

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента на диссертационную работу**

**Акбашева Рината Рафиковича**

**«Атмосферно-электрические эффекты, сопровождающие извержения вулканов полуострова Камчатка и вулкана Эбеко (остров Парамушир)», представленную в диссертационный совет Д999.004.03 на соискание автором ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых**

### **1. Актуальность темы диссертации**

Важное место в атмосферном электричестве занимают исследования электрических характеристик приземного слоя, где протекает большая часть деятельности человека. Атмосферно-электрические характеристики вблизи поверхности земли тесно связаны с метеорологическими и геологическими явлениями, солнечно-земными связями, которые в свою очередь определяются процессами взаимодействия между атмосферой и деятельным слоем земной поверхности. Для интерпретации атмосферно-электрических явлений, происходящих в приземном слое, необходимо проведение экспериментальных и теоретических исследований электрогидродинамических процессов, протекающих вблизи земной поверхности.

В экспериментальных исследованиях атмосферы важное место занимают наземные атмосферно-электрические наблюдения. Электрические характеристики приземного слоя атмосферы определяются степенью ионизации воздуха, турбулентным перемешиванием и наличием аэрозольных частиц в атмосфере. Важными факторами в формировании приземного электрического поля являются вулканические процессы. Экспериментальное и теоретическое изучение электризации продуктов вулканических извержений направлено на установление фундаментальных основ физики электростатических процессов, контролирующей нахождение вулканических аэрозолей, пыли и мелкодисперсного пепла в атмосфере. При этом

долговременные непрерывные наблюдения за вариациями градиента потенциала электрического поля атмосферы вблизи действующих вулканов во время их взрывных извержений с использованием современной аппаратуры, обработка, анализ и комплексная интерпретация таких данных являются актуальными задачами геофизики и вулканологии.

Поиск предикторов характеристик взрывных облаков при их распространении в атмосфере, на основании регистрации откликов в вариациях градиента потенциала электрического поля атмосферы является важной практической задачей.

## **2. Степень достоверности результатов**

Основные положения диссертации, выводы и рекомендации подтверждаются: значительным количеством экспериментальных данных, корректностью поставленных теоретических задач и примененными математическими методами их решения; принятыми физическими допущениями, использованными диссертантом при их решении, основанными на реальных физических закономерностях, а также хорошим согласием численных расчетов с проделанными аналитическими оценками и экспериментальными данными. Научные положения, выносимые на защиту, выводы и практические рекомендации диссертационной работы сформулированы на основе интерпретации полученных лично автором результатов.

## **3. Научная новизна и практическая значимость работы**

В диссертационной работе существенно расширены современные представления о механизмах формирования электрической структуры приземного слоя атмосферы при эволюции взрывного облака, основанных на регистрации откликов в вариациях градиента потенциала электрического поля атмосферы. Проведено исследование статистических характеристик вариаций электрического поля приземного слоя атмосферы при различных метеорологических и сейсмических процессах.

Диссертантом впервые:

1. В практике наблюдений за вулканической деятельностью вулканов Шивелуч и Безымянный (п-ов Камчатка) и вулкана Эбеко (о. Парамушир) проведены исследования электростатической структуры эруптивных облаков по регистрациям откликов в вариациях градиента потенциала электрического поля атмосферы сетью датчиков.

2. Зарегистрированы сигналы в вариациях градиента потенциала электрического поля атмосферы, связанные с формированием и распространением эруптивных облаков в ближней зоне от кратера вулкана (по данным наблюдений около вулкана Эбеко), динамика которых характеризуется положительными импульсами в отрицательной области сигнала.

3. Установлено, что отклик с положительным импульсом в отрицательной области сигнала регистрируется только в том случае, когда нижняя часть эруптивного облака распространяется по поверхности земли. И выявляются в районе пункта наблюдений за вариациями градиента потенциала электрического поля атмосферы. Регистрация такого сигнала свидетельствует о преобладающем отрицательном заряде эруптивного облака при локализации положительного объемного заряда в нижней части эруптивного облака.

4. Соискателем предложен новый механизм формирования объемного заряда в нижней области эруптивного облака, согласно которому в момент взаимодействия нижней области эруптивного облака с поверхностью склона вулкана происходит перераспределение зарядов. Сделано предположение о перераспределении зарядов, которое контролируется эффектом наведенной электростатической индукции на поверхность склона вулкана от основного заряда эруптивного облака, локализованного в его верхней части. Предложенная гипотеза дополняет известные модели формирования объемных зарядов в эруптивном облаке.

