

Методические аспекты моделирования влияния электрического поля Земли на атмосферные процессы

Д.В. Булгин, e-mail: d.bulgin77@yandex.ru

Е.А. Шмырев

С.Ю. Суворов

Военный учебный научный центр Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского
и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)»

***Аннотация.** В работе предлагается модель оценки влияния электрического состояния атмосферы на развитие мезомасштабных атмосферных процессов, в частности на интенсивность осадков и видимость в них.*

***Ключевые слова:** напряженность электрического поля Земли, интенсивность осадков, видимость в дожде.*

Введение

К метеорологическим явлениям, связанным с атмосферным электричеством, особый интерес возник еще в XVIII веке. Факт существования электрических токов, биотоков в биосфере, токов проводимости в атмосфере и земных токов в геосфере является свидетельством исключительно важной роли электрических сил в развитии процессов органического и неорганического мира нашей планеты.

Целью работы является исследование влияния электрического состояния атмосферы на развитие мезомасштабных атмосферных процессов для повышения эффективности метеорологического обеспечения ВС РФ.

1. Разработка модели

Известно, что электрические характеристики атмосферы Земли (напряженность электрического поля, электропроводность и т.д.) в сильной степени зависят от концентрации свободных носителей заряда – ионов и их подвижности. А количество последних и скорость их перемещения в атмосфере связаны с метеорологическими параметрами.

Для установления связи между метеорологическими параметрами и напряженностью электрического поля Земли были проанализированы

данных архивных наблюдений, проводимых на геофизической станции Борок Ярославской области.

Предварительный анализ архивной выборки показал, что напряженность электрического поля обнаруживает правильные суточные колебания, представленные на рис. 1 и имеет характер двойной волны с двумя максимумами и двумя минимумами.

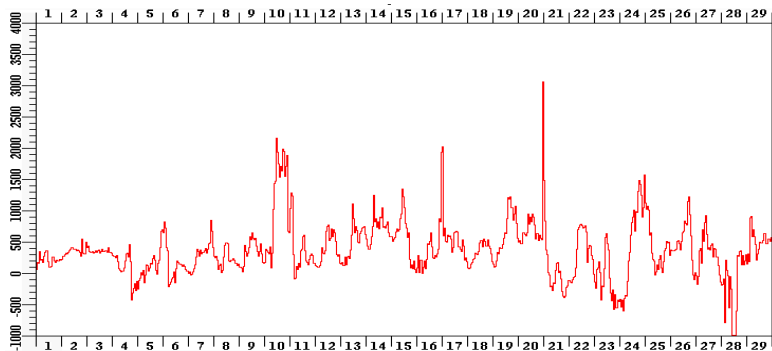


Рис. 1. Суточные колебания напряженности электрического поля Земли

В связи с этим, был проведен анализ изменчивости напряженности электрического поля в зависимости от влажности воздуха, скорости ветра и температуры. Результаты показаны в таблице ниже.

Таблица

Изменчивость напряженности электрического поля в зависимости от влажности воздуха, скорости ветра и температуры

Скорость ветра V , м/с	Среднее значение E , В/м	Градации влажности, %	Среднее значение E , В/м	Градации температуры	Среднее значение E , В/м
0-1	220	60,6-64,9	206	-25,34-22,21	260
2-3	368	64,9-69,2	426	-22,21-19,08	274
4-5	396	69,2-73,5	347	-19,08-15,95	360
6-7	449	73,5-77,8	498	-15,95-12,82	378
7-8	493	77,8 - 82,1	454	-12,82-9,69	440
8-9	532	82,1 - 86,4	560	-9,69-6,56	484
9-10	578	86,4 - 90,7	636	-6,56-3,43	440

Анализ показывает, что с увеличением влажности воздуха, скорости ветра и температуры возрастает и напряжённость. Таким образом, прослеживается устойчивая связь между напряжённостью электрического поля и основными метеорологическими параметрами.

Рассмотрим математическую модель движения сферической аэрозольной частицы, учитывая следующие параметры (r – радиус частицы, m – масса частицы, q – заряд аэрозольной частицы). Предположим, что заряд и масса частицы за время наблюдения остаются неизменными. На частицу, находящуюся в воздухе действуют следующие силы:

– сила тяжести, направленная вниз:

$$F_0 = mg, \quad (1)$$

– сила аэродинамического сопротивления, направленная вверх:

$$F_s = 6\pi r\eta(V - V_k), \quad (2)$$

– η – динамический коэффициент вязкости воздуха;

– V – скорость воздуха;

– V_k – скорость частицы.

Если частица находится в электрическом поле, то на нее так же действуют:

– электрическая сила, которая направлена вниз и обусловленная наличием заряда q :

$$F_E = qE, \quad (3)$$

– поляризационная сила, обусловленная наличием градиента E , которая втягивает частицу в область максимального градиента электрического поля:

$$F_{\nabla E} = \frac{4}{3}\pi r^3 \frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{4\pi} E \cdot \text{grad} E, \quad (4)$$

Под действием этих сил, согласно второму закону Ньютона, частица с массой:

$$m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_k, \quad (5)$$

движется с ускорением:

$$a = \frac{dV_k}{dt}, \quad (6)$$

Формула движения частицы в полном виде выглядит следующим образом:

$$m \frac{dV}{dt} = 6\pi k \eta r (U - V) + mg + qE + \frac{4}{3} \pi r^3 \frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{4\pi} E \cdot \text{grad} E, \quad (7)$$

- ε - диэлектрическая проницаемость жидкого аэрозоля;
- ε_0 - диэлектрическая проницаемость воздуха.

Решение этого дифференциального уравнения для установившегося движения имеет вид:

$$V = \frac{1}{6\pi r k \mu} \left(-\frac{4}{3} \pi r^3 \rho_r g + qE + \frac{4}{3} \pi r^3 \frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{4\pi} E \cdot \text{grad} E \right), \quad (8)$$

Теперь рассчитаем скорость капли в осадках разной интенсивности (слабые осадки $r=150$ мкм, средние осадки $r=700$ мкм, сильные осадки $r=2$ мм) с учетом электрического поля и без него, сравним их и выясним, как градиент напряжённости влияет на изменение скорости. Результаты показаны на рис. 2.

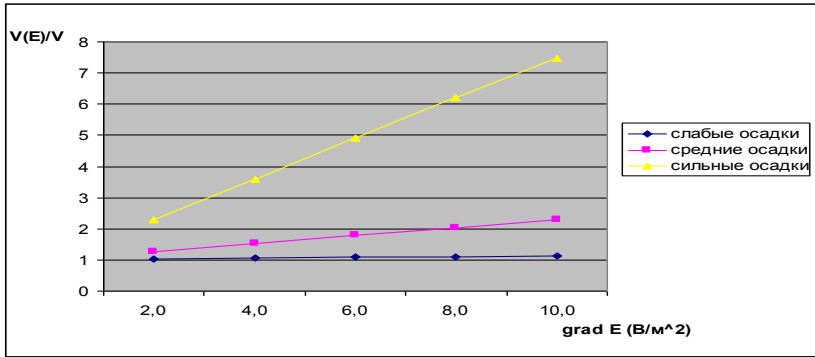


Рис. 2. Влияние градиента напряжённости на изменение скорости

Как видим, при наличии градиента напряженности скорость частиц значительно увеличивается.

Зная, скорость падения капель можно, определить интенсивность осадков по формуле:

$$I = \frac{4}{3} \pi \rho N_0 \int_{r_{min}}^{r_{max}} r^3 V(r) dr, \quad (9)$$

И рассчитать зависимость интенсивности от напряженности электрического поля. Результаты расчетов представлены на рис. 3.

