

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНТАКТНОЙ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ОБЛАЧНОЙ СРЕДЫ

¹Варамашвили Н.Д., ²Мирицхулава М.Д., ³Трофименко Л.Т.,

¹Чабришвили Н.Г.

¹Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им.
И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, ldvarama@gmail.com

²Общественный колледж «Мермиси»

³ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации—
Мировой центр данных»

Исследовать процессы электризации облаков в природных условиях сложно из-за трудной доступности, недостаточной идентичности исследуемых объектов, малой повторяемости и невозпроизводимости условий эксперимента. Опыт теоретического и экспериментального исследования в области атмосферного электричества подтверждает сложности теоретических и полевых экспериментов для поставленной задачи.

Указанные трудности могут быть в значительной мере преодолены при использовании метода лабораторного моделирования. Моделирование природных процессов позволяет получать ряд необходимых сведений в контролируемых и воспроизводимых условиях с меньшими материальными затратами и при сокращении продолжительности цикла исследований и объема натуральных экспериментов. Поэтому лабораторное моделирование достаточно широко применяется в исследованиях по физике облаков и туманов.

Разнообразие установок для изучения различных элементарных процессов электризации достаточно велико. Они создавались обычно для решения конкретных задач. Исследователи атмосферного электричества в течение многих лет в лабораторных условиях пытались получить числовые значения коэффициентов, определяющих элементарные взаимодействия, таких, как коэффициент столкновения, коэффициент слияния, величины передаваемого заряда – параметры контактной электризации частиц; коэффициенты диффузии и захвата ионов – параметры ионной диффузионной зарядки облачных частиц.

Экспериментальные работы по исследованию столкновений аэрозольных жидких частиц сводились к изучению вопроса о захвате капель и их слиянии при соударении. При анализе результатов этих работ, в частности того, что в них коэффициент коагуляции меньше теоретически рассчитанного, заставил некоторых авторов искать причину расхождения. Авторы пришли к выводу о том, что причина расхождения состоит в том, что столкновение двух свободно падающих частиц может закончиться не только коагуляцией, но и отскоком их друг от друга. Идея о возможности отскока столкнувшихся жидких частиц и возможности заряжения за счет разрыва временного контакта выдвинута Имянитовым.

В этом исследовании изучались как коллективные эффекты процессов электризации (общий заряд, возникающий в камере), так и спектры зарядов и размеров взаимодействующих частиц. Такой метод позволяет провести необходимые осреднения не в сопоставлении различных опытов, а в едином опыте, в котором сам эксперимент обеспечивает разумным образом то

осреднение процессов элементарного взаимодействия, которое необходимо для переноса результатов эксперимента на реальное облако.

Требования к камере для проведения экспериментов по исследованию контактной электризации

Для того, чтобы обеспечить воспроизводимость опытов, необходимо, чтобы камера могла сохранять заданный режим работы по температуре, влажности, микрофизическим и электрическим свойствам тумана в течение всего хода эксперимента. Необходимо, чтобы спектры размеров частиц тумана в каждом опыте принадлежали генеральной совокупности, полученной по всем опытам на данном режиме работы камеры. Для контроля вышеизложенных требований камера должна быть оснащена контрольной измерительной аппаратурой, позволяющей контролировать вертикальный профиль температуры, режим генерации тумана, влажность тумана, распределение тумана по камере, микрофизические характеристики тумана.

Вся аппаратура, установленная в камере, должна минимально искажать электрические поля, вызванные объемным зарядом аэрозоля.

Основные задачи лабораторных исследований

Основной задачей лабораторных исследований является выявление характерных механизмов электризации облачных частиц, оценки параметров, характеризующих электризацию облачных частиц и поиск путей управления элементарной электризацией.

В настоящей работе приводится обзор результатов опытов, проведенных по электризации искусственного жидко-капельного тумана в термобарокамере Института геофизики АН Грузии. В ряде экспериментов непосредственное участие принимал А.И. Карцивадзе.

Здесь выполнялись следующие исследования:

1. Определение фоновых электрических и микрофизических характеристик тумана в камере и их естественных временных вариаций;
2. Определение фоновых характеристик реагента, введенного в камеру при отсутствии тумана, и их временных изменений;
3. Определение изменений электрических характеристик тумана при введении в него различного количества реагентов того или иного вида.

Для оценки электрического состояния тумана и его изменения при различных воздействиях необходимо, чтобы измерялись: спектр размеров частиц тумана и реагента, концентрация частиц тумана, влажность тумана, напряженность электрического поля в тумане и спектр зарядов частиц тумана и реагента. Кроме того, необходимы эксперименты с исследованием процессов контактирования и передачи заряда отдельными частицами.

Схема оборудования камеры для проведения экспериментов

Термобарокамера (ТБК) представляет собой вертикальный цилиндр с коническими днищами общей ~ 17 м (высота цилиндрической части ~ 13 м), диаметром ~ 4.6 м и общим объемом ~ 240 м³. Разрез камеры и схема размещения оборудования в ней представлены на рис. 1.

Туман в камере создавался путем парения. Пар пускался в камеру с 3 уровнями. Пар подавался в камеру горячим, быстро охлаждался и заполнял всю камеру. В камере можно было получить охлаждение до -40°C , но в наших опытах использовалось охлаждение до -20°C .

Камера была оборудована четырьмя приборами для измерения напряженности электрического поля (ПНП), расположенными у нижнего основания цилиндрической части камеры, а также – боковой поверхности камеры на высотах 2.5, 6.0 и 9.5 м.

Прибор для измерения зарядов капель (ПЗК) располагался у нижнего основания камеры так, чтобы его заборная и регистрирующая части возвышались над плоскостью основания камеры на 30 см. Примерно на расстоянии одного метра от этой высокой части ПЗК располагался датчик нижнего прибора напряженности электрического поля, так что искажающее действие ПЗК было сведено к минимуму и не превышало пределов точности прибора ПНП.

Пробы микроструктуры и водности брались с трех уровней, соответствующим уровням расположения ПНП, через специальные отверстия в стенке камеры.

В самом верху камеры были расположены две трубы, через которые с потоком сжатого воздуха можно было подавать реагент, засыпанный в небольшие бункеры, которыми были снабжены трубы впуска реагента. Часть трубы с бункером была изолирована от Земли с помощью фторопластовых прокладок и соединена с Землей проводом, в который был включен микроамперметр. По измеряемому току можно было судить о зарядении реагента при пуске его в камеру.

Из электрических характеристик искусственного облака в термобарокамере (ТБК) измерялись:

- 1) напряженность электрического поля (Е), по значению которой можно было судить об объемном заряде в камере;
- 2) ток со сбрасывающего устройства (СУ), по которому можно было судить о суммарном заряде введенного в камеру аэрозоля;
- 3) спектр зарядов и размеров частиц аэрозольного облака в ТБК.

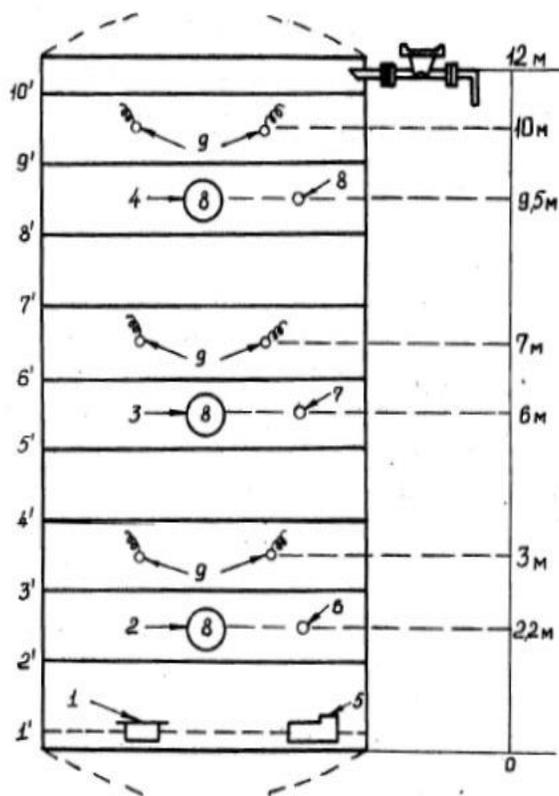


Рис.1

Схема размещения оборудования в термобарокамере (приборы ПНП - 1,6,7,8, прибор ПЗК - 5, люки для забора проб облачных частиц - 8, приборы «Диво-А» - 9.

Измерение напряженности электрических полей

Электрические поля в ТБК измерялись при помощи приборов для измерения напряженности поля ПНП. Он состоял из датчика (электростатического генератора тока (ЭГТ)), находящегося непосредственно внутри камеры и вторичного преобразователя, находящегося за камерой, диапазон измерений которого 0.1 – 2500 В/см. В результате градуировки выяснилось, что погрешность прибора составляет не более 20%.

Измерение токов со сбрасывающего устройства

Измерение токов со сбрасывающего устройства производилось с целью определения заряда, введенного в камеру аэрозоля. При обработке результатов интегрировались токи за время пуска и определялся заряд, соответствующий заряду введенного в камеру аэрозоля. Погрешность измерения не превосходила 30%. Сравнения зарядов, измеренных описанным способом, с зарядами, определенными по измерениям напряженности электрического поля, показали совпадение результатов в пределах указанной погрешности.

Измерение зарядов частиц тумана

Измерение зарядов частиц производилось с помощью прибора ПЗК. Принцип действия прибора основан на фотографировании треков аэрозольных частиц в электрическом поле. Прибор позволял определить по скорости падения ее стоковский радиус, а по углу отклонения траекторий заряженной частицы в электрическом поле – ее заряд. Диапазон измерения радиусов аэрозольных частиц 2 – 50 мкм, зарядов 1 - 10⁵ элементарных зарядов. Погрешность определения изменялась в зависимости от размера частиц. Для спектра размеров частиц, встречающихся в наших опытах, она не превышала 20%.

Методика проведения эксперимента

При подготовке к измерениям проверялась работоспособность всей аппаратуры и проводилась ее градуировка согласно инструкциям по эксплуатации каждого применяемого средства измерений. Измерялась напряженность электричество поля и оценивалась величина объемного заряда в камере в отсутствие тумана (в течение 10 минут перед началом опытов). Вся измерительная аппаратура испытывалась на помехозащищенность, для чего при ее работе постепенно по очереди включалась вся аппаратура обслуживания камеры.

Основной задачей эксперимента было моделирование контактного механизма электризации облачных частиц. Для этого в камеру, заполненную туманом с исследованными заранее микрофизическими (спектры размеров и зарядов частиц) и электрическими (объемный заряд или напряженность электрического поля в камере) параметрами вводились частицы другого вещества в аэрозольном состоянии с заранее исследованными параметрами. Размеры вводимых частиц выбирались таким образом, чтобы спектры размеров частиц тумана и аэрозоля не перекрывались. Например, если средний размер частиц тумана ~7 – 10 мкм, то средний радиус введенных в него частиц выбирался ~40 – 50 мкм. Такое соотношение размеров обеспечивало возможность прохождения крупных частиц сквозь среду более мелких частиц и контактирование частиц аэрозоля с частицами тумана с последующим разделением в пространстве заряда, возникающего на частицах при разрыве контакта. Тяжелые частицы за время ~7 – 10 мин. выпадали на дно камеры, а туман существовал в камере без подпитки паром ~30 – 40 мин.

Все остальные механизмы электризации в условиях проведения опытов практически исключались. Начальное заряджение частиц тумана и введенного аэрозоля должно было быть минимальным, а так как было установлено, что оно зависит от режима пуска, то последний подбирался таким образом, чтобы начальные фоновые заряджения тумана и порошка были наименьшими.

Как сказано выше, в течение опыта заряды и размеры частиц измерялись с помощью ПЗК, общий объемный заряд в камере – с помощью системы ПНП, влажность – приборами ДИВО.

Если спектры размеров и зарядов частиц тумана, а также его общий объемный заряд после прохождения сквозь туман тяжелых аэрозольных частиц окажутся теми же, что и в фоновых опытах, то это будет свидетельствовать о том, что взаимодействие между частицами радиусов R и r отсутствовало. О наличии столкновений, закончившихся отскоком, должно было свидетельствовать изменение зарядов частиц при сохранении спектра размеров. О коагуляции можно было судить по изменению спектра размеров частиц тумана. Таким образом, признаком реализации столкновений, отскоков и заряжения частиц тумана после прохождения через него частиц другого сорта являлась трансформация спектров r и q частиц. Интегральной характеристикой являлся объемный заряд в камере и его изменения по высоте камеры и во времени.

Для обеспечения вышеприведенной схемы опытов проводились исследования:

- 1) микрофизических параметров (размеры, заряды) частиц тумана (фоновый туман) и воспроизводимости этих параметров при повторении опытов в одинаковых условиях;
- 2) микрофизических параметров частиц введенного аэрозольного облака;
- 3) микрофизических параметров частиц тумана, на который проведено воздействие частицами другого сорта;
- 4) объемных зарядов (или напряженности электрического поля) в камере, заполненной туманом, при введении порошка в камеру без тумана и при введении порошка в камеру, заполненную туманом.

При проведении эксперимента все приборы (за исключением ПЗК) включались в работу до пуска пара в камеру (за 3-5 мин.). Прибор ПЗК включался через 2-3 минуты после начала пуска пара. Приборы ПНП, ПЗК, ДИВО – работали непрерывно в течение всего эксперимента.

При подаче пара в камеру влажность на уровне верхнего датчика ДИВО во всех экспериментах приблизительно была равна $5 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$. Опыты проводились в диапазоне температур от $+10$ до -20°C . Пуск пара прекращался в момент достижения на уровне верхнего датчика «ДИВО» влажности $5 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$. После прекращения пуска пара измерения электрических и микрофизических характеристик тумана проводились в течение 30 минут.

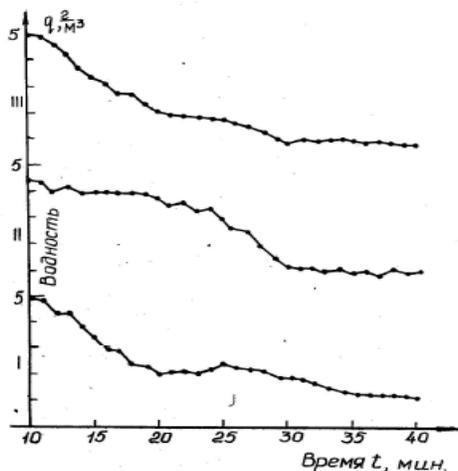


Рис.2

Изменение влажности во времени на трех различных уровнях ТБК

Проведение измерений характеристик тумана в камере при вводе в него реагента

Проводился медленный пуск пара в камеру, пока на верхнем датчике «ДИВО» наблюдалась влажность $5 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$. Во время выравнивания тумана во всем объеме камеры, проводилась регистрация электрических и микрофизических характеристик тумана. Во время введения реагента в камеру

регистрировался ток со сбрасывающего устройства. После введения в камеру реагента измерения проводились в течение $\sim 20 - 30$ мин.

Проведение измерений характеристик переохлажденного тумана при воздействии на него льдообразующим реагентом

Камера выводилась на температурный режим -10°C . Проводился ввод кристаллизующего реагента в верхнюю часть камеры (в отсутствии тумана). Во время ввода реагента проводились измерения напряженности электрического поля в камере. В камере создавался туман парения и проводились измерения фоновых электрических и микрофизических характеристик переохлажденного тумана. В камеру вводился аэрозоль кристаллизующего реагента и в проходящем свете проводились визуальные наблюдения процесса кристаллизации переохлажденного тумана. Одновременно с этим проводились измерения электрических и микрофизических характеристик тумана.

Проведение опытов по вводу в туман жидкого аэрозоля с разными физико-химическими свойствами

К средствам измерений в этом случае прибавлялся РН – метр и прибор для измерения электропроводности раствора. В камере создавался туман с водностью на уровне верхнего датчика «ДИВО» $\sim 5 \text{ г} \cdot \text{см}^3$ при $t \geq 0^\circ\text{C}$. После стабилизации тумана в него вводился жидкий аэрозоль. Проводились стандартные измерения.

Исследование фоновой электризации тумана в камере

Важным условием корректности опытов по изучению электризации тумана являлся контроль начального или фонового объемного заряда тумана и зарядов составляющих его капелек. Необходимо было, чтобы начальный заряд тумана и особенно его случайные изменения были существенно меньше зарядов, образующихся при контактной электризации, т.е. после прохождения через туман реагента.

Как показала практика, на начальный заряд тумана наиболее сильно влиял режим пуска пара. Экспериментально было установлено, что меньшей скорости заполнения камеры туманом соответствует меньший заряд тумана. Характерные изменения напряженности электрического поля, создаваемого в камере облаком тумана, приведены на рис.3.

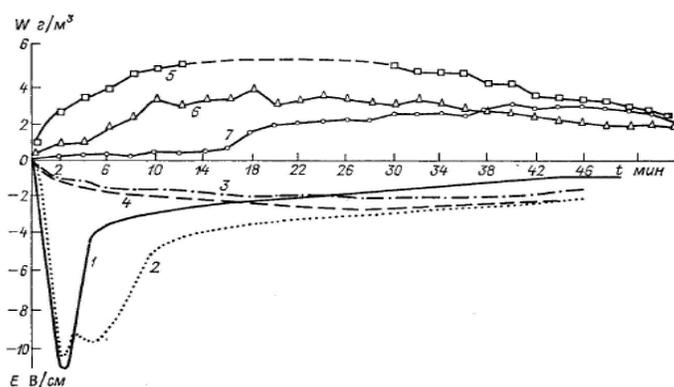


Рис.3

Характерные изменения напряженности электрического поля (E) и водности тумана (W) в ТБК. 1, 5 - E_3 и W_3 на верхнем уровне ТБК; 2, 6 - E_2, W_2 на среднем уровне ТБК; 3, 7 - E_1 и W_1 на нижнем уровне ТБК; 4 - E_n у нижнего основания ТБК

Несмотря на довольно значительный разброс результатов фоновых опытов, удалось сделать их обобщение и построить среднюю кривую изменения электрического поля тумана в камере в период накачки пара и в период его диссипации (рис.4).

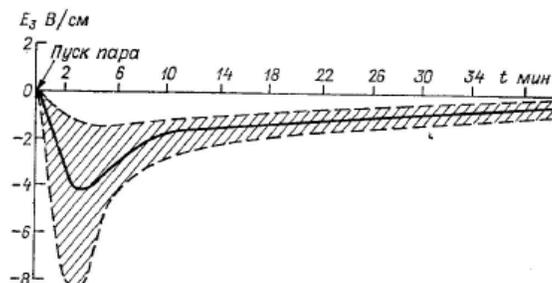


Рис. 4

Осредненное по времени изменение напряженности электрического поля тумана в камере на уровне верхнего датчика ПНП (E_3).

Приведем следующие выводы относительно интегральных фоновых электрических характеристик тумана в камере:

- заряджение тумана происходило только во время его генерации, т.е. во время пуска пара в камеру, в течение опыта туман не подзаряжался;
- туман распределялся по камере неравномерно, лишь на 20-й минуте после окончания пуска пара характеристики тумана становились близкими на всех уровнях;
- характер изменения напряженности электрического поля тумана во времени во всех опытах подобен и зависит только от условий пуска пара.

Исследование фоновых электрических характеристик электризующего аэрозоля

Необходимо, чтобы частицы вводимого аэрозоля были крупнее и тяжелее частиц среды и могли проходить сквозь туман. Вводимый аэрозоль должен быть монодисперсным, так как при наличии в нем мелкой фракции, сравнимой с частицами тумана, эффект контактной электризации выявить трудно из-за смешивания двух недостаточно стабильных фонов.

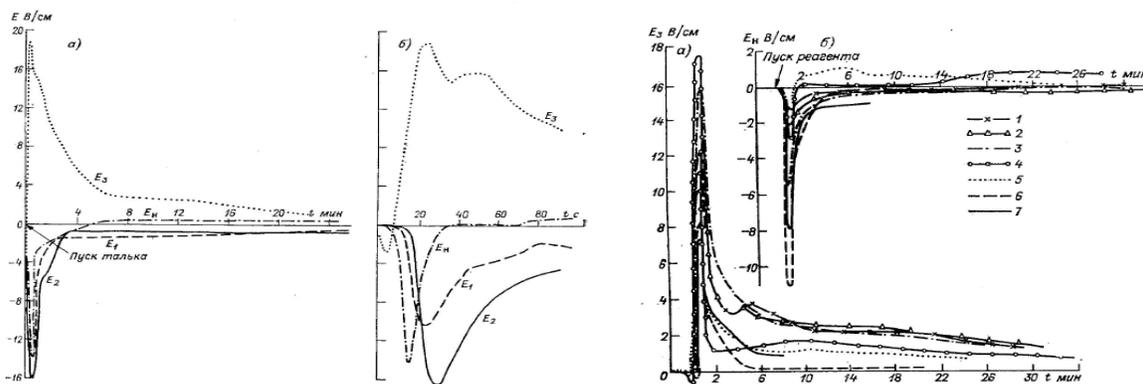


Рис.4 (слева)

Изменение напряженности электрического поля, создаваемого в ТБК облаком талька (а). Прохождение тяжелой фракции талька, представленное в другом временном масштабе (б).

Рис.5 (справа)

Изменение напряженности электрического поля, создаваемого в ТБК облаком талька в семи фоновых опытах (1-7), а – датчик E_3 , б – датчик E_N .

Еще одним требованием к реагенту является его гидрофобность. Естественно если частицы обводняются, то контакты будут происходить между двумя водными поверхностями, что снижает величину разности электрохимических потенциалов между частицами, уменьшая эффект их контактного заряжения. Для более эффективного проявления контактной электризации желательно, чтобы реагент был диэлектриком.

Были исследованы следующие порошки: тальк ($\bar{R} \sim 30$ мкм, $\sigma \sim 20$ мкм, гидрофобен, диэлектрик), корунд ($\bar{R} \sim 40$ мкм, $\sigma \sim 20$ мкм, гидрофобен, диэлектрик), бариевое стекло ($\bar{R} \sim 15$ мкм, $\sigma \sim 12$ мкм, гидрофобен, диэлектрик), микрокапсулированная мочевиная ($\bar{R} \sim 20$ мкм, $\sigma \sim 5$ мкм, гидрофобен, диэлектрик).

На рис. 6 – 8 представлены результаты измерений напряженности электрического поля при распылении в сухой чистой камере различных порошков.

Анализ всех опытов по изучению фоновой электризации талька привел к следующим выводам.

Облако талька двухзарядное. Заряжение происходит только во время распыления талька в камере.

Тяжелая фракция заряжена преимущественно отрицательно. Можно считать, что именно эта часть талька является электризующим реагентом.

Легкая фракция талька, заряженная преимущественно положительно, зависит преимущественно в верхней части камеры и медленно оседает в основном на стенки. Можно считать, что мелкая часть реагента является в эксперименте пассивной дополнительной помехой.

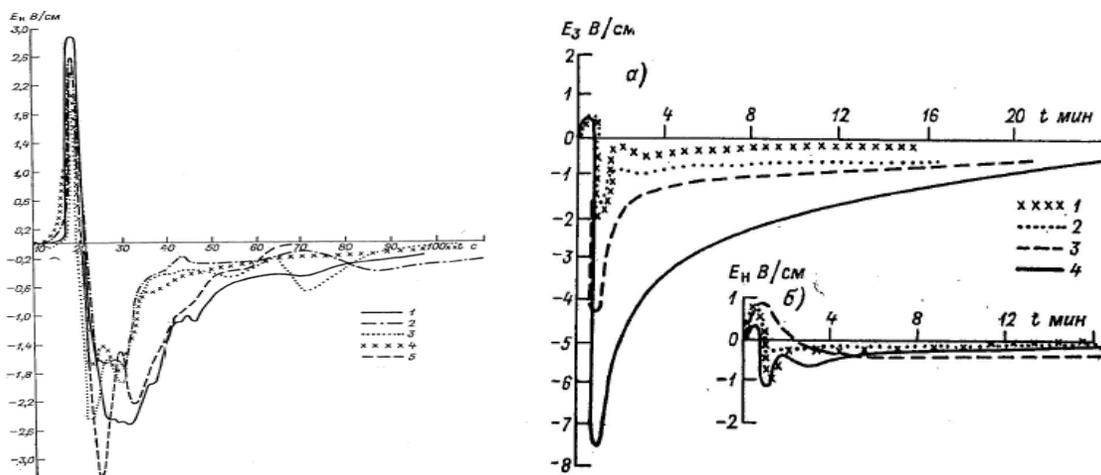


Рис.6 (слева)

Характер изменения во времени вертикальной составляющей напряженности электрического поля (E_H) облака корунда в пяти фоновых опытах (1-5).

Рис.7 (справа)

Изменение напряженности электрического поля, наблюдаемое в камере при распылении 200см^3 бариевого стекла на уровне E_3 (а) и уровне E_H (б) в четырех опытах (1-4).

На рис.6 представлены результаты измерений фоновой электризации корунда, измеренной нижним датчиком ПНП в пяти фоновых опытах. Видно, что общий характер поведения облака корунда, введенного в камеру, сохраняется, хотя амплитуды, как и в случае с тальком, изменяются в пределах от 1 до 1.5 В/см. Микрофизические параметры корунда определить не удалось, так как в ПЗК частицы корунда практически не попадают.

При введении порошка бариевого стекла в камеру проходит положительно заряженная тяжелая фракция и отрицательно заряженная более легкая фракция. Амплитуды напряженности

электрического поля на уровне верхнего датчика различаются от опыта к опыту до 5 В/см, остаточный фон мелкой фракции на уровне верхнего датчика создавал поле напряженностью от -1 до 1.5 В/см. На рис.7 представлено несколько измерений верхним датчиком E_3 и нижним датчиком E_H в фоновых опытах с бариевым стеклом. Виден довольно большой разброс данных.

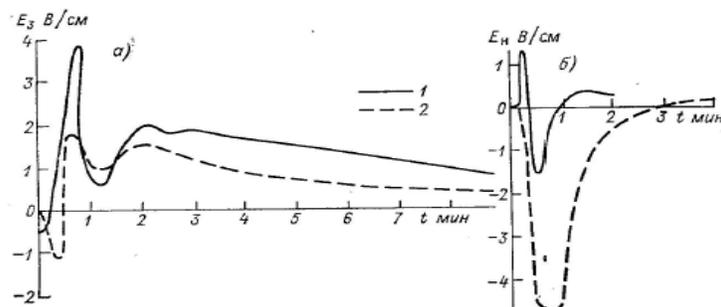


Рис.8

Изменение во времени напряженности электрического поля, зафиксированные датчиками E_3 (а) и E_H (б) в двух фоновых опытах с микрокапсулированной мочевиной (1-2).

Облако микрокапсулированной мочевины оказалось также двухзарядным. Пример измерения электризации мочевины и изменения ее во времени по данным двух опытов приведен на рис. 8.

Из приведенного материала видно, что в любом опыте по электризации частиц приходится иметь дело с фоновой электризацией, представляющей шум, на фоне которого надо выделить полезный сигнал. Поэтому перед началом серии опытов по воздействию на туман необходимо проверить фоновые электрические характеристики реагента.

Электризация искусственного тумана при воздействии на него электризующими порошками

Рассмотрим результаты воздействия на туман тальком (рис.9), так как они представлены самым большим числом опытов. Из сравнения рис.5 с рис.9 можно легко заметить, что электризация талька проходит аналогично, как при сбросе талька в пустую камеру, так и при сбросе его в туман. На рис.9 видно и прохождение тяжелой отрицательной части талька и зависание легкой положительной, таких же, как и в фоновом опыте, но на 16-ой минуте вместо дальнейшего уменьшения положительной напряженности электрического поля (датчик E_3) до уровня фона тумана во всех опытах наблюдается увеличение напряженности электрического поля. Это свидетельствует о том, что после оседания порошка в камере появляется дополнительный положительный объемный заряд, который является результатом взаимодействия частиц талька и тумана.

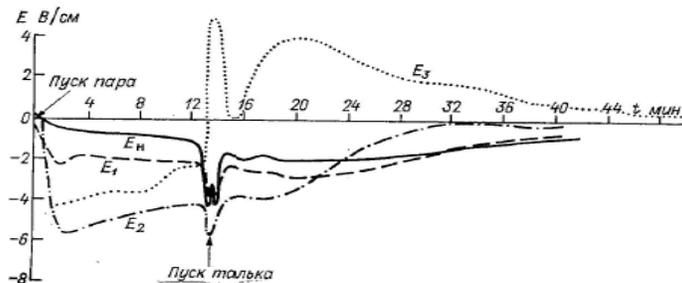


Рис.9

Характерное изменение во времени напряженности электрического поля тумана при введении в него частиц талька.

Для оценки экспериментальных результатов по воздействию на туман тальком во всех опытах и по всем датчикам напряженности электрического поля тумана была проведена экстраполяция от момента ввода электризующего аэрозоля до конца опыта. Так как ход кривой напряженности фонового электрического поля тумана хорошо изучен, то ошибка этой экстраполяции не превышает естественного разброса в изменении электрического поля в различных опытах. На рис.10 приведены кривые $\Delta E(t) \pm 3\sigma$, где E – осредненный по всем опытам параметр $\Delta E = E - E_{тум}$. Изменение параметра ΔE (кривая 1) не аналогично изменению напряженности электрического поля фона талька E (кривая 2). Это свидетельствует о том, что в камере появился дополнительный объемный заряд, вызванный взаимодействием частиц талька с частицами тумана.

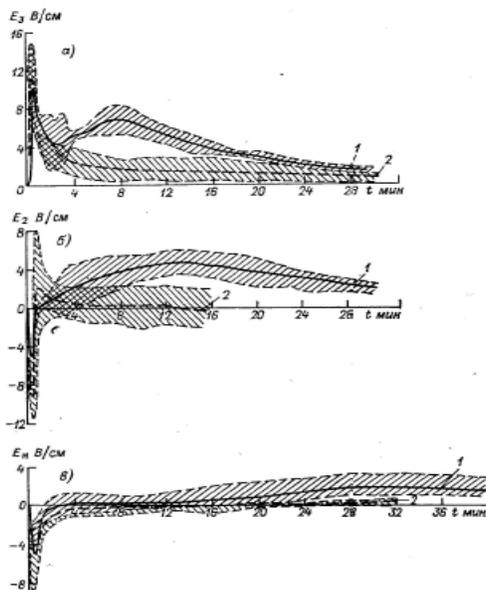


Рис.10

Изменение параметра ΔE (1) и напряженности поля, создаваемое облаком талька (2).
а- верхний уровень измерений, б- средний, в- нижний. Заштрихованная область соответствует допуску $\pm 3\sigma$.

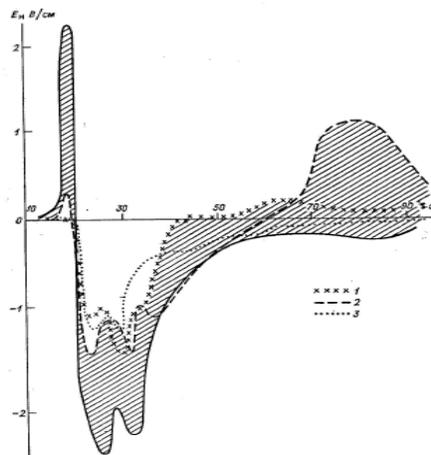


Рис.11

Изменения напряженности электрического поля тумана после прохождения сквозь него 200 см^3 корунда в трех опытах (1 – 3), 4 – фоновая электризация облака корунда.
Заштрихованная область отражает электризацию тумана.

На рис.11 представлены для сравнения средняя кривая, характеризующая электризацию корунда при распыливании, полученная по результатам восьми фоновых опытов, и кривые напряженности электрического поля, зарегистрированные нижним датчиком (E_H) во время трех опытов при прохождении корунда сквозь туман. Видно, что положительная электризация корунда уменьшается на 2-2.5 В/см, а отрицательная на 1 В/см. Надо полагать, что и тот и другой заряды передачи переданы частицам тумана.

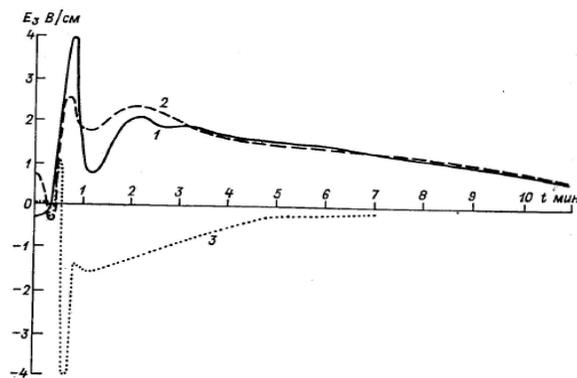


Рис.12

Изменение напряженности электрического поля облака микрокапсулированной мочевины в двух фоновых опытах. (1 – 2) изменение напряженности электрического поля тумана после прохождения через него частиц микрокапсулированной мочевины за вычетом фона тумана (3).

На рис.12 представлены результаты воздействия на туман 200 см^3 микрокапсулированной мочевины (за вычетом фона тумана). Как и ранее, если бы не было подзарядки тумана, то кривые 1 и 2 совпали. Расхождение кривых показывает дополнительную электризацию тумана.

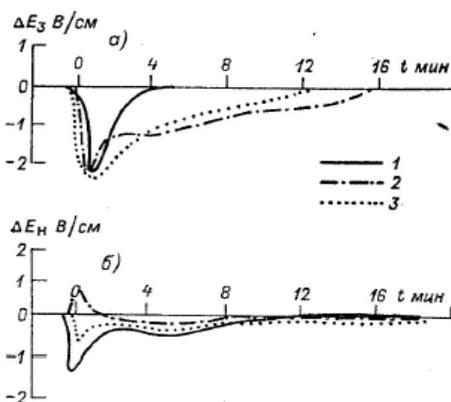


Рис.13

Изменение во времени характеристики ΔE , измеренной датчиками, E_3 (а) и E_H (б), при прохождении сквозь туман частиц бариевого стекла в трех опытах (1 – 3).

За счет контактирования с частицами бариевого стекла туман подзарядается отрицательно (рис.13). В связи с тем, что бариевое стекло имеет очень большую мелкодисперсную фракцию, которая зависит и оседает в камере вместе с туманом, эффект подзарядки тумана обнаруживался с трудом. Тем не менее, отрицательная подзарядка тумана просматривалась при сравнении фоновых кривых с кривыми хода напряженности электрического поля тумана после прохождения сквозь него тяжелой фракции частиц бариевого стекла.

Обобщенные сведения о результатах опытов по изменению электризации тумана за счет введения в него грубодисперсных аэрозолей приведены в табл.1.

Табл. 1

Обобщенные сведения об электризующих свойствах аэрозолей

Вещество	V см ³	$\overline{\Delta E}$ (В/см)	\overline{K}	$\overline{\nu}$	$f_{отс}$
Тальк	200	5	10	0,1	0,6
Корунд	200	1	—	—	—
Микрокапсулированная мочеви́на	200	—3	4—5	0,04	0,2
Бариево стекло	200	—1	4	0,02	0,1

Примечание. V – общий объем введенного аэрозоля, ΔE – среднее изменение напряженности электрического поля после прохождения через него частиц электризующего аэрозоля, \overline{K} – коэффициент передачи заряда при контактировании, $\nu = \frac{N_{отс}}{N}$ – доля отскочивших капель по отношению к общему количеству капель, зарегистрированных в опыте, $f_{отс}$ – коэффициент отскока.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности изменения электрического состояния тумана путем ввода в него частиц веществ с отличными от частиц тумана физико-химическими свойствами и о возможности создания в тумане (облаке) локальных заряженных областей. Причем, в зависимости от рода введенного вещества, можно подзарядить туман различным по знаку зарядом.

Подводя итог вышесказанному отметим, что был разработан новый метод исследования процессов электризации в лабораторных условиях, давший ряд материалов для понимания основных процессов электризации в облаках и основы для выбора материалов, способных привести к искусственной электризации облаков.

Литература

1. Карцивадзе А.И., Гзиришвили Т.Г., Окуджава А.М., Чиabriшвили Н.Ш., Нодия А.Г., Варамашвили Н.М., Мирцхулава М.К., Имянитов И.М., Чубарина К.В., Климин Н.Н., Морозов В.Н., Мордовина Л.С., Фабер О.А. Лабораторные опыты по электризации облачных элементов в результате взаимодействия разнородных частиц. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 49, Тбилиси, "Мецниереба", 1982.
2. Гзиришвили Т.Г., Амиранашвили А.Г., Чиabriшвили Н.Г., Нодия А.Г., Мирцхулава М.Д. Лабораторные опыты по исследованию процесса заряжения капли во время ее падения в облачной среде. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т.52, Тбилиси, "Мецниереба", 1984, с. 40-45.
3. Гзиришвили Т.Г., Амиранашвили А.Г., Чиabriшвили Н.Г., Нодия А.Г., Мирцхулава М.Д., Чхаидзе Г.П., Степаненко В.Д., Имянитов И.М. Электризация взаимодействующих дисперсных аэрозольных частиц. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 52, Тбилиси, "Мецниереба", 1984, с. 12-34.
4. Гзиришвили Т.Г., Маградзе Г.Д., Мирцхулава М.Д. Электризация свободно падающей капли с учетом эффекта коагуляции и наличия ионизированной среды. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 52, Тбилиси, "Мецниереба", 1984, с. 3-11.
5. Дьяконова И.Н., Имянитов И.М., Карцивадзе А.И., Климин Н.Н., Мордовина Л.С., Морозов В.Н., Фабер О.А., Чубарина Е.В. Лабораторное моделирование процессов контактной электризации облачных частиц, Л, Гидрометеоздат, 1985, 88 с.
6. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г., Харчилава Д.Ф., Трофименко Л.Т., Нехотина Л.М., Нодия А.Г., Мирцхулава М.Д. Лабораторное моделирование процессов окисления атмосферного аэрозоля. Тез. Докл. Всесоюзн. Симп. По фотохимическим процессам земной атмосферы. Черногоровка, 14-16 октября 1986.

7. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г., Харчилава Д.Ф., Трофименко Л.Т., Нехотина Л.М., Нодия А.Г., Чиabriшвили Н.Г., Мирцхулава М.Д. Заряжение частиц аэрозоля в результате окисления их озоном. Тез. Докл. 3-го Всесоюзн. Симп. по атмосферному электричеству, Тарту, Эстония, 28-31 октября 1986, с. 65.
8. Амиранашвили А.Г., Нодия А.Г., Махарашвили А.З. Заряжение самолета ИЛ-14 в свободной атмосфере в зависимости от содержания аэрозолей. Тез. Докл. 3-го Всесоюзн. Симп. по атмосферному электричеству, Тарту, Эстония, 28-31 октября 1986, с. 270.
9. Гзиришвили Т.Г., Амиранашвили А.Г., Мирцхулава М.Д., Дидебулидзе И.Н. Исследование эффекта электризации взаимодействующих частиц аэрозоля в зависимости от их размеров. Тез. Докл. 3-го Всесоюзн. Симп. по атмосферному электричеству, Тарту, Эстония, 28-31 октября 1986, с.123.
10. Гзиришвили Т.Г., Нодия А.Г., Мирцхулава М.Д., Чиabriшвили Н.Г. Лабораторное исследование влияния дисперсности частиц SiO₂ на зарядение теплых туманов. Тез. Докл. 3-го Всесоюзн. Симп. по атмосферному электричеству, Тарту, Эстония, 28-31 октября 1986, с. 124.
11. Gzirishvili T.G., Amiranashvili A.G., Mirtskulava M.D., Nekhotina L.M., Nodia A.G., Trofimenko L.T. Experimental modeling of aerosol particle and hydrometeor electrization processes. Proc. 8th Int. Conf. on atmospheric electricity, Uppsala, Sweden, 13-16 June, 1988, p. 270-275.

საღრუბლო გარემოს კონტაქტური ელექტრიზაციის პროცესების ექსპერიმენტული მოდელირება

ვარამაშვილი ნ., მირცხულავა მ., ტროფიმენკო ლ., ჭიabriშვილი ნ.

რეზიუმე

წარმოდგენილია საღრუბლო გარემოს კონტაქტური ელექტრიზაციის პროცესების ექსპერიმენტული მოდელირების შედეგები. ექსპერიმენტები ტარდებოდა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტის თერმობაროკამერაში წინა საუკუნეში. კერძოდ, დამუშავებული იყო ლაბორატორიულ პირობებში ელექტრიზაციის პროცესების კვლევის ახალი მეთოდი, რომელმაც მოგვცა რიგი მასალა ღრუბლებში ელექტრიზების ძირითადი პროცესების გაგებისთვის და საფუძვლები იმ მასალების შესარჩევად, რომლებმაც შეიძლება მიგვიყვანოს ღრუბლების ხელოვნურ ელექტრიზებამდე.

THE EXPERIMENTAL SIMULATION OF THE PROCESSES OF THE CONTACT ELECTRIZATION OF CLOUD MEDIUM

Varamashvili N., Mirtshulava M., Trofimenko L., Chiabrishvili N.

Abstract

The work gives the results of the experimental simulation of the contact electrization processes in cloud medium. Experiments were conducted in the thermobaric chamber of Institute of Geophysics of the

Academy of Science of Georgia in the last century. In particular, the new method of the study of the processes of electrization in laboratory conditions were developed, the given number of materials for understanding of the basic processes of electrization in clouds and basis for the selection of materials, capable to lead to artificial electrization of clouds.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНТАКТНОЙ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ОБЛАЧНОЙ СРЕДЫ

Варамашвили Н.Д., Мирцхулава М.Д., Трофименко Л.Т., Чиabriшвили Н.Г.

Реферат

Представлены результаты экспериментального моделирования процессов контактной электризации облачной среды. Эксперименты проводились в термобарокамере Института геофизики АН Грузии в прошлом столетии. В частности, был разработан новый метод исследования процессов электризации в лабораторных условиях, давший ряд материалов для понимания основных процессов электризации в облаках и основы для выбора материалов, способных привести к искусственной электризации облаков.