Полученные автором экспериментальные результаты могут быть использованы при построении моделей глобальной токовой цепи,

учитывающих вклад генераторов объемного заряда, действующих в приземном слое атмосферы, в частности, эруптивных облаков.

Предложенные автором практические рекомендации могут быть использованы для организации, проведения и анализа данных, наземных атмосферно-электрических наблюдений, в частности, в вулканически активных районах.

#### **4. Публикации по теме диссертационной работы**

По теме диссертации, кроме тезисов и статей в трудах конференций, опубликовано **10** статей в рецензируемых отечественных и зарубежных журналах, из которых 5 в реферируемых журналах списка ВАК по специальности 25.00.10.

#### **5. Структура диссертации**

Структура и оформление диссертации соответствуют рекомендованного ВАКом ГОСТа 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

Диссертационная работа Р.Р. Акбашева состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, содержащего 167 наименований. Работа содержит 136 листов машинописного текста, 61 рисунок и 17 таблиц.

Во **Введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы ее цель и задачи, указаны методы исследований, научная новизна и практическая значимость работы, определен личный вклад автора, а также сформулированы основные научные результаты, выносимые на защиту. Кратко изложены структура и содержание работы.

В **первой главе** описываются локальные факторы, влияющие на измерения электрического поля приземного слоя воздуха на среднеширотной обсерватории.

В трех разделах данной главы достаточно подробно обсуждаются особенности пунктов наблюдений, состав аппаратуры, факторы землетрясений и метеоусловия в динамике вариаций вертикального градиента потенциала. В частности, показано:

- Натурные наблюдения за градиентом электрического поле атмосферы (далее ЭПА) на различных вулканах мира, а также результаты лабораторных исследований свидетельствуют о том, что процесс разделения зарядов в эруптивных облаках во многом связан с феноменологической особенностью биполярной зарядки, зависящей от их размера, однако до конца эти процессы не изучены.

- Проведение работ на действующих вулканах с использованием современной аппаратуры являются актуальными в настоящее время. И полуостров Камчатка, Курильские острова (Россия) - это уникальный природный полигон для исследований вулканизма и электризации эруптивных облаков.

- Представлены сезонный и многолетний тренд электрического поля в приземной атмосфере на обсерватории «Паратунка».

**Вторая глава** посвящена аппаратному и программному обеспечению измерений.

Дается описание основным инструментам измерений, приводятся подробные характеристики датчикам «ЭФ-4», «Поле-2». Описываются принципы действия этих приборов. Методика проведения измерений. В разделе представлено описание специального аппаратно-программного комплекса наблюдений. Состав аппаратного комплекса, методика проведения измерений. Характеристика района исследований и активности вулканов, вблизи которых осуществлялась регистрация градиента электрического поля атмосферы.

Основной целью создания сети пунктов наблюдения градиента электрического поля атмосферы была регистрация откликов от эруптивных облаков. Поэтому пункты для установки электростатических флюксометров выбирались таким образом, чтобы, с одной стороны, они располагались вблизи наиболее активных вулканов полуострова Камчатки, где можно было ожидать распространение эруптивного облака, а с другой стороны, там, где существовали пункты наблюдения за вулканами и/или сейсмологические

станции КФ ФИЦ ЕГС РАН.

Диссертантом с 2013 г. планомерно проведена работа по созданию сети пунктов непрерывной регистрации ЭПА вблизи действующих вулканов Камчатки – СГВ и на о. Парамушир в г. Северо-Курильск. Создан программно-аппаратный комплекс регистрации ЭПА на базе флюксметра «ЭФ-4», АЦП L-Card E24 и микрокомпьютера. Автоматизирована предварительная обработка исходных данных, которая выполняется программой-конвертором «SynCover». Данный аппаратно-программный комплекс обеспечивает возможность передачи данных, их анализ в режиме, близком к реальному времени с задержкой 1 сутки.

Для выделения возмущений во временном ходе приземного электрического поля, диссертантом проводился анализ записи вариаций ЭПА одновременно с динамикой извержений на основании геофизического мониторинга активности действующих вулканов Камчатки и в. Эбеко на о. Парамушир, в том числе на основании данных: сети РТСС, установленных вблизи действующих вулканов; инфразвуковых комплексов; визуального и видеонаблюдения. Направление распространения эруптивных облаков оценивалось на основании анализа данных: баллонного зондирования; мониторинга термальных аномалий по космическим снимкам и видео мониторинга; данных вулканических молний мировой сети WWLLN. Комплексный анализ геофизических данных обеспечивает качественную селекцию сигналов ЭПА, связанных с распространением эруптивных облаков.