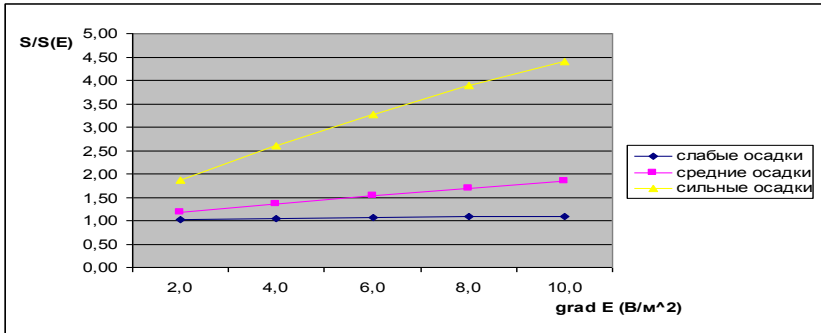


Рис. 3. Зависимость интенсивности осадков от напряженности электрического поля

Как видим, при наличии градиента напряженности интенсивность осадков значительно увеличивается.

Через интенсивность осадков можно определить видимость в них по формуле:

$$S = 14 I^{-0.74}, \quad (10)$$

После чего найти зависимость видимости от напряженности электрического поля, представленную на рис. 4.

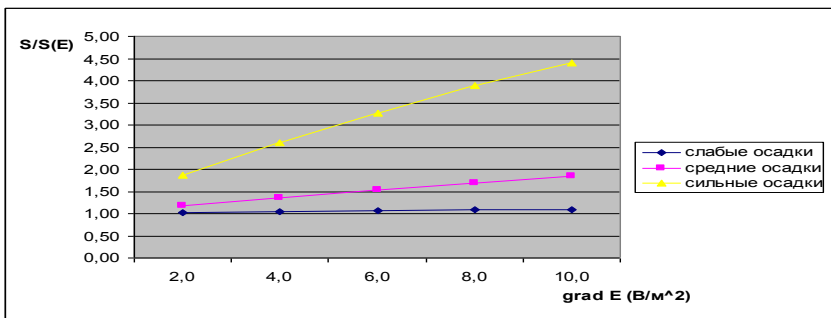


Рис. 4. Зависимость видимости в осадках от напряженности электрического поля

Из рисунка видно, что видимость в осадках в присутствии электрического поля при намного меньше и при увеличении градиента напряженности уменьшается в несколько раз

Заключение

Таким образом, в ходе проделанной работы были получены следующие результаты:

1. Выявлено, что в атмосфере существует электрическое поле, которое оказывает влияние на метеопроцессы.

2. Показано, что электрическое поле атмосферы формируется различными источниками как космического, так и земного происхождения. Его изменчивость связана с метеорологическими процессами, протекающими в атмосфере Земли.

3. Представлена характеристика электрического поля Земли. Анализ архивных материалов показал, что напряженность электрического поля обнаруживает правильные суточные колебания.

4. Установлена связь между напряженностью электрического поля Земли и метеорологическими параметрами.

При оценке полученных результатов можно сделать вывод о том, что термодинамическое равновесие атмосферы находится в сильной зависимости от ее электрического состояния, а именно от скорости поступления в нее ионов, т. е. от величины атмосферного тока проводимости.

Литература

1. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. М.: Сов. Радио, 1960. с. 27.

2. Билетов М.В., Кузнецов И.Е., Климчук С.В. Модель радиолокационной оценки электрической активности метеорологических объектов в атмосфере. / Сб. науч. ст. по материалам Международной НТК «Проблемы техносферной безопасности». Воронеж, ВГТУ, 2015. С. 115-116.

3. Билетов М.В., Кузнецов И.Е., Климчук С.В., Гедзенко Д.В. Радиолокационная модель электрических характеристик метеорологических объектов в атмосфере. / Сб. науч. ст. по материалам Всероссийской НТК «Академические Жуковские Чтения». Воронеж, 2015. С. 56-62.