

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ
НА КАМЧАТСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «ПАРАТУНКА» И В РАЙОНЕ
МУТНОВСКОЙ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ СТАНЦИИ**

**RESULTS ON RESEARCH OF THE ATMOSPHERIC ELECTRIC FIELD AT THE
KAMCHATKA OBSERVATORY "PARATUNKA" AND IN THE REGION OF THE
ACTIVE MUTNOV POWER PLANT**

Н.В. Чернева, И.Ю. Бабаханов, В.В. Кузнецов

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Ten-year (from 1997 to 2006) results on research of the Atmospheric Electric Field (AEF) intensity E_z in the bottom layer at Kamchatka observatory "Paratunka" are presented. Examined in Fair-Weather Conditions (FWC) AEF records revealed strong evening-morning asymmetry of E_z diurnal variations whose magnitude and features were season dependent. It is equinox to have its greatest impact after unitary variation on the sunrise superposition induced by observatory location. In FWC a sharp drop of AEF intensity is obtained to coincide with Forbush decrease of galactic cosmic rays. Like at other world observatories the average annual magnitude of E_z measured at the Paratunka observatory is obtained to reduce steadily. The results on experiments of the effect of a steam jet out of a deep geothermal well on the AEF are presented.

Введение

Атмосферное электрическое поле изучается в различных обсерваториях мира в течение многих лет, но единой теории АЭП нет до сего времени. Важнейшее значение в исследованиях АЭП имеет постоянный мониторинг его на обсерваториях. Обсерватория «Паратунка» на Камчатке работает сравнительно недавно, но, тем не менее, здесь получены данные, имеющие своеобразную специфику. Во-первых, это географическое положение обсерватории, состоящее в том, что время утреннего терминатора (граница ночь-день) приходится примерно на время унитарной вариации. Во-вторых, в непосредственной близости от обсерватории проходят циклоны, оказывающие огромное влияние на АЭП [2] и зарождающиеся в Тихом океане и, наконец, в третьем, – недалеко от обсерватории расположено Мутновское месторождение термальных вод, выброс которых при открытии скважины так же приводит к изменениям АЭП [1]. Полученные в результате мониторинга и специальных экспериментов данные интерпретируются в контексте новой модели АЭП.

Новая модель АЭП

В основу новой модели, разрабатываемой одним из авторов (В.В.К.), положены два предположения: 1) ионизация атмосферы галактическими космическими лучами и 2) разделение зарядов в атмосфере хорошей погоды за счет различия размера положительных и отрицательных микрокапель по механизму, предложенному Френкелем для грозового облака. Согласно модели, наличие положительных частиц в свободной атмосфере должно приводить к увеличению АЭП в точке измерения, отрицательных – к его уменьшению.

Форбуш понижение АЭП

Первому исследованию за длительный временной период этого явления посвящена работа венгерской обсерватории Nagycenk [4], в которой в течение 1962-1994 г.г. регистрировалось поведение АЭП в моменты Форбуш понижений (ФП) галактических космических лучей (ГКЛ). Оказалось, что в моменты сильных Форбуш понижений, электрическое поле уменьшалось на ~ 5-10 %, а затем восстанавливалось до прежнего уровня в течение 5 – 10 дней. Полученные в Венгрии результаты отличались от всех предшествующих, согласно которым, как это и следует из общепринятой грозовой модели АЭП, в такие моменты АЭП должно было бы возрасти. Автор этой работы приходит к

выводу, что в рамках существующих представлений о глобальном атмосферном электрическом контуре, объяснить поведение E_z не удастся: «маловероятно, что изменения проводимости и потока солнечных частиц одни могут объяснить глобальные изменения электрического поля». Кроме этого, автор приходит к выводу: «электрическое поле может одновременно находиться под влиянием других факторов, которые более эффективны в другом месте в атмосфере, и действуют посредством изменения параметров контура. Таким образом, реакция АЭП к солнечно-земным событиям не всегда однозначна».

Совместный анализ данных по ФП ГКЛ и данных по мониторингу АЭП на Камчатке позволил выявить достаточно большое количество событий ФП в АЭП, одно из которых представлено на рис. 1. В отличие от данных предшествующей работы, на Камчатке время понижения АЭП и ГКЛ совпадают очень точно, а восстановление АЭП происходит быстрее, чем восстановление ГКЛ. Обнаружена четкая зависимость: если ГКЛ понижаются на 1 %, то понижение величины АЭП примерно в 10 раз выше (10 %).

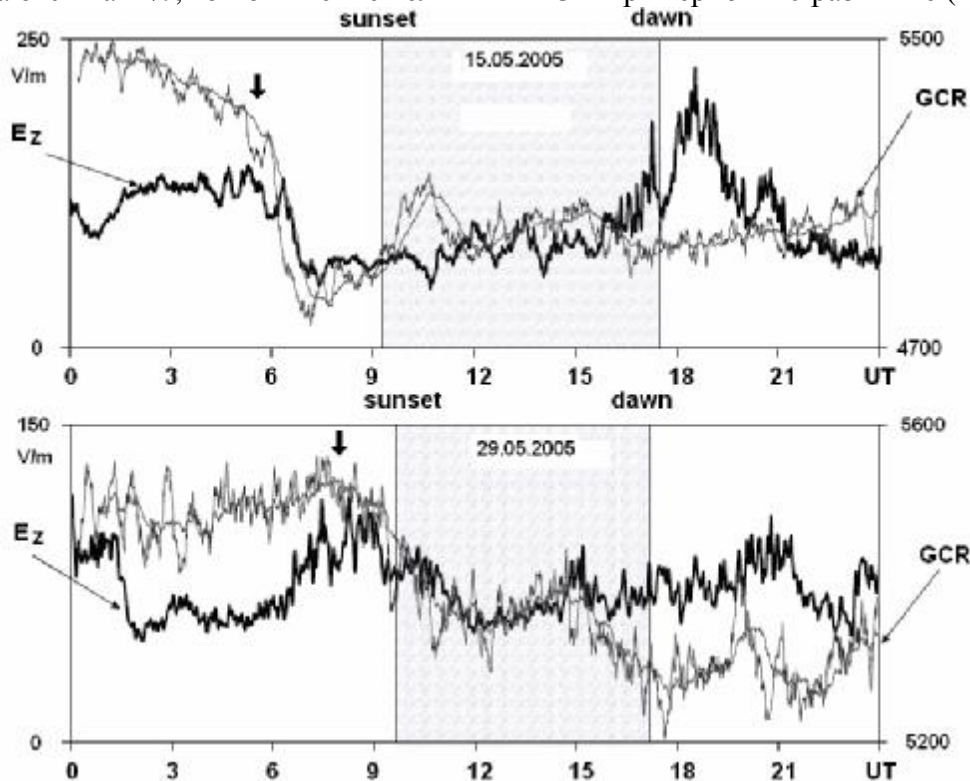


Рис.1. Изменение атмосферного электрического поля E в момент Форбуш понижения и восстановления величины E в последующие дни.

Обсудим полученный результат по ФП АЭП в контексте новой модели. Суть модели состоит в том, что в атмосфере «хорошей погоды» происходят одновременно два процесса: Один из них – это образование электрического заряда за счет ионизации атмосферы ГКЛ. Второй процесс, – это конденсация паров воды в атмосфере и образование микрокапель. Конденсация паров связана с температурой поверхности Земли, и чем она выше, тем меньше образуется капель, хуже разделение зарядов и меньше величина АЭП. В такой ситуации, если процесс конденсации и разделения зарядов происходит очень быстро, то и ФП в АЭП должно практически повторять ФП ГКЛ, что и наблюдается в большинстве из рассмотренных нами примеров [3].

Вечерне-утренняя асимметрия АЭП

Особенность расположения Камчатки состоит в том, что УТ-вариация АЭП приходится на время утреннего терминатора. Для того чтобы выявить и разделить эти эффекты, были выбраны (в течение 1998–2006) спокойные дни, когда отсутствовали резкие колебания градиента поля. Общее число выбранных дней - 203 дня, в том числе:

суммарное число за март 48, за апрель - 46, за май - 35, в июне было 42 спокойных дня, а в июле - 32. Точкой отсчета для статистической обработки было выбрано время восхода Солнца (по данным Камчатского Гидрометцентра). На рис. 2 одно деление по вертикальной оси равно 10%. Все данные нормированы на максимальное значение, т.е. приведены к 100% с тем, чтобы можно было просчитать % вклад после момента восхода. Все графики приведены к единому формату и могут быть сопоставимы. При изучении данных АЭП Камчатки оказалось, что вклад эффекта восхода в E_z в марте равен 40%, в апреле – 20%, в мае – 15%, в июне и июле мы видим понижение поля, а затем незначительное повышение в 10 и 5% соответственно. В марте виден один явно выраженный максимум, начиная с апреля – появляется второй максимум, он сохраняется с апреля по июль. Рис. 2 показывает, что если на Камчатке и можно выделить УТ-вариацию АЭП, то эффект восхода, в любом случае, значительно сильнее, чем УТ-эффект.

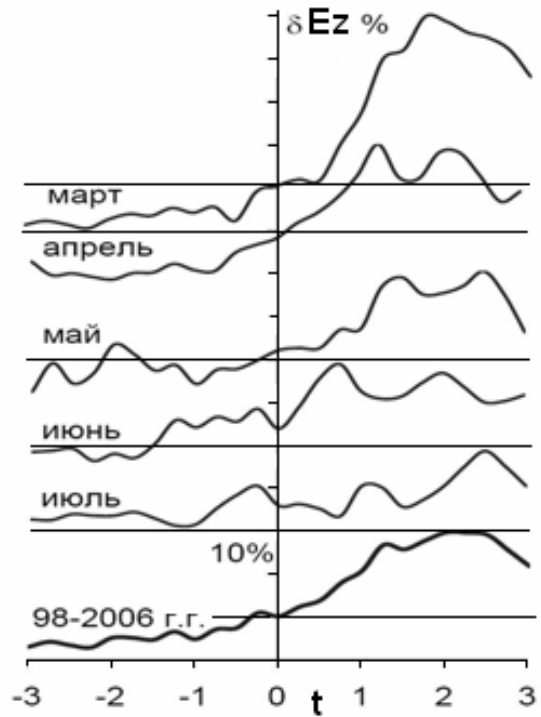


Рис.2. Эффект восхода Солнца ($t = 0$, в часах) в АЭП на обсерватории Паратунка.

Вековое уменьшение величины АЭП

По наблюдениям АЭП, проведенным в Венгрии, Шотландии и других странах [5], было обнаружено, что АЭП, в период с 1920 по настоящее время, регулярно понижалось (рис. 3). Авторы пытаются связать уменьшение величины АЭП с якобы наблюдаемым уменьшением интенсивности ГКЛ, подчеркивая, тем не менее, существование отрицательной корреляции с глобальной температурой. Анализ этих данные, показывает, что они противоречат идее грозового источника АЭП, т.к. чем выше температура планеты, тем выше частота гроз и – выше АЭП. Представлял определенный интерес выяснить, изменялось ли АЭП Камчатки. Как следует из рис. 3, на Камчатке АЭП уменьшалось примерно в том же темпе, что и на других обсерваториях.