**В третьей главе** описываются положительные и отрицательные аномалии электрического поля при формировании и развитии эруптивных облаков.

Комплексный анализ данных геофизического мониторинга активности вулканов, спутникового мониторинга, данных баллонного зондирования атмосферы, данных регистрации гроз (ИКИР ДВО РАН) позволил восстановить кинематические параметры распространения верхней и нижней

области эруптивного облака в атмосфере от извержений вулканов Шивелуч и Безымянный. Это позволило установить взаимосвязь зарегистрированного отклика с объемными электростатическими зарядами в эруптивном облаке. На основании этих данных показано, что в эруптивном облаке для эксплозий вулканов Шивелуч и Безымянный объемные электростатические заряды формируются по известной модели – positive/negative/positive («P/N/P»).

Выделено четыре типа характерных откликов в вариациях ЭПА:

I тип – отрицательные возмущения (120);

II тип – положительные возмущения (31);

III тип – отрицательное возмущение, в области которого регистрируется положительный импульс (13);

IV тип – дипольные вариации (5).

На основании этих наблюдений предложена новая физическая гипотеза формирования объемного заряда в нижней области эруптивного облака, где ключевую роль играют два основных фактора: во-первых, в эруптивном облаке преобладает суммарный отрицательный заряд, который за счет эффекта электростатической индукции наводит на поверхность склона вулкана положительный заряд; во-вторых, высокая скорость при боковом сносе эруптивного облака (более 10 м/с), способствует созданию условий турбулентности. Также орография вулкана Эбеко – его невыраженный конус образуют сложный рельеф, что способствует возникновению турбулентности. Такие условия распространения обеспечивают перемешивание частиц в нижней области эруптивного облака и их контактной перезарядки от поверхности положительным знаком. В результате формируется положительный объемный заряд в нижней области.

**В четвертой** главе представлены результаты экспериментов по физическому моделированию пепловых облаков с одновременной регистрацией градиента потенциала электрического поля атмосферы. Представлены результаты анализа идеализированных моделей электростатической структуры эруптивного облака. Показано, что

пространственная конфигурация униполярных зарядов в эруптивном облаке, которое зависит от условий ветровой стратификации, определяет тип регистрируемого отклика в SKR.

На основании результатов долговременных наблюдений ЭПА в SKR и натурального эксперимента по регистрации ЭПА в двух временных пунктах наблюдения на вулкане Эбеко, был зарегистрирован III тип отклика ЭПА, который возможен только тогда, когда эруптивное облако распространяется над пунктом регистрации. По результатам математического моделирования показано, что регистрация III типа отклика ЭПА действительно возможна только при условии распространения эруптивного облака над пунктом регистрации.

В разделе «**Заключение**» приведены наиболее важные научные результаты, полученные лично соискателем при выполнении всей работы.

**6. Наиболее важными результатами диссертации, имеющими степень новизны и научной значимости, являются:**

Создание сети регистрации ЭПА вблизи Северной группы вулканов на п-ве Камчатка и на о. Парамушир вблизи вулкана Эбеко. Пространственное распределение пунктов регистрации ЭПА позволило проследить динамику изменения электростатической структуры эруптивного облака при его распространении. Данные сети ЭПА в комплексе с другими геофизическими методами мониторинга активности вулканов обеспечивают возможность детектирования слабо нагруженных эруптивных облаков, которые представлены мелкодисперсным пеплом и аэрозолем, такие облака недоступны наблюдению со спутников. Сеть пунктов регистрации ЭПА вблизи извергающихся вулканов дает возможность обнаружения и оценки траектории движения эруптивного облака, получать некоторые оценки размеров вулканического аэрозоля. Важным преимуществом применяемого метода исследований является то, что метод является дистанционным, что важно при исследовании электризации эруптивных облаков для таких вулканов как Шивелуч и Безымянный на которых возможны мощные



катастрофические извержения типа «направленный взрыв».

Кроме того, данные натуральных экспериментов являются основой для исследований физики процессов электризации эруптивных облаков.

В результате многолетней (4 года) непрерывной регистрации ЭПА (г. Северо-Курильск) получен большой массив экспериментальных данных. Были проведены дополнительные экспериментальные наблюдения ЭПА в ближней зоне активного кратера Эбеко. В результате зарегистрирован отклик в ЭПА, который ранее не был описан в литературе. Для объяснения этого сигнала был проведен физический эксперимент с моделированием пепловых облаков и условий их распространения относительно поверхности подстилающей поверхности. На основании результатов натуральных наблюдений и физического эксперимента автором предложена физическая гипотеза, которая позволяет по-новому рассматривать процесс формирования биполярного объемного заряда в эруптивном облаке, которая дополняет известные физические процессы формирования объемных зарядов в нем.

Представлены результаты анализа идеализированных моделей электростатической структуры эруптивного облака. Показано, что пространственная конфигурация униполярных зарядов в эруптивном облаке, которая зависит от условий ветровой стратификации в атмосфере, определяет тип регистрируемого отклика в пункте Козыревск. На основании результатов долговременных наблюдений ЭПА в указанном пункте и натурального эксперимента по регистрации ЭПА в двух временных пунктах регистрации в ближней зоне от кратера на вулкане Эбеко, был зарегистрирован III тип отклика ЭПА, который возможен только тогда, когда при распространении нижняя область эруптивного облака распространяется у поверхности земли в зоне пункта наблюдения. По результатам математического моделирования показано, что регистрация III типа отклика ЭПА действительно возможна только при условии, когда нижняя область эруптивного облака распространяется максимально близко к пункту регистрации.

## **7. Соответствие автореферата диссертации.**

Текст автореферата написан хорошим научным языком и дает полноценное представление о постановке задач и результатов диссертации. В автореферате кратко и достаточно ясно изложено содержание диссертационной работы.

## **8. Практическая ценность результатов**

В силу новизны полученных результатов исследование имеет вполне определенную фундаментальную и практическую значимость.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования для фундаментальной науки состоит в расширении границ наших знаний о природе атмосферного электричества и факторах формирующих его временного изменения при вулканических процессах. Полученные взаимосвязи вариаций поля земли при землетрясениях могут быть использованы для целей прогноза и мониторинга землетрясений. Результаты диссертации могут найти практическое применение при решении задач радиофизики.

## **9. Апробация работы и публикации.**

Материалы диссертации прошли апробацию на 11 российских и международных конференциях в период 2016-2021 гг. Работа и составные ее части докладывались на научно-практических конференциях «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России».

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках госзадания № 075-01304-20.

## **10. Замечания по диссертации.**

1. Выражение «По результатам математического моделирования показано, что регистрация III типа отклика  $V'$  ЭПА действительно возможна только при условии распространения эруптивного облака над пунктом регистрации» требует разъяснения. Не понятно, III тип отклика поля возникает под действием пункта наблюдений или он выявляется, когда датчик поля располагается вблизи (под) аэрозольного облака.

2. Автором проведен физический эксперимент по электризации пепловых облаков с одновременной регистрацией градиента потенциала электрического поля атмосферы. Эксперимент проведен с целью подтверждения выделенных типов отклика от эруптивных облаков взрывных извержений вулкана Эбеко. Результаты эксперимента подтверждают выводы о сформированных объемных электрических зарядах в эруптивном облаке, а их взаимное расположение относительно друг друга и расположение эруптивного облака относительно пункта наблюдения на момент регистрации определяют тип регистрируемого отклика. Эти выводы так же подтверждены результатами численного моделирования. Вместе с тем автором предложена гипотеза формирования объемного положительного электрического заряда в нижней области эруптивного облака в результате взаимодействия частиц пеплов с поверхностью склона вулкана. Гипотеза выглядит интересной и подтверждается результатами физического моделирования. Но необходимо отметить, что в эксперименте не проведены испытания с пеплами для отдельных гранулометрических групп. Такие исследования необходимы, для учета влияния формирования объемных зарядов в пепловых облаках за счет известного эффекта электризации частиц пеплов разными знаками, когда более мелкие частицы, как правило, заряжаются отрицательно, а более крупные положительно.

3. Для вулканов Шивелуч и Безымянный автором выделены три характерные области со сформированными объемными зарядами в эруптивном облаке. При этом верхняя и нижняя области заряжены положительно, а средняя область – отрицательно. Для вулкана Эбеко выделено две области: нижняя с положительным объемным зарядом и верхняя с отрицательным объемным зарядом. Почему не выделена верхняя область с положительным зарядом для взрыва вулкана Эбеко?

4. Для вулканов Шивелуч и Безымянный автором представлены данные регистрации вулканических молний. Этот материал является важным источником информации о сформированных объемных электростатических

зарядах в эруптивном облаке. Были ли проведены такие исследования для вулкана Эбеко?

5. В диссертации допущены орфографические ошибки, неверные окончания в словах, например: в таблице 3.2 стр. 56 «Отклик в вариация V' ЭПА на станции KZY»; стