

УДК 551.594

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО АКТИВНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ СТРУИ ВОДЯНОГО ПАРА НА АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

© 2009 г. В. В. Кузнецов, Н. В. Чернева, И. Ю. Бабаханов

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН
684034, Паратунка, Камчатская обл., ул. Мирная, 7*

E-mail: nina@ikir.kamchatka.ru

Поступила в редакцию 01.02.2007 г., после доработки 17.03.2009 г.

Приведены результаты экспериментов по исследованию влияния на атмосферное электрическое поле (АЭП) искусственного пароводяного облака (ПВО). Эксперименты проводились 19.09.2006 г. на Камчатском месторождении теплоэнергетических вод в районе действующей Мутновской электростанции. Измерялась напряженность АЭП тремя датчиками, электропроводность воздуха, потенциал скважины и метеопараметры одновременно в непосредственной близости от геотермальных скважин, открываемых и закрываемых на время наблюдений. Обнаружено различное поведение напряженности электрического поля в зависимости от содержания жидкой влаги в пароводяной смеси скважины в течение существования ПВО. Предложены модели, обсуждаются результаты эксперимента.

ВВЕДЕНИЕ

В сентябре 2006 г. авторам представилась возможность повторить эксперимент по активному воздействию на атмосферное электрическое поле (АЭП) искусственного пароводяного облака (ПВО), образующегося при открытии глубинной, законсервированной, геотермальной скважины в момент технологического сброса перегретого водяного пара. Во время проведения первого эксперимента (2004 г.) нами было обнаружено [1], что величина напряженности АЭП E во время образования ПВО уменьшалась: $\Delta E \approx 100\text{--}200$ В/м, сохраняя полярность, и затем восстанавливалась до прежнего значения. В работе [1] также отмечалось, что образовавшееся искусственное облако обладает электрическим зарядом, хотя знак заряда и физика его появления были не совсем ясны. Время одного измерения на скважине в эксперименте 2004 г. было нами задано не одинаково: на одной скважине измерения осуществлялись чуть более часа, а на двух других по 10 минут, что, как выяснилось при обработке данных, было недостаточно. В эксперименте 2004 г. использовался лишь один датчик АЭП, который переносился с места на место в течение наблюдения. Это было очень неудобно и мешало получить полную картину явления активного воздействия на АЭП. Все эти моменты были учтены нами и по возможности исправлены при проведении повторных испытаний.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Эксперименты 2006 г. проводились в районе действующей Мутновской электростанции на двух скважинах теплоэнергетических вод – парогидро-

терм, на одной из которых (первой) вариации АЭП измерялись в эксперименте 2004 года. 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. 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 ± 25 фСм м⁻¹.

Один из датчиков АЭП “Градиент МЗ” устанавливался в непосредственной близости от сопла скважины на верхней площадке металлического кожуха, другие располагались на расстояниях 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. Дело в том, что выброс пара в эксперименте 2006 г. на первой скважине был значительно мощнее, чем в 2004: высота струи превысила 150 м, в то время как в 2004 г. на этой же скважине она достигала лишь 30 м. Это было не единственное отличие характеристик скважин в эксперименте 2006 г. Между

Таблица 1.

	I	II	III	IV
λ_+	↑	↑	↓	=
λ_-	↓	↑	↓	↓
E	↓	↑	↑	↑

Примечание: ↑ – увеличение значения, ↓ – уменьшение, = – постоянство.

первой и второй скважинами имелось существенное различие, состоящее в том, что расход пароводяной смеси на первой скважине составил 115 кг/с с 22% содержанием пара, а расход во второй скважине – 14–15 кг/с 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 дает возможность, в отличие от эксперимента 2004 г., когда все три скважины были “водными”, 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.

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 ее 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 [1], показала, что плотность заряда находится в интервале 10^{-9} – 10^{-10} Кл/м³. При объеме облака $\approx 10^4$ м³ его электрический заряд составляет $\approx 10^{-6}$ Кл. Так как характерное время нарастания (убывания) величины E в момент открытия (закрытия) скважины равно примерно 5 минутам, электрический ток скважины варьирует в интервале 10^{-7} – 10^{-9} А. Представляло бы несомнен-

ный интерес проверить эту величину тока прямыми измерениями. Здесь важна не только величина тока, но и его “направление”, которое должно было бы показать знак заряда. Если бы удалось зарегистрировать колебания направления и величины тока скважины, то это подтвердило бы наше предположение относительно изменения водного режима выброса пара. Пока можно полагать, что в момент увеличения поля E и преимущества положительной электропроводности из скважины выбрасывается “сухой” пар. Это означает, что на срезе трубы должен появляться положительный заряд, что и фиксировал наш гальванометр. В последующем положительный заряд отводился на землю через стальную трубу скважины.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Данные обоих экспериментов приведены на рис. 1, на котором представлено изменение 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. На рис. 1 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 уменьшения λ_- и λ_+ . В этот момент эксперимент из-за внезапного выброса воды, залившей аппаратуру, был прекращен. В правой части рис. 1 приведены данные, полученные на второй, “сухой” скважине. Как будет показано ниже, их, в принципе, можно условно 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. 1 и табл. 1).

Измерение величины E_z на двух датчиках, расположенных на расстояниях l в 20 и 40 м от скважины, позволяют сделать грубую оценку зависимости $E(l)$. Оказывается, что на сухой скважине поле спадает: $E \sim l^{-1}$ в первом случае и $E \sim l^{-1/2}$ во втором. Правда, эта оценка скорее показывает распределение заряда внутри зоны влияния парового облака, чем изменение поля вдали от источника возмущения АЭП и не имеет отношения к характеру спада поля E_z с расстоянием от источника его возмущения. Например, ранее нами было показано, что изменение АЭП с расстоянием от циклона r : $E_z \sim 1/r^2$ имеет четко выраженную квадратичную зависимость [2].

Предварительный анализ результатов эксперимента, представленных на рис. 1, показывает, что изменения электропроводности λ_+ и λ_- практически всегда совпадают по времени с вариациями поля E ,

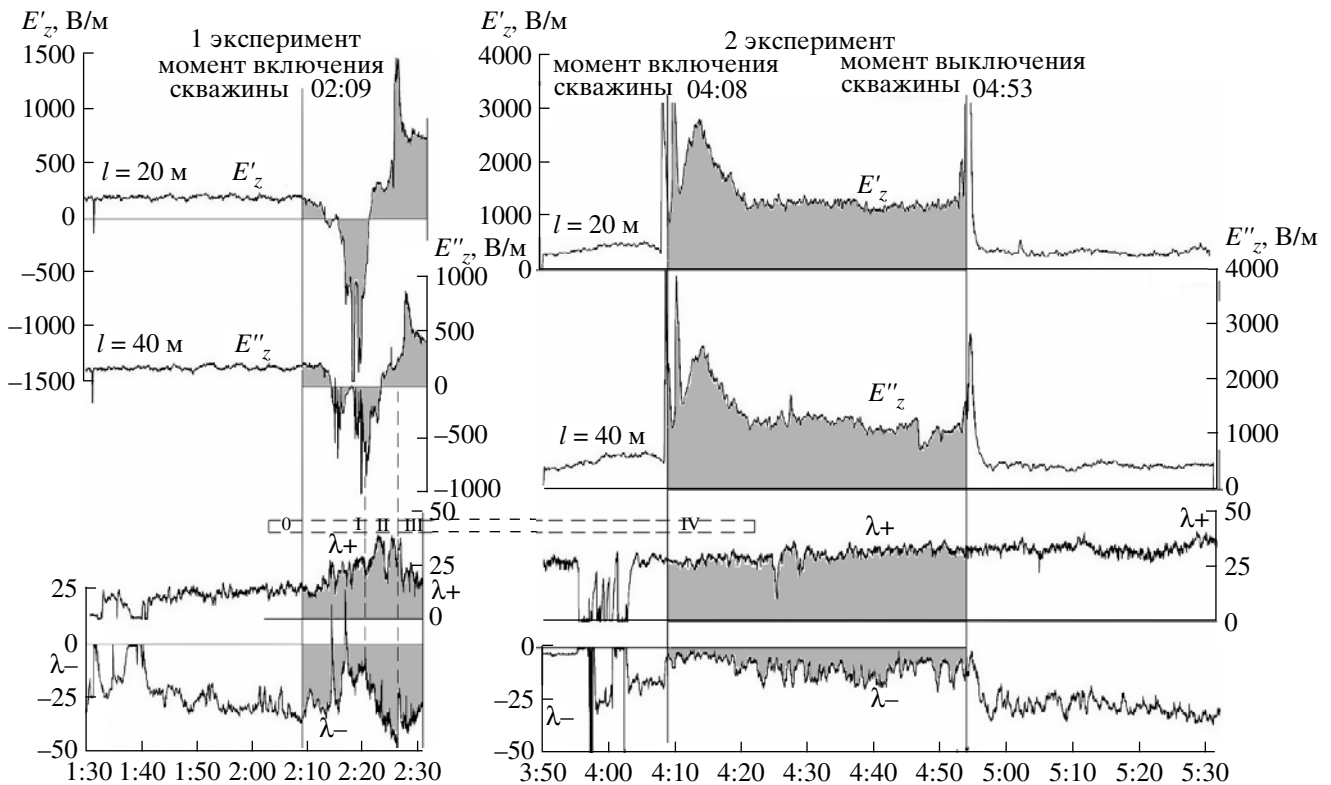


Рис. 1. Результаты измерений E_z , λ_+ и λ_- на двух термальных скважинах.

хотя, как следует из рис. 1 и табл. 1, связи эти неоднозначны. 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 м 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 г. 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.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты по измерению вариаций АЭП в приповерхностной области интерпретировать особенно сложно, т.к. здесь проявляются т.н. электродные эффекты (ЭЭ) [3], связанные с близостью исследуемого проводящего слоя атмосферы с хорошо проводящим слоем земли – “электродом”. В дальнейшем при интерпретации полученных результатов будем пользоваться теорией, развитой для описания ЭЭ, понимая при этом, что изменения поля и проводимости, наблюдаемые в эксперименте, объясняются прежде всего эффектами разделения зарядов в пароводяной смеси и взаимодействием ионов с ее

компонентами и лишь во вторую очередь взаимодействием с поверхностью Земли (т.е. собственно электродным эффектом). Общая теория атмосферного электрического поля не создана, поэтому для предварительной интерпретации результатов будем придерживаться теории электродных эффектов. В этой теории принято использовать вместо электропроводности λ_+ и λ_- концентрации легких положительных n_1 , легких отрицательных n_2 ионов и тяжелых ионов N_1 и N_2 соответственно:

$$\lambda_+ = e n_1 n_1, \quad \lambda_- = e n_2 n_2,$$

где e – заряд электрона, u ($\text{см}^2 \text{с}^{-1} \text{В}^{-1}$) – подвижность легких ионов.

Изменения концентрации легких ионов во времени записываются уравнениями [3, 4]:

$$dn_1/dt = q - \alpha n_1 n_2 - \eta_{12} n_1 N_2 - \eta_{10} n_1 N_0,$$

$$dn_2/dt = q - \alpha n_1 n_2 - \eta_{21} n_2 N_1 - \eta_{10} n_2 N_0.$$

Здесь q – скорость ионизации, α – коэффициент рекомбинации между легкими ионами, η_{12} – скорость прилипания легких положительных ионов к тяжелым, отрицательным, η_{21} – тоже для легких отрицательных, η_{10} – скорость прилипания легких положительных ионов с нейтралами и т.п. Все три слагаемых, следующих в уравнении после q , показывают скорость убывания ионов соответствующего знака.

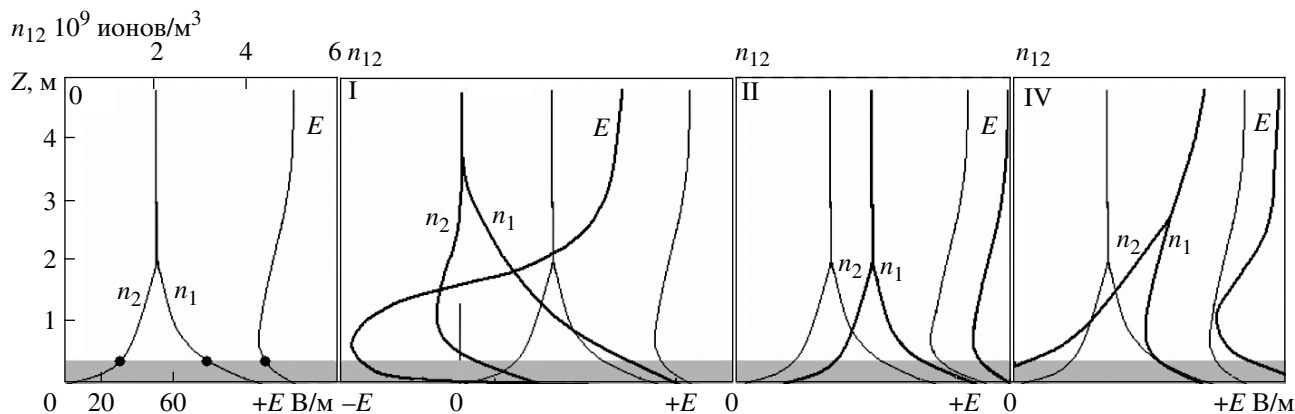


Рис. 2. Распределение по высоте АЭП (E), концентраций легких ионов: положительных (n_1) и отрицательных (n_2), для четырех ситуаций: начальной (0), ситуации (I, II), изображенных на рис. 2 для 1-го эксперимента и заключительной стадии (IV) – 2-го эксперимента. Темная полоска показывает область высот, на которых проявляется электродный эффект и на которых проводились измерения. Точки на ситуации (0) – начальные параметры АЭП.

Изменение поля E по высоте (z) и во времени (t) в области ЭЭ описывается уравнениями:

$$dE/dz = e/\epsilon_0(n_1 - n_2 + N_1 - N_2),$$

$$dE/dt = ze/\epsilon_0(dn_1/dt - dn_2/dt + dN_1/dt - dN_2/dt) =$$

$$= he/\epsilon_0(dN_1/dt + \eta_{21}n_2N_1 - dN_2/dt - \eta_{12}n_1N_2).$$

Отсюда следует (заменяя h на z), что когда n_2 и N_1 увеличиваются, АЭП возрастает и наоборот. Поле E возрастает при появлении в атмосфере сухого пара, обладающего положительным зарядом, и убывает при появлении отрицательно заряженных капель воды. Этот вывод получил подтверждение, хотя необходимо учитывать, что в наших экспериментах аппаратура позволяла измерять проводимость только легких ионов. Кроме этого, по условиям эксперимента мы регистрировали только изменения параметров АЭП во времени и не имели возможности изучить их изменения по высоте. Более того, очевидно, что такая замена справедлива только при условии однородности концентраций в пространстве. Теория электродных эффектов рассматривает изменение параметров E , n_1 и n_2 с высотой. Воспользуемся формулой для dE/dt . Это позволяет нам интерпретировать результаты изменения параметров АЭП во времени посредством использования модели ЭЭ в виде dE/dz [3, 4].

На рис. 2 (0) приведено типичное распределение параметров E , n_1 и n_2 , характерных для ЭЭ [3]. Принято считать [3, 4], что область ЭЭ, или, иначе, аномального поведения параметров АЭП, ограничивается высотой 3 м, как это показано на рис. 2 (0). На рис. 2 изображены возможные статические ситуации, соответствующие динамическому развитию процесса воздействия ПВО на параметры АЭП в зоне ЭЭ, соответствующие выделенным временным интервалам (I–IV).

Ситуация I: $n_1 \sim \uparrow, n_2 \sim \downarrow = E(\downarrow) \rightarrow (n_1 + N_1) < (n_2 + N_2) \rightarrow N_1 \downarrow, N_2 \uparrow$. Рост концентрации тяже-

лых отрицательных ионов и уменьшение концентрации тяжелых положительных ионов. Это явление обязано выбросу большого количества воды, который за счет дробления воды (т.н. баллоэлектрического эффекта), привносит в воздух отрицательный заряд. Ситуация, аналогичная нашей, регистрируется вблизи водопадов, например, у водопада Виктория. За счет дробления воды возникает электрическое поле обратного знака и напряженностью до 25 кВ/м (<http://class-fizika.narod.ru/w21.htm>). В наших экспериментах поле E так же изменяло знак и достигало $-(1.5-2)$ кВ/м.

Ситуация II: $n_1 \sim \uparrow, n_2 \sim \uparrow = E(\uparrow) \rightarrow (n_1 + N_1) > (n_2 + N_2) \rightarrow N_1 \uparrow, N_2 \uparrow$. Величина поля возрастала, из области отрицательных величин E переходило в область положительных значений. Это связано, по видимому, с тем, что возрастала относительная концентрация положительных ионов как легких, так и тяжелых. Ситуация II становится похожей на начальную – (0), однако величины параметров АЭП оказываются выше. Поле E достигает величины $+1500$ В/м.

Ситуация III: $n_1 \sim \downarrow, n_2 \sim \downarrow = E(\uparrow) \rightarrow (n_1 + N_1) > (n_2 + N_2) \rightarrow N_1 \uparrow, N_2 \downarrow$. Поле E начинает постепенно снижаться, оставаясь положительным и достаточно большим. Проводимости, как положительная, так и отрицательная, уменьшают свои величины, которые стремятся принять свои начальные значения.

Ситуация IV: $n_1 \sim \uparrow, n_2 \sim \downarrow = E(\uparrow) \rightarrow (n_1 + N_1) \gg (n_2 + N_2) \rightarrow N_1 \uparrow, N_2 \downarrow$. Поле E остается достаточно большим и положительным, концентрация $n_2 \sim$ понижается, по всей видимости, за счет рекомбинации с положительными легкими ионами, концентрация которых, так же как и тяжелых (N_1), возрастает, достигая насыщения счетчика положительных ионов. Эта ситуация так же повторяет начальную, но при условии, что и поле E , и концен-

трация положительных ионов больше, чем в свободной атмосфере. По-видимому, это может означать, что сухой пар состоит из значительного количества тяжелых положительных ионов. Появление дополнительного положительного заряда от струи с сухим паром приводит к увеличению поля E и $dE/dz = e/\epsilon_0(n_1 - n_2 + N_1 - N_2)$.

Таким образом, появление в атмосфере дополнительного положительного заряда от струи с сухим паром приводит к увеличению АЭП, что позволяет по-новому взглянуть на модель АЭП. Если допустить, что при уменьшении концентрации положительных ионов ($n_1 + N_1$) уменьшатся величина поля E таким образом, что когда концентрация ($n + N_1$) окажется равной невозмущенной концентрации ионов атмосферы, величина E примет невозмущенное значение. Отсюда следует, что АЭП формируется не только и не столько за счет разрядов молний, как это было недавно убедительно показано в [5] но в основном за счет возникновения и разделения зарядов непосредственно в самой атмосфере. Этот вывод подтверждает основную идею принципиально новой модели АЭП [6], основанной на использовании известной модели Френкеля о разделении в поле тяготения электрических зарядов: тяжелых отрицательных и легких положительных [7].

Как отмечалось выше, открытие скважины сопровождается уменьшением отрицательного потенциала (ΔU) примерно на 100–150 мВ ($\Delta U = +100$ мВ): до открытия прибор фиксировал – (300–350) мВ, которые уменьшаются до – 200 мВ. Это означает, что струя пара несет положительный заряд. То, что при открытии скважины в атмосфере генерируется отрицательный заряд, не противоречит этому утверждению, т.к. вероятнее всего отрицательный заряд возникает уже вне скважины при разбрызгивании воды на мелкие капли. При открытии скважины величина $\Delta U = +100$ мВ сохраняется практически постоянной во время проведения эксперимента. При этом, по всей видимости, на выходе из трубы возникает разделение зарядов, что сопровождается возникновением поля $E^* \approx \Delta U/R$, где R – поперечный размер трубы ($R = 0.3$ м), связанного с разделением заряда: $Q = \epsilon_0 R^2 E^* = \epsilon_0 R^3 \Delta U$. Подставляя известные величины, получаем: $dQ = 3 \times 10^{-13}$ Кл. Этот заряд выносится из трубы со скоростью истечения пара $v \approx 100$ м/с, или, иначе, пар объемом $\approx R^3$ выбрасывается в атмосферу за время $t = R/v = 3 \times 10^{-3}$ с, что эквивалентно току $i = dQ/dt = 10^{-10}$ А.

Оценим скорость образования ионов dQ/dt , приняв величину плотности зарядов ПВО [1] $N = 2 \times 10^9$ м⁻³. Воспользуемся равенством: $dN/dt = \alpha N^2$, положим, что $N^+ = N^-$, тогда, зная коэффициент рекомбинации ионов α , можно оценить скорость образования зарядов в атмосфере dN/dt . Подставив в формулу величину элементарного заряда e , получим скорость накопления зарядов: $dQ/dt = eV dN/dt$, где V – объем ПВО ($\sim 5 \times 10^4$ м³, а

$N^2 = 4 \times 10^{18}$ м⁻³). Отсюда величина: $dQ/dt \approx \alpha \times 4 \times 10^4$ Кл/с. Таким образом, если принять скорость рекомбинации $\alpha \approx 2.5 \times 10^{-16}$ (м³ с⁻¹), то $dQ/dt = 10^{-11}$ А. Оказывается, что и вторая оценка дает примерно ту же величину электрического тока (dQ/dt) через срез трубы.

Сравним полученные в работе результаты с данными по изучению особенностей АЭП других авторов [8, 9]. Выясним, имеются ли данные, подтверждающие основной вывод нашей работы, состоящий в том, что сухой пар преимущественно несет положительный заряд, а водный аэрозоль – отрицательный. Обратимся к работе [8], где приведены результаты измерений электрического поля в тумане. Показано, что наличие тумана приводит к уменьшению плотности тока и величины поля, как правило, со сменой знака. Установлено, что в условиях тумана возрастает амплитуда пульсаций АЭП. Туман в значительной степени состоит из водных аэрозолей (по всей видимости, несущих отрицательный заряд). Авторы показали, что турбулентность тумана играет огромную роль в формировании АЭП.

В работе [9] авторы изучали распределение электрических зарядов в вулканическом плюме в момент извержения вулкана Sakurajima 28 и 29 октября 1995. Плюм представлял собой облако, в котором находились частицы пепла различных размеров, водный аэрозоль и пары воды. Измерения проводились в течение двух дней одновременно в пяти различных точках удаленных от жерла вулкана на 3–5 км. Электрические заряды в облаке по высоте были распределены неравномерно: в верхней части облака – положительный, в средней – отрицательный и в нижней – снова положительный. В верхней части вулканического облака присутствует водяной пар и сосредоточен положительный заряд. В средней части облака находятся очень мелкие частицы пепла, которые несут отрицательный заряд, а в нижней – крупные положительно заряженные частицы пепла.

Размер “нашего” облака, как отмечалось выше, $\approx 10^4$ м³, а его заряд $\approx 10^{-5}$ Кл. Сравним этот результат с другими оценками. Как было показано в [2], заряд циклона мог достигать 50000 Кл, если учесть его размер $\approx 100 \times 100 \times 10$ км³ = 10^{14} м³, то объемная плотность электрических зарядов $\approx 5 \times 10^{-10}$ Кл/м³. В работе [9] измерялась величина АЭП в момент извержения вулкана Sakurajima. Авторы оценили величину отрицательного заряда вулканического облака, состоящего из водяного пара и пепла ~ 0.1 Кл. Размер облака составлял (судя по приведенным картинкам), ≈ 1 км³, тогда плотность заряда $\approx 10^{-10}$ Кл/м³. Это сравнение показывает, что наши оценка величины заряда вполне правдоподобны.

Остается выяснить вопрос, в чем состоит причина положительного заряда водяного пара? Как показано в [10], носителем положительного заряда в водяном паре являются водные кластеры H₃O⁺ и

H_3O^+ (ионы гидроксония), которые реально существуют в атмосфере вплоть до высоты 80 км.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На наш взгляд, результаты эксперимента служат подтверждением модели, изложенной в [6] и основанной на использовании модели Френкеля [7] при использовании ее 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, приводит к возрастанию величины поля E . В то время как выброс воды в атмосферу и последующее ее дробление приносят отрицательный заряд, что приводит к уменьшению поля E и даже к изменению его полярности.

Работа выполнена при поддержке гранта по программе фундаментальных исследований Президиума РАН № 16. Часть 3. Проект 19.2 и гранта ДВО РАН, по разделу С07. Авторы благодарят И.И. Черневу за помощь в проведении эксперимента и проф. Б.М. Шевцова за интерес к этой работе и поддержку исследований АЭП на Камчатке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов В.В., Чернева Н.В., Бабаханов И.Ю. Исследование влияния искусственного облака на атмосферное электрическое поле // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43. № 2. С. 266–271.
2. Кузнецов В.В., Чернева Н.В., Дружин Г.И. О влиянии циклонов на атмосферное электрическое поле Камчатки // ДАН. 2007. Т. 412. С. 547–551.
3. Куповых Г.В., Морозов В.Н., Шварц Я.М. Теория электродного эффекта в атмосфере. Таганрог: Изд-во ТРГУ, 1998. 122 с.
4. Чалмерс Дж.А. Атмосферное электричество Л.: Гидрометеиздат, 1974. 421 с.
5. Франк-Каменецкий А.В., Трошичев О.А., Морозов В.Н. и др. Связь приземного электрического поля в высоких широтах с интенсивными молниевыми разрядами облако–Земля, дающими всплески ОНЧ-излучения // Геомагнетизм и аэронавигация. 2006. Т. 46. № 3. С. 402–408.
6. Кузнецов В.В. Введение в физику горячей Земли. Петропавловск-Камчатский: КамГУ, 2008. 367 с.
7. Френкель Я.И. Теория явлений атмосферного электричества. М.: ГИТТЛ, 1949. 155 с.
8. Анисимов С.В., Мареев Е.А., Сорокин А.Е. и др. Электродинамические свойства тумана // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2003. Т. 39. № 1. С. 58–73.
9. Miura N., Koyaguchi T., Tanaka Y. Measurement of electric charge distribution in volcanic plumes at Sakurajima Volcano // Japan. Bull. Volcanol. 2002. V. 64. P. 75–93.
10. Ferguson E.E., Fehsenfeld F.E. Water Vapor Ion Cluster Concentrations in the D-region // J. Geoph. Res. 1969. V.74. №. 24. P. 5743–5751.

Experiments with the Active Impact of Steam Jet on Atmospheric Electric Field

V. V. Kuznetsov, N. V. Cherneva, and I. Yu. Babakhanov

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,
ul. Mirnaya 7, Paratunka, Kamchatskaya oblast, 684034 Russia
e-mail: nina@ikir.kamchatka.ru*

Received February 1, 2007; in final form, March 17, 2009

Abstract—We present the results of experiments dealing with a study of the effect of artificial vapor-water cloud (VWC) on the atmospheric electric field (AEF). The experiments were performed on September 19, 2006, at Kamchatka heat-and-power water field in the region of the operational Mutnovskaya power plant. We had simultaneously measured the AEF intensity (by three sensors), air electroconductivity, the electric potential of drill hole, and the meteorological parameters in the immediate vicinity of geothermal drill holes, which were opened and closed for duration of the observations. It is found that the dependence of the intensity of the electric field on the liquid water content in the vapor–water mixture of the drill hole varies throughout the duration of the VWC persistence. Models are proposed and the results of the experiment are discussed.