Температура поверхности Земли в течение 100 последних лет возрастает. В этой связи, величина АЭП, согласно нашей модели, должна – уменьшаться. Рассмотрим, в контексте нашей модели, почему и каким образом, АЭП понижается с ростом температуры поверхности Земли. Согласно нашей модели величина E_z пропорциональна массе водного конденсата облака, размеру частиц – капель воды, которые участвуют в разделении зарядов. Причем, чем больше размер частиц и больше их концентрация, тем эффективнее происходит разделение зарядов. Очевидна так же и высказанная выше идея относительно того, что чем скорость конденсации больше скорости испарения, тем больше размер частиц, капель, аэрозолей, т.е. тех частиц, которые переносят отрицательный заряд Земле. Сейчас нашей задачей будет оценить, почему АЭП уменьшается именно настолько, как это следует из данных наблюдений, приведенных на рис. 3. Из этого рисунка следует, что, начиная с 1920 г. До настоящего времени (в течение 80 лет; $dt = 80$), величина E_z уменьшилась примерно вдвое: $dE_z/dt (E_z') \approx 2$ (со скоростью $\approx 1 \text{ В/м} \approx 1\% \text{ в год}$), в то время как температура поверхности Земли в этот же период времени выросла на $0.7 - 0.8$ градуса ($0.01^\circ \text{ год}^{-1}$), что составляет, примерно, $dT/dt (T') =$

0.06, или 6 %. (где среднегодовая температура Земли $T = 15 \text{ }^\circ\text{C}$). Отношение скоростей изменения параметров $T'/E' = 0.03$

Для подтверждения модели нам следует получить теоретическую зависимость E_Z

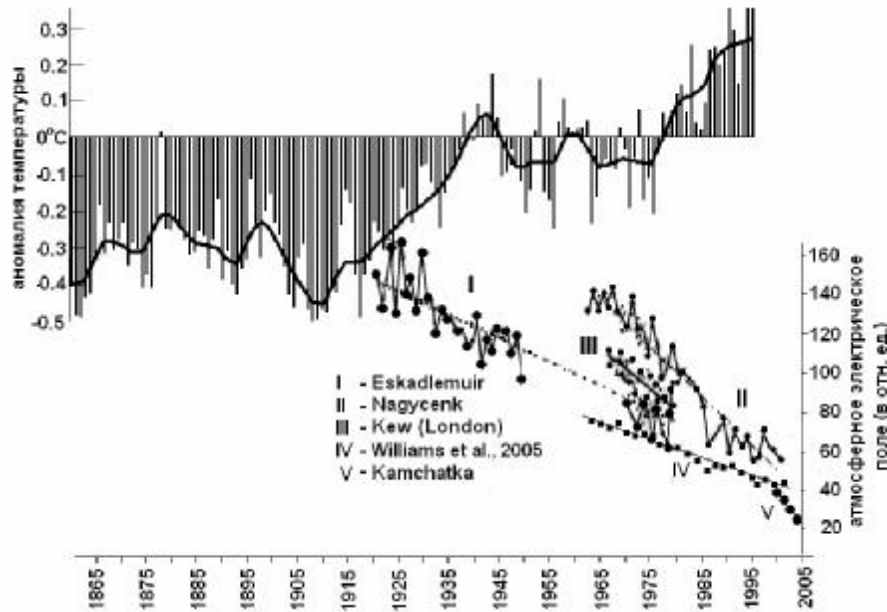


Рис.3. Изменение глобальной температуры Земли. Уменьшение величины E_Z на обсерваториях Венгрии, Великобритании и Камчатки

от температуры T , типа: $E_Z \sim \exp(-T)$, или: $M \sim \exp(-T)$, т.к. $E_Z \sim M$. Водность атмосферы, иначе, интегральная масса образующихся в атмосфере капель, M определяется скоростью нуклеации, т.е. скоростью роста капли. Для оценки скорости нуклеации воспользуемся формулой Зельдовича: $M \sim nZ(4\pi rPK)/(2\pi m kT)^{1/2}$, здесь: n – концентрация, r – радиус, m – масса ядер конденсации, т.е. «зародышей» капель, Z – фактор Зельдовича, P – давление, K – скорость конденсации $K \sim \exp(-T)$, k – постоянная Больцмана. Учитывая зависимость E_Z только от температуры, получаем: $M \sim T^{1/2} \exp(-T)$, или, иначе: $E_Z \sim T^{1/2} \exp(-T)$.

Температура поверхности Земли возростала в течение времени наблюдения t более или менее линейно со временем: $T = at$, тогда $T' = dT/dt = a$. Подставим это выражение в формулу для E_Z' и получим: $E_Z' \approx [\exp(-at)(1 + 2at)/a] \times (at)^{3/2}$, а отношение $T'/E' \approx 2a^{3/2}$, полагая $t = 1$. Как отмечалось, величина a , из наблюдений: $a = 0.06$, получаем отношение: $T'/E' = 0.03$, что можно рассматривать как подтверждение справедливости нашей модели.

Предположим, что глобальное потепление будет продолжаться с той же скоростью, что и сейчас, т.е. $\sim 1^\circ/100$ лет, тогда Земля, «нагреваясь», может достичь критической температуры $T = 26,5^\circ \text{C}$ примерно за 1000 лет. В этом случае поле E_Z уменьшится, примерно в 10 раз, так что его можно считать практически равным нулю ($\approx 10 - 15 \text{ В}$), что ниже величины флуктуаций E_Z . Рассмотрим альтернативную модель, в которой уменьшение величины АЭП может быть, например, связано с вековым уменьшением интенсивности потока ГКЛ. Как мы показали, при Форбуш понижениях, уменьшение E_Z происходит примерно в 10 раз больше (10 %), чем ГКЛ (1 %). Однако в этом случае понижение величины E_Z связано с уменьшением количества частиц самой низкоэнергетической части общего потока ГКЛ, не принимающих участия в ионизации атмосферы. Принято считать, что максимум ионизации атмосферы приходится на область высот порядка 5 км, где наблюдается максимум ионизации атмосферы потоком ГКЛ, его вариации в процентах примерно соответствуют вариациям E_Z , что составляет $\approx 1 \%$. С другой стороны, 11-летние солнечные вариации ГКЛ составляют примерно 1 - 2 % в год. Наблюдения ГКЛ на нейтронных мониторах ведется около 50 лет, т.е. имеются данные по 5 циклам солнечной активности. Этих данных недостаточно для того, чтобы утвердительно ответить на вопрос существует ли тенденция векового уменьшения интенсивности потока ГКЛ. В такой ситуации нет возможности ни принять альтернативную модель, ни её опровергнуть.

от температуры T , типа: $E_Z \sim \exp(-T)$, или: $M \sim \exp(-T)$, т.к. $E_Z \sim M$. Водность атмосферы, иначе, интегральная масса образующихся в атмосфере капель, M определяется скоростью нуклеации, т.е. скоростью роста капли. Для оценки скорости нуклеации воспользуемся формулой Зельдовича: $M \sim nZ(4\pi rPK)/(2\pi m kT)^{1/2}$, здесь: n – концентрация, r – радиус, m – масса ядер конденсации, т.е. «зародышей» капель, Z – фактор Зельдовича, P – давление, K – скорость

Активные эксперименты с АЭП

Эксперименты проводились в районе действующей Мутновской электростанции на двух скважинах теплоэнергетических вод – парогидротерм. Измерения вертикальной компоненты АЭП E_z проводились с помощью трех электрических флюксометров «Градиент МЗ», датчика электрической проводимости воздуха «Электропроводность-2», системы оцифровки и записи сигнала на цифровой носитель.

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 метров от скважины. Прибор «Электропроводность-2», система оцифровки данных и компьютер размещались в 20 метрах от скважины. Между первой и второй скважинами имелось существенное различие, состоящее в том, что 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%). 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 увеличилась до 90 кг/сек. Струя пара во второй скважине была практически сухой. Это даёт возможность сравнить результаты воздействия на АЭП как сухого, так и влажного водяного пара.

Во время экспериментов измерялся потенциал на верхнем срезе металлической обсадной трубы скважин. В обоих случаях начальный потенциал, до открытия скважины составлял примерно – 300 мВ. После открытия скважин потенциал уменьшался в среднем на 100 мВ. Это означает, что на срезе скважины во время её работы возникал дополнительный, положительный электрический заряд. Надо сказать, что иногда в течение времени работы скважины, потенциал начинал резко изменять величину и даже менять знак. По-видимому, в это время изменялись параметры струи пара, например, изменялась концентрация воды и т.п. Оценка плотности дополнительного электрического заряда в образующемся облаке, сделанная нами ранее по изменению величины АЭП, показала, что плотность заряда находится в интервале $10^{-9} - 10^{-10}$ Кл/м³. Полагая объем облака $10^3 - 10^4$ м³, разброс генерируемого электрического заряда составлял $10^{-7} - 10^{-5}$ Кл. Так как характерное время нарастания (убывания) величины E в момент открытия (закрытия) скважины равно примерно 5 минут, электрический ток скважины варьирует в интервале $10^{-7} - 10^{-9}$ А.

На рис. 4 представлено изменение во времени: величины АЭП на расстояниях 20 и 40 метров и данные измерения электропроводности на расстоянии 20 м. от скважины. На рис. 4 выделены четыре стадии первого эксперимента: 0 – поведение параметров АЭП до открытия скважины, калибровка датчиков; I – уменьшение E , возрастание λ_+ и уменьшение λ_- , II – начало возрастания E , λ_+ и λ_- , III – продолжение увеличения E и уменьшение λ_- и λ_+ . В этот момент эксперимент из-за внезапного выброса воды, залившей аппаратуру, был прекращен. В правой части рис. 4 приведены данные, полученные на второй, «сухой» скважине. Как будет показано ниже, их можно рассматривать как заключительную стадию эксперимента, начатого с первой скважиной, поэтому они обозначены как IV стадия эксперимента, в которой АЭП продолжает возрастать при понижении λ_- и практически постоянной величине λ_+ (см. рис. 4).

Анализ результатов показывает, что изменения электропроводности λ_+ и λ_- всегда совпадают по времени с вариациями поля E . По всей видимости, это обязано тем обстоятельствам, что параметры АЭП измерялись в непосредственной близости от грунта, т.е., иначе, датчики располагались на земле, за исключением датчиков поля, установленных на высоте 7 метров на хорошо проводящем защитном кожухе. Однако эти датчики дополнительной информации не несли, т.к. после открытия скважины довольно быстро заливались водой. Заметим, что в эксперименте 2004 исследовались только две первых стадии (I и II), после чего наблюдения прекращались. В этих экспериментах поле E уменьшалось почти до нуля, но знак поля не менялся.

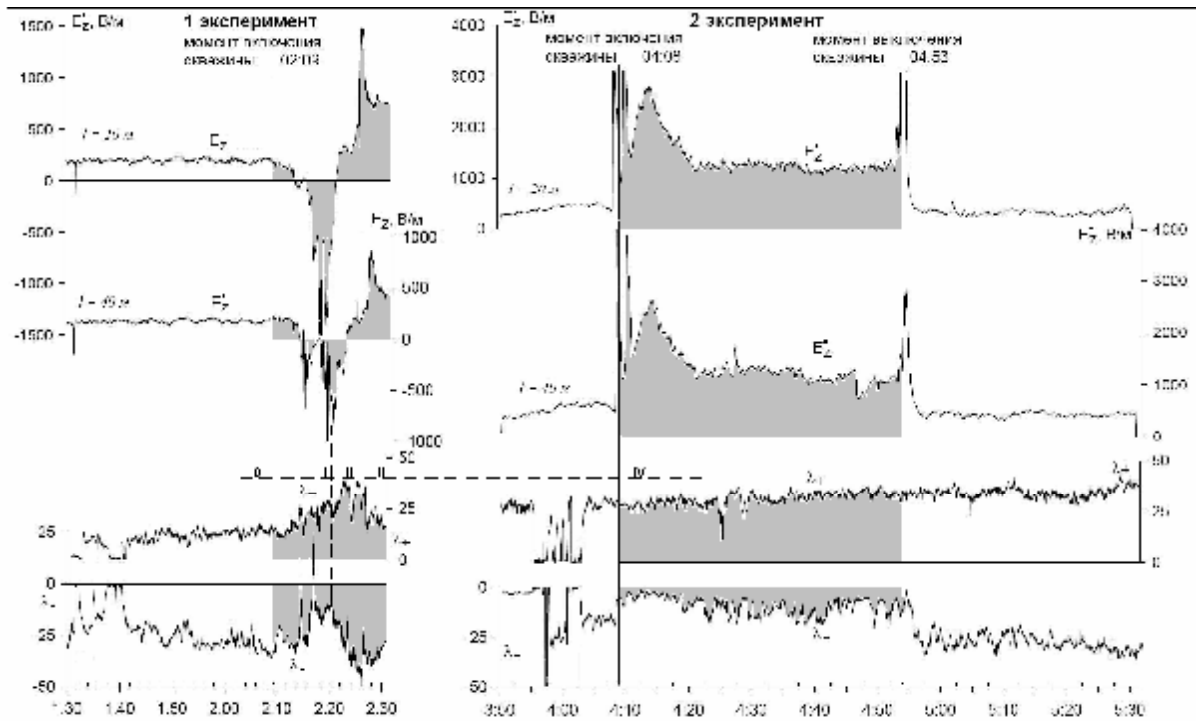


Рис.4. Результаты измерений E_z , λ_+ и λ_- на двух термальных скважинах.

Таким образом, появление в атмосфере дополнительного положительного заряда от струи с сухим паром приводит к увеличению АЭП и, наоборот, выброс влажного пара – АЭП уменьшает. Отсюда следует, что АЭП формируется за счет возникновения и разделения зарядов непосредственно в самой атмосфере, что подтверждает основную идею принципиально новой модели АЭП.

Заключение

В заключение отметим, что наблюдения и активные эксперименты с АЭП на Камчатке показали, что: 1) имеется прямая связь: ГКЛ-АЭП; 2) существует прямое влияние Солнца на АЭП; 3) вековое уменьшение АЭП обязано глобальному потеплению; 4) струя сухого водяного пара, выброшенного в атмосферу, - приводит к возрастанию величины поля E_z . Выброс воды в атмосферу и последующее дробление воды, приносит отрицательный заряд, что приводит к изменению полярности поля E_z . Полученные результаты не противоречат новой модели АЭП, скорее её подтверждают.

Работа выполнялась при поддержке гранта по программе фундаментальных исследований Президиума РАН № 16. Часть 3. Проект 19.2 и гранта ДВО РАН, по разделу С07.

Список литературы

1. Кузнецов В.В., Чернева Н.В. Исследование влияния искусственного облака на атмосферное электрическое поле. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2007, том 43, №2, с. 266–271
2. Кузнецов В.В., Чернева Н.В., Дружин Г.И. О влиянии циклонов на атмосферное электрическое поле Камчатки. // Доклады АН, 2007, том. 412, №4, с. 547–551.
3. Чернева Н.В., Кузнецов В.В. Форбуш понижения и эффекты терминатора в атмосферном электричестве Камчатки // Труды VIII конференции молодых ученых БШФФ «Астрофизика и физика околоземного космического пространства». Иркутск. 2005, с.37–40.
4. März F. Short-term changes in atmospheric electricity associated with Forbush decreases. J. Atm. Solar-Terr. Physics. 1997. V. 59. N. 9. P. 975-982.
5. März F., Harrison R. G. Long-term changes in atmospheric electrical parameters observed at Nagycenk (Hungary) and the UK observatories at Eskdalemuir and Kew. J. Annales Geophysicae. 2003. V. 21: P. 2193–2200.