один вопрос: существует ли стационарный ток источника, направленный «снизу – вверх», компенсирующий атмосферный ток утечки?

### **Полное солнечное затмение 1 августа 2008 в Новосибирске**

Полное солнечное затмение – это уникальное природное явление, которое из-за очень быстрого перемещения лунной тени оказывает специфическое воздействие на все внешние геоболочки Земли и проявляется в различных полях и процессах. Исторически наиболее существенные научные достижения по наблюдениям затмений были получены в оптике земной атмосферы и физике Солнца. Но постоянное появление в геофизике новых видов измерений и их комплексное использование во время затмений позволило получить важнейшие результаты в относительно недалеком прошлом. Например, наблюдения



эффектов ионизации воздуха на различных высотах во время затмения 17 апреля 1912 г. привели к открытию космических лучей, а ионосферные измерения во время затмения 31 августа 1932 г. позволили сделать вывод о солнечном излучении как основном источнике ионизации плазмы на ионосферных высотах.

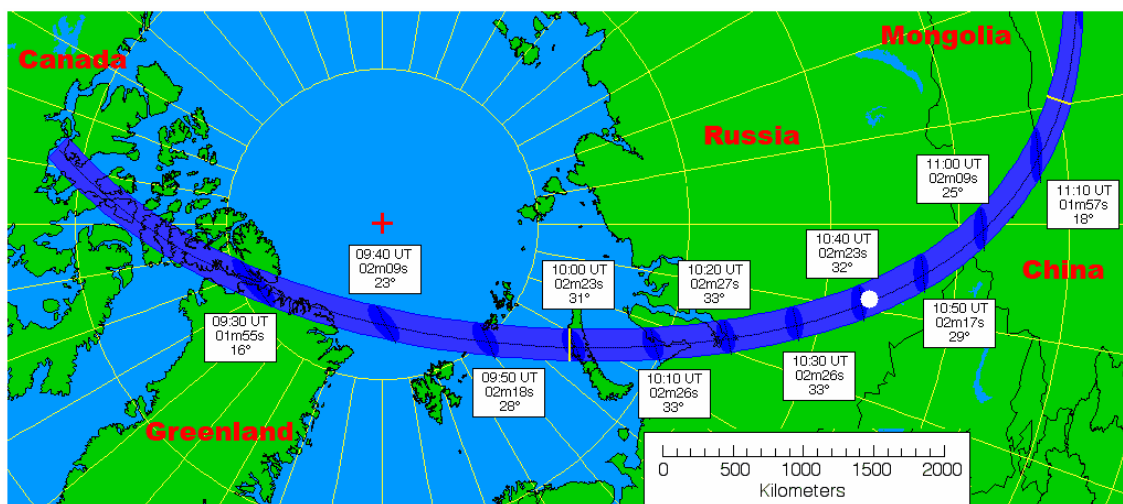


Рис. 6. Карта Солнечного затмения 01.08.2008. Большая белая точка показывает время максимальной фазы затмения в Новосибирске. Линии ограничивают зону регистрируемого эффекта.

Существуют обширные исследования ионосферных эффектов, результаты которых в целом подтверждают тенденцию перехода ионосферы во время затмения в ночное состояние. Не менее широко представлены работы по изучению метеорологических явлений во время затмений. Большой интерес представляют экспериментальные наблюдения вариаций атмосферного электрического поля, магнитного поля Земли, концентрации приземного и стратосферного озона и др. Однако полученные результаты часто неоднозначны, сильно различаются и в некоторых случаях приводят к противоположным выводам. Основная причина этого – большое разнообразие условий, при которых происходят затмения, и отсутствие объединяющей это разнообразие теории. Каждое затмение по-своему уникально, поэтому геофизические измерения во время каждого нового затмения дают дополнительный существенный вклад в понимание процессов, происходящих в околоземном пространстве.

Полное солнечное затмение 1 августа 2008 г. обладает определенной спецификой: лунная тень начинает свое движение в околополярных областях, а на средних широтах перемещается на юг практически в меридиональном направлении. Геофизическая обсерватория "Ключи" АСФ ГС СО РАН (Новосибирск) находится в полосе полного затмения и, имея развитую инфраструктуру, представляет собой прекрасное место для организации наблюдений различного вида.

#### ***Используемая аппаратура, условия наблюдений***

Комплекс геофизических измерений включал:

- вертикальное зондирование ионосферы с помощью цифрового ионозонда "Парус" с периодичностью 1 мин. во время затмения и 5 мин. в течение ближайших суток;
- измерение вертикальной составляющей  $E_z$  напряженности атмосферного электрического поля с помощью двух серийных электрометров "Градиент-М2" и "Градиент-М3", разнесенных на расстояние около 1 км. Периодичность измерений 2 с, чувствительность по двум каналам 0.25 и 2.5 В/м;
- измерение вариаций магнитного поля штатными приборами обсерватории - цифровым феррозондовым магнитометром LEMI-008 с частотой измерения составляющих



x,y,z магнитного поля 1 Гц, и протонным магнитометром POS-1с периодичностью отсчетов 5 с, чувствительность обоих приборов 0.01 нТл;

- измерение интенсивности космических лучей штатным многоканальным комплексом с площадью сбора  $24 \text{ м}^2$ , включающий спектрограф на эффекте локальной генерации и матричный мюонный телескоп;

- измерение концентрации приземного озона с помощью стандартного газоанализатора 3.02-ПА с усреднением 20 мин. (вблизи полной фазы затмения были вручную сняты мгновенные данные  $\text{NO}_3$ ;

- измерение акустических колебаний в инфразвуковом диапазоне 2-15 Гц с помощью пьезодатчиков ПДС-7 (частота измерений 83 Гц).

Также во время затмения с помощью цифрового термодатчика DS18S20 измерялась температура воздуха вблизи освещаемой Солнцем стены. Все приборы и регистраторы были синхронизованы с помощью GPS-приемников.

ГО "Ключи" находилась в полосе полной тени, примерно в 30-40 км к востоку от центральной линии затмения. На поверхности первый контакт произошел в 09:41:19UT, максимальная фаза – в 10:45:12UT, последний контакт – 11:45:09UT. Продолжительность полной фазы около 2.5 мин. Высота Солнца над горизонтом в максимальной фазе была около  $30^\circ$ , закат 1 августа произошел в 14:29UT. Необходимо отметить, что из-за относительно низкого расположения Солнца над горизонтом основные фазы затмения на высотах ионосферы (100-200 км) запаздывали относительно соответствующих моментов на поверхности примерно на 1 мин., а полная фаза над Новосибирском вообще не произошла.

Погодные условия были благоприятными – до обеда наблюдались редкие кучевые облака, которые к началу затмения полностью исчезли. Температура на открытом месте непосредственно перед началом и после окончания затмения достигала  $+30^\circ\text{C}$ . Солнечная активность в течение нескольких дней до и после затмения была чрезвычайно низкой, соответственно, геомагнитная активность также была невысокой (стандартизированный Кр-индекс 1августа не превышал значения 2).

## Основные результаты

### Ионосфера

Наиболее выразительные и ожидаемые результаты получены в результатах наблюдений ионосферы. На рис. 7 представлены вариации критических частот  $f_0$  слоев E, F1 и F2 1 августа. Фазы затмения отмечены вертикальными линиями. Тонкие линии – медианные значения, имеющие хорошо выраженный суточный ход и характеризующие невозмущенное состояние ионосферы (они вычислены по данным с 15 июля по 15 августа, исключая день затмения).

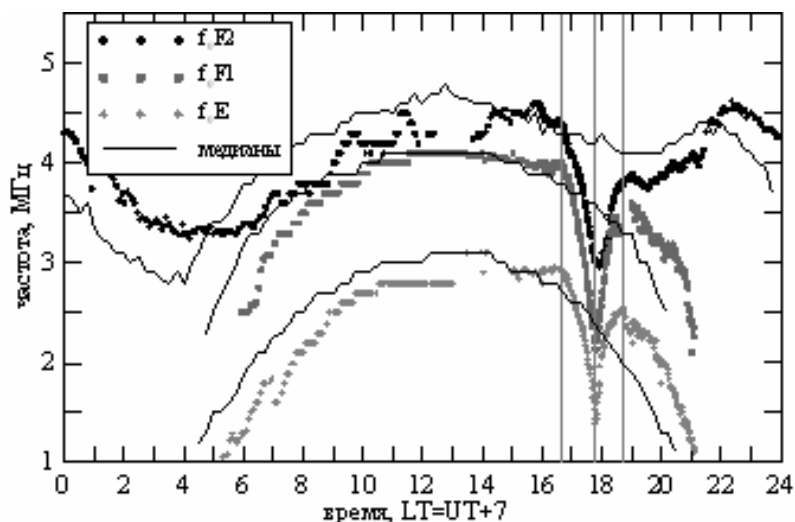


Рис.7. Вариации критических частот ионосферных слоев над Новосибирском 1 августа 2008 г.

Наибольшее отклонение от суточного хода, полученного полиномиальной аппроксимацией медианных значений за сутки до и после затмения, наблюдалось в критической частоте слоя F1 (около 1.6 МГц, что составило 43% от невозмущенного уровня), наибольшее относительное отклонение было в слое E (46% в максимуме, 1.2 МГц по частоте), в слое F2 наблюдалось уменьшение критической частоты на 1.3 МГц (30%). Задержка реакции критической частоты слоев E, F1, F2 относительно момента максимальной фазы на уровне Земли составила примерно 2, 3, и 11 мин., соответственно.

Восстановление невозмущенного уровня в слоях E и F1 произошло практически "одновременно" с окончанием затмения. Слой же F2 восстанавливался порядка двух часов после окончания СЗ, причем характер восстановления носил волнообразный характер (с периодом около 60 мин).

### АЭП

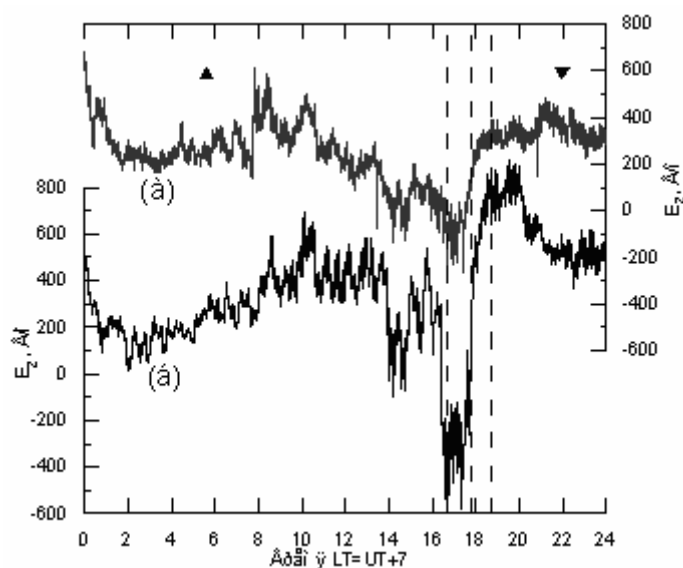


Рис. 8. Вариации атмосферного электрического поля в двух разнесенных пунктах. Треугольными маркерами показаны моменты восхода и заката, вертикальными линиями — начало, максимум и конец затмения.

На рис. 8 показаны вариации вертикальной составляющей  $E_z$  напряженности атмосферного электрического поля (АЭП) 1 августа 2008 г. в двух пунктах, разнесенных примерно на 1 км. Как видно по кривым, эффект затмения достаточно отчетливо проявился в записях обоих электрометров, прежде всего, как резкий рост напряженности АЭП в фазе полного покрытия. На обоих пунктах  $E_z$  до начала затмения понижается, однако характер этого изменения несколько различается. При среднем уровне  $E_z$  в невозмущенные дни около 500 В/м, аномалия во время затмения представляется чрезвычайно сильной.

### Озон

На рис. 9 представлены результаты измерения концентрации  $N$  приземного озона  $O_3$  в день затмения. Газоанализатор был установлен рядом с электрометром. Общая картина соответствует обычному суточному поведению концентрации озона — отсутствие в ночное время и зависимость от солнечного излучения в дневное. Понижение концентрации в период затмения проявляется достаточно надежно и достигает 10-20

мкг/м<sup>3</sup>. Важно отметить, что экстремум в  $N O_3$  происходит позже полной фазы затмения примерно на 20-30 мин.

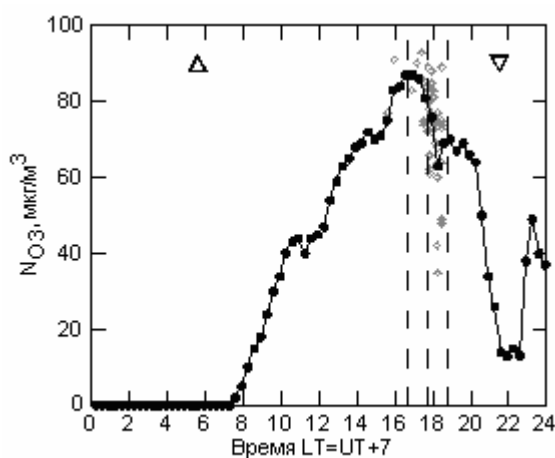


Рис. 9. Вариации концентрации приземного озона. Кривая – измерения с 20-минутным усреднением, отдельные маркеры - мгновенные значения, треугольные маркеры – моменты восхода и заката, вертикальные линии – моменты основных фаз затмения.

В других наблюдаемых геофизических параметрах эффект затмения проявился слабо. Так, в вариациях X- и Z-компонентах магнитного поля можно отметить аномалии амплитудой несколько нТл, которые соотносятся с затмением. Однако на фоне естественных геомагнитных колебаний эти аномалии не представляются надежными. Интерпретация результатов инфразвуковых измерений осложнена сильными шумами как естественного (например, метеорологического), так и искусственного (включая электромагнитные помехи в измерительных трактах аппаратуры) происхождения. Вариации космических лучей, описываемых такими параметрами как интегральная интенсивность нейтронной компоненты, общая ионизирующая компонента и вертикаль жесткой (мюонной) компоненты, в период затмения не превышают естественный уровень шумов.

#### *Магнитное поле*

Для анализа возможного эффекта солнечного затмения в магнитном поле были рассмотрены данные ГО «Ключи» за несколько суток, включающих день затмения. Минутные данные трех составляющих полного вектора  $F$ , полученные в Новосибирске в целом показывают, что возмущений поля не было на всем представленном интервале. Хорошо просматриваются суточные вариации. Рассмотрение кривых составляющих поля показывает, что никаких выдающихся аномалий, надежно выделяемых в период затмения в Новосибирске или за весь период перемещения тени по поверхности, не видно. Однако обнаруживаются некоторые "зацепки":

- 1) незначительная аномалия во всех компонентах, с экстремумом примерно в момент максимума затмения и амплитудой в несколько первых единиц нТл. Более ярко она выражена в вертикальной компоненте Z (хотя и сравнима амплитудой с шумами и помехами техногенной природы), мало выразительно — в Y-составляющей.
- 2) в X-компоненте после затмения наблюдаются квазипериодические колебания с периодами 1-1.5 час. и амплитудой около 4 нТл.

Обе "особенности" представляются не очень убедительными в смысле связанности с затмением, первая - по причине малой амплитуды на фоне большого шума, вторая — сравнима по амплитуде на вариации X в предыдущие и последующие несколько суток (относительно дня затмения).

Для частичного разрешения этого вопроса были рассмотрены аналогичные данные (минутные) для других магнитных обсерваторий. Данные получены на официальном сайте сети INTERMAGNET. Рассмотрены обсерватории этой сети, наиболее близко расположенные к траектории тени на поверхности. Выбор, конечно, достаточно произволен, поскольку в него не закладывается никакая модель возможно проявления затмения в магнитном поле. В общем случае, ожидаемый эффект должен быть суперпозицией квази-глобального эффекта из-за воздействия тени на токовых систем в магнитосфере и ионосфере и регионального эффекта из-за локальных ионосферных возмущений. Первое, вероятно, более корректно искать в планетарных индексах, например, Dst или AE. Второе — в данных обсерваторий вдоль траектории тени.

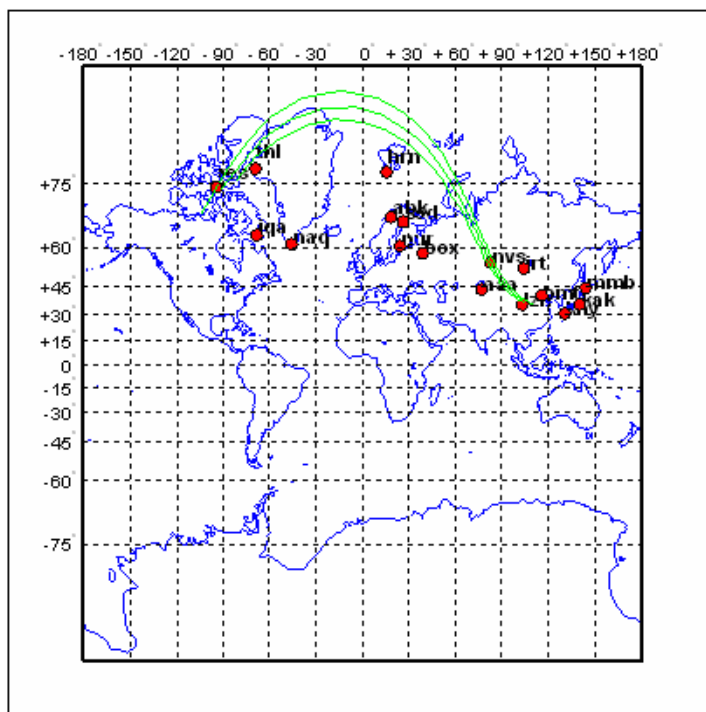


Рис. 10. Выбранные магнитные обсерватории МО (17 шт) показаны на рисунке вместе с границами области наблюдения полного затмения. Географические и геомагнитные координаты МО представлены в таблице.

Магнитные обсерватории, данные которых выбраны для анализа (кружки). Показана также траектория полной тени на поверхности Земли (начало — в Канаде, конец — в Китае). Буквами представлен код обсерваторий в IAGA и INTERMAGNET.

Геомагнитные координаты МО вычислены для положения северного геомагнитного полюса в точке с широтой 79.9N и долготой 71.9W (<http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/poles/polesexp.html>). На рис. 11 представлены вариации X,Y,Z-составляющих поля на выбранных обсерваториях (средние значения вычтены). Как видно по графикам, выполнить анализ данных в исходном виде практически невозможно. Основная причина — большая амплитуда суточной вариации, фаза которой зависит от местного солнечного времени, а амплитуда — от геомагнитной широты. Кроме того, амплитуда более быстрых

вариаций также зависит от положения обсерватории — для МО в авроральной зоне эти амплитуды в несколько раз превышают амплитуды вариации на средних широтах.

N	Код	CoLat	Long	Lat	Lat(GM)	Long(GM)	Phas	UT
01	AAA	46.8	76.9	43.2	34.3739	-27.2274	0.84	11.1097
02	ABK	21.6	18.7	68.4	66.1620	-65.6171	0.74	09.7042
03	BMT	49.7	116.2	40.3	30.2885	7.1489	0.91	11.1792
04	BOX	32.0	39.0	58.0	53.2980	-55.9273	0.64	10.1375
05	HRN	13.0	15.6	77.0	73.9439	-54.3468	0.91	09.6958
06	IQA	26.3	291.5	63.7	73.7719	-174.6047	0.76	09.1014
07	IRT	37.7	104.5	52.3	42.2164	-2.9719	0.87	10.9056
08	KAK	53.8	140.2	36.2	27.4887	28.9071		
09	KNY	58.6	130.9	31.4	22.0210	20.9034		
10	LZH	53.9	103.8	36.1	26.0254	-3.8657	0.99	11.3458
11	MMB	46.1	144.2	43.9	35.4898	31.4272		
12	NAQ	28.8	314.6	61.2	69.7736	-141.5560	0.59	09.0083
13	NUR	29.5	24.6	60.5	57.8968	-67.0165	0.58	09.8278
14	NVS	35.1	83.3	54.9	45.5559	-20.1481	1.01	10.7806
15	RES	15.3	265.1	74.7	82.8418	124.1665	1.00	09.4472
16	SOD	22.6	26.6	67.4	64.0194	-60.1827	0.75	09.8125
17	THL	12.5	290.7	77.5	87.5471	-166.7375	0.98	09.4306
18	ARS	33.6	58.56	56.4			0.80	10.4972

CoLat, Long — географические координаты широты и долготы  
 Lat(GM), Long(GM) — геомагнитные широта и долгота

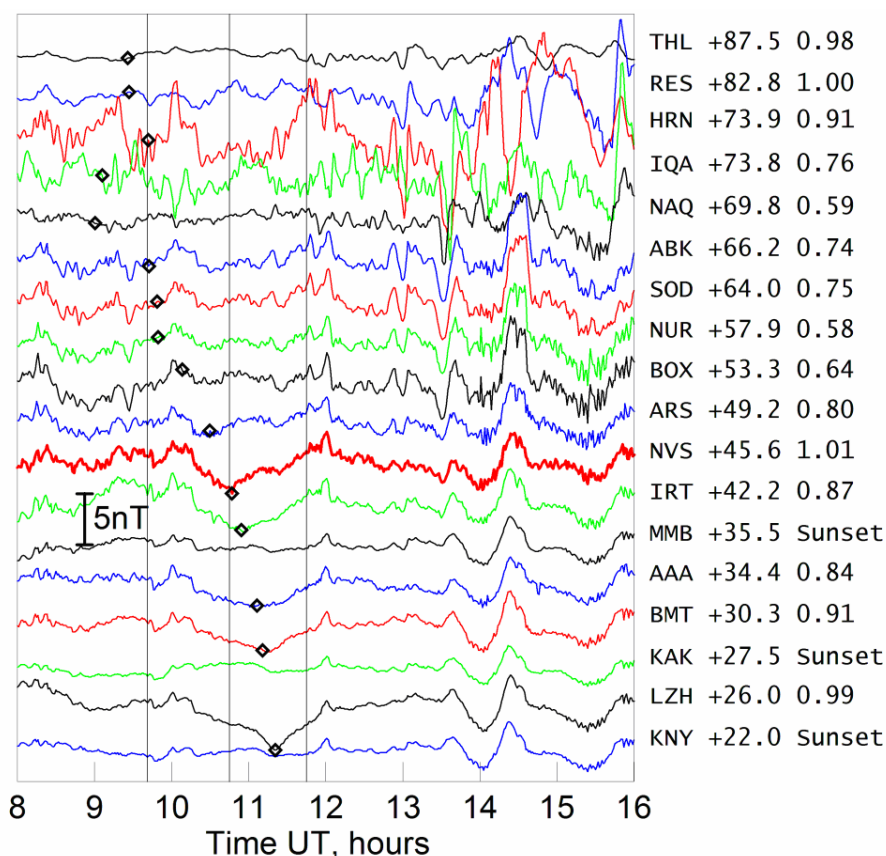


Рис. 11. Вариации X- составляющей за 1 августа 2008

На рис.11 показаны вариации X- составляющей за 1 августа 2008 г. для 17-ти магнитных обсерваторий (суточный ход снят, амплитуда вариаций нормирована на косинус геомагнитной широты). Треугольными маркерами отмечены моменты максимальной фазы затмения, наблюдаемого на данной обсерватории. Эти моменты для японских МО условно отнесены к концу суток, поскольку затмение на них визуально не наблюдалось (после заката).

Как видно по кривым на рис.11 в северной составляющей X для обсерваторий Алма-Аты, Новосибирска, Иркутска и двух китайских МО Интермагнета (LZH и BMT) имеется выделяющаяся отрицательная аномалия с приведенной амплитудой больше 5 нТл, минимум которой по времени практически совпадает с моментом максимума затмения на этих МО.

Для обсерваторий Европы (ABK,SOD,NUR,BOX) и североамериканских (NAQ,IQA), наиболее близко расположенных к траектории перемещения тени по поверхности, аномалия в максимальной фазе не просматривается. Возможным объяснением м.б. меньшая фаза затмения, большая амплитуда быстрых геомагнитных вариаций (скрывающих более медленные вариации) и специфическое расположение МО (в высоких широтах и все – справа от полосы затмения).

Для МО "Борок" (BOX) возможное проявление аномалии затмения также м.б. скрыто положительной геомагнитной аномалией (последняя проявляется синхронно на всех рассмотренных МО).

### ***Модель АЭП во время полного Солнечного затмения.***

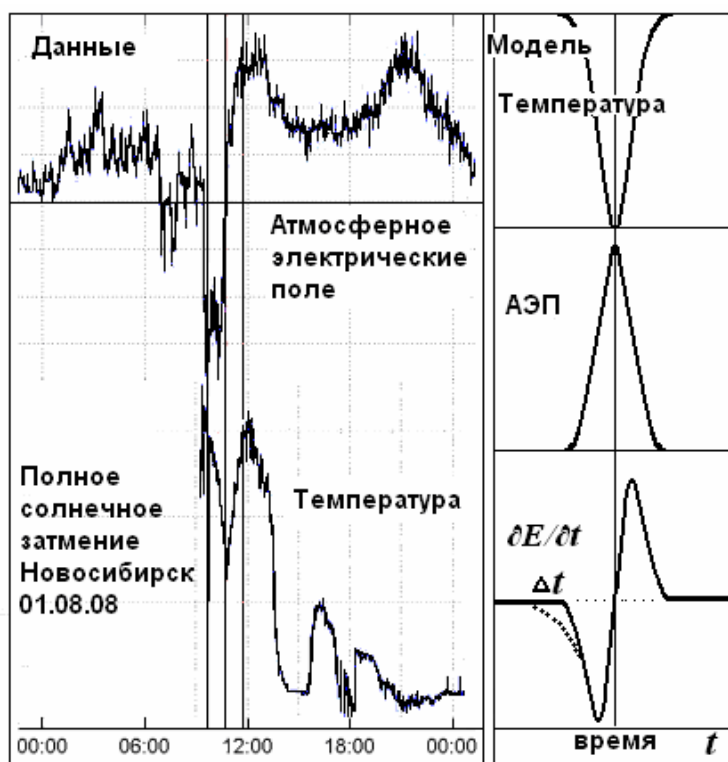


Рис. 12. Данные и модель изменения температуры поверхности, АЭП и  $\partial E/\partial t$ .

На карте рис. 6 виден след Луны на поверхности Земли и выделены области регистрации затмения в Новосибирске. Анализ данных АЭП по затмению, приведенных на рис. 12 показывает изменение атмосферного электрического поля и приземной температуры на геофизической обсерватории Ключи в Новосибирске. Видно, что



температура возрастала перед затмением и с его началом стала падать, достигнув минимума в момент полного солнечного затмения (средняя линия из трех вертикальных). АЭП резко уменьшилось в начале процесса, и затем стала возрастать, причем максимальная скорость возрастания АЭП приходится на момент полного затмения. Температура после окончания затмения понижалась, и в момент этого понижения - АЭП продолжало возрастать.

Изменение в АЭП начинаются несколько раньше, чем собственно - начало затмения. В самом начале процесса АЭП уменьшается, а затем начинает возрастать, причем возрастание продолжается после окончания затмения. Заметим, что примерно такая же, как в нашем случае картина, - наблюдалась группой В.В. Адушкина (2007) в момент регистрации АЭП затмения 2006 г. Правда, в том случае, АЭП суммарно, скорее понижалось, чем повышалось, как в нашем случае. Возможно, дело в том, что, в отличие от нашего случая, там регистрировалось не полное, а частичное затмение.

- Температура поверхности Земли четко отслеживает временной ход затмения. Похолоданию, происходящему на поверхности Земли, - соответствует, в целом, скорее возрастание величины АЭП, несмотря на весьма заметное уменьшение его в начале процесса.

- Кривая АЭП, в отличие от ионосферы, концентрации озона и упоминаемой нами температуры - не повторяет треугольную форму фазы затмения. На первом этапе – этапе незначительного повышения температуры перед затмением, АЭП – уменьшается. На третьем этапе, после затмения, когда температура падает, величина АЭП – ещё растёт. В момент затмения форма кривой АЭП скорее напоминает интеграл от «положительного» треугольника температуры. Можно видеть корреляцию, по крайней мере, на первом и третьем этапах: АЭП находится в противофазе с температурой, - немного отставая от неё по времени.

Принято считать, что текущий в атмосфере ток складывается из тока проводимости  $j$  и тока смещения  $\varepsilon_0 \partial E / \partial t$ . Обычно, при выполнении условия:  $t \gg \tau$ , где  $t$  - время процесса, а  $\tau = \varepsilon_0 / \sigma_e$  - время релаксации атмосферы ( $\tau \approx 10^3$  сек) – током смещения пренебрегают. В случае наблюдения солнечного затмения условие  $t \gg \tau$  не выполняется и, по-видимому, необходимо учитывать ток смещения, тем более что во время затмения нет очевидной причины для изменений тока проводимости  $j$ :  $E \sim \sigma(j - \varepsilon_0 \partial E / \partial t)$ , где  $\sigma$  – проводимость среды. Как известно, ток смещения возникает в конденсаторе «ионосфера – Земля» в моменты его зарядки и разрядки и обеспечивает замкнутость цепей любых непостоянных токов, что соответствует модели АЭП.

Суть нашей идеи состоит в следующем: Наблюдение вариации температуры в момент затмения позволяет представить изменение температуры нижнего слоя атмосферы в момент затмения в виде нормального распределения:  $T \sim T_0 - t \exp(-t)^2$ ,  $T_0$  - начальная температура,  $t$  - время. Из многих наблюдений известно, что  $E_Z \sim 1/T$ . Тогда:  $\partial E / \partial t \sim -\partial T / \partial t \times 1/T^2$ . Полученная зависимость  $E_Z \sim \sigma(j - \varepsilon_0 \partial E / \partial t)$  по форме очень близка к кривой  $E(t)$  зарегистрированной в АЭП (рис. 12) в момент солнечного затмения. Здесь, как отмечалось многими авторами, максимальная скорость изменения  $E_Z$  приходится на максимальное уменьшение температуры  $T$ , что соответствует фазе полного затмения. Это может означать, что в момент солнечного затмения наши приборы зарегистрировали изменение  $E_Z$ , вызванное током смещения:  $\varepsilon_0 \partial E / \partial t$ . Не полное соответствие этой кривой наблюдаемой величине  $E_Z$  означает, что искажение может быть связано с наличием некоторого изменения тока проводимости.

Перемещение пятна затмения размером примерно в 100 км происходит, в районе Новосибирска за 2.5 минуты. опережение начала уменьшения величины  $E_Z$  относительно начала уменьшения температуры составляет  $\Delta t \approx 20$  минут (см. на графике  $dE/dt$  рис. 12). Можно считать, что электрометр начинает регистрировать изменения АЭП, происходящие на расстоянии от датчика поля около 800 км. Этот результат согласуется с нашими

измерениями дальнего действия АЭП, полученными при исследовании влияния на АЭП приближающегося циклона. В случае солнечного затмения в Новосибирске величина дальнего действия оказалась примерно в два раза меньше, чем в случае циклонов на Камчатке.

#### *Заключение*

Предварительный анализ данных, полученных при комплексных наблюдениях на Геофизической обсерватории "Ключи" во время полного солнечного затмения 1 августа 2008 г. показал, что эффект затмения надежно проявляется в одних геофизических характеристиках (ионосферные критические частоты, концентрация озона, напряженность атмосферного электрического поля) и практически не виден в других характеристиках (космические лучи, инфразвук, магнитное поле). Последнее может быть следствием как использования на начальном этапе простейших методов анализа, так и сложностью самого явления и его следствий. В дальнейшем предполагается исследовать полученные данные с применением более глубоких методов и привлечением физических моделей наблюдаемых процессов.

#### **Перламутровые и серебристые облака и возможная роль в их формировании**

Про облака, кажется, известно все. Однако, есть такие виды облаков, которые до сих пор остаются загадкой. Это серебристые и перламутровые облака.

- *Перламутровые облака* - очень тонкие просвечивающие облака, которые возникают на высотах 22-30 км, сходные по форме с чечевицеобразными. Эти облака имеют радужную окраску вследствие дифракции света на частицах облаков - переохлажденных каплях или ледяных кристаллов. В сумерки рассеянный и отраженный этими облаками свет столь ярък, что предметы на земле отбрасывают заметные тени. Эти облака наблюдаются в северных горных странах - Финляндии, Скандинавии, Аляске. По-видимому, воздушные течения, возникающие над горами, обуславливают их происхождение. Вследствие редкости этого явления перламутровые облака мало изучены.



Перламутровые облака

- *Серебристые облака*. Что касается серебристых облаков, то их наблюдают более ста лет. В июне 1885 года эти облака были открыты почти одновременно и независимо друг от друга сразу несколькими учеными. Одним из первых их наблюдал тогда молодой астроном Московской университетской обсерватории В. Цераский, будущий директор

обсерватории. Десятью днями позже серебристые облака заметили эстонский астроном Э.Гартвиг, немецкий метеоролог О.Иессе и другие. По характеру освещения серебристых облаков солнцем Цераский понял, что они расположены очень высоко.

Он определил среднюю высоту серебристых облаков - 79 километров. Сейчас хорошо известно, что серебристые облака плавают в земной атмосфере на высотах от 75 до 90 километров, в области так называемой мезопаузы. Этот атмосферный слой характерен крайне низкими температурами, достигающими до минус 140°C. Такой холод объясняется тем, что земное излучение сюда почти не доходит, а для излучений Солнца на этих высотах нет поглотителей (ниже таким поглотителем служит озон, а выше - атомарный кислород). Более всего здесь понижается температура летом, и притом в средних широтах, таковы особенности циркуляции и теплообмена в верхней атмосфере.

Поэтому, серебристые облака наблюдаются только в летний период (июнь-сентябрь), и в средних широтах (в северном полушарии на широтах 45-70°, в южном - на широтах 40-65°). В последние годы серебристые облака изучают не только с Земли, но и из космоса. Было установлено, что слабая дымка серебристых облаков образуется не только над средними широтами, но и в экваториальном поясе.

Серебристые облака - светлые прозрачные облака, (настолько прозрачные, что через них хорошо видны звезды) самые высокие облачные образования. На вид серебристые облака похожи на обычные перистые. Но в отличие от перистых облаков, которые видны днем, серебристые видны после захода солнца, или перед его восходом. Кроме того, серебристые облака обладают собственным свечением, т.е. всегда выглядят светлыми на фоне темного неба. Различают четыре основных класса серебристых облаков: флер, полосы, волны, вихри.



Серебристые облака

- 1) Флер - это тонкая дымка, более или менее однородная. Часто флер сочетается с другими формами - заполняет промежутки между полосами и гребнями. Но нередко бывает виден только флер.
- 2) Полосы, параллельные горизонту - основная форма серебристых облаков. Реже появляются полосы, наклоненные к горизонту или перекрещивающиеся.
- 3) Волновые образования имеют вид гребней волн. Их принято делить на три подкласса: гребешки (короткие, идущие на небольших расстояниях параллельно друг другу), гребни

(более длинные и часто иначе ориентированные, чем маленькие гребешки), волнообразные изгибы, накладывающиеся на другие образования так, что вся система облаков словно колыхается на большой волне.

4) Вихри - облака этого класса, пожалуй, самые эффектные, но встречаются они реже других. Вихревые образования порой напоминают причудливые перья диковинных птиц, иногда похожи на "воронки" с темной серединой.

Длительные исследования серебристых облаков показали, что эти облака, состоят из мельчайших кристалликов льда. Весьма вероятно, что ядрами конденсации для намерзания льда служат частицы метеорной пыли, проникающие в нашу атмосферу из космического пространства или образующиеся в результате разрушения в атмосфере метеорных частиц.

Так как, чаще всего серебристые облака наблюдались после сильных, особенно катастрофических извержений, то была гипотеза о том, что они обусловлены вулканическим пеплом. Это предположение подтверждается тем, что после таких сильных извержений, как извержение вулкана Кракатау в 1883 году, серебристые облака появлялись чаще всего. Да и большая часть наблюдаемых космонавтами В.В.Ковалёнком и В.П.Савиных серебристых облаков была привязана в основном, к низким и экваториальным широтам, где отмечается максимальная вулканическая активность (Индонезия и западное побережье Тихого океана, Антильские острова). Очень яркие серебристые облака и светлые белые ночи отмечались после падения Тунгусского метеорита. По данным наблюдений 34 метеорологических станций, поле серебристых облаков тогда имело площадь  $51 \times 10^6 \text{ км}^2$ .

Таким образом, природа серебристых и перламутровых облаков не везде одна и та же. В районах высоких и средних широт это настоящие конденсационные серебристые облака, а в низких широтах они обусловлены преимущественно вулканической и космической пылью. Не исключаются антропогенные серебристые и перламутровые облака, возникающие в результате ядерных взрывов, работы реактивных двигателей.

Итак, серебристые облака наблюдаются более ста лет. В литературе имеется огромное количество публикаций на эту тему. Физика их, также как перламутровых, до недавнего времени оставалась недостаточно ясной. Авторами предложена модель образования серебристых облаков как структуры типа пылевого плазма-кристалла возникающего на высоте 80-90 км, образующегося на водных аэрозолях размером порядка 50 нм. Аэрокосмическое агентство в CARE (Charged Aerosol Release Experiment) готовит эксперимент по выбросу заряженного аэрозоля с геофизической ракеты Black Brant-XII. Предполагается выпустить облако с микрочастицами пыли. Под воздействием космического излучения микрочастицы приобретут электрический заряд, выстроятся в кристаллическую структуру и приобретут свойства серебристых облаков.

Оценим «время жизни» аэрозоля в стратосфере. Примем его размер равным 0.1 мкм, массу  $m = 10^{-15}$  г. Концентрацию аэрозоля  $n$  примем исходя из того, что его слой принятого размера полностью экранирует Землю от Солнца ( $W = 0$ ): равной  $n = 10^6 - 10^7 \text{ см}^{-3}$  (подробнее в лекции 19). Расстояние между частицами  $l \sim 100$  мкм, концентрация зарядов в стратосфере  $n_e = 10^4 \text{ см}^{-3}$ , дебаевский радиус  $d = (kT/4\pi n_e e^2)^{1/2} = 10$  см. На расстояниях, больших  $d$ , электрическое поле заряда частицы аэрозоля экранируется зарядами противоположного знака и становится пренебрежительно малым. В нашем случае  $l \ll d$ , и это говорит о том, что экранирования поля частицы аэрозоля не происходит и, следовательно, она будет взаимодействовать с внешним атмосферным электрическим полем  $E$ .

Взаимодействие заряженной частицы  $eZ$  массой  $m$  в поле силы тяжести в электрическом поле  $E$ , притягивающем частицу, может привести её в состояние левитации. Выполнение очевидного условия:  $mg = eZE$ , где вертикальное атмосферное электрическое поле (АЭП) в стратосфере  $E \approx 1 \text{ В/м}$ ,  $eZ$  – заряд частицы аэрозоля,

позволяет оценить количество единичных зарядов на частице  $Z = 1000$ . Заметим, что  $Z = 1000$  единичных зарядов не является слишком огромным. Например, в лабораторных экспериментах такие величины зарядов были обнаружены на искусственных частицах, введенных в плазму газового разряда. В принципе, в природе возможна ситуация, когда заряженные частицы аэрозоля могут находиться в стратосфере бесконечно долго и способны накапливаться, образуя слои с фиксированными расстояниями между частицами. Такие структуры получили название «плазма-кристалл». Рано или поздно аэрозоли притянутся друг к другу, слипнутся и упадут на Землю. Авторы полагают, что силы притяжения между частицами возникают, когда дебаевский радиус равен расстоянию между частицами, а также, если заряды одного из знаков сосредоточены преимущественно на аэрозолях. Если частицы аэрозоля несут малую долю зарядов одного из знаков, то они отталкиваются. В рассматриваемом нами случае, возможны оба варианта в зависимости от того, насколько изменились внешние условия: увеличилась концентрация зарядов, например, за счет дополнительной ионизации космическими лучами, или уменьшилось количество зарядов на частицах – за счет рекомбинации их с положительными ионами и т.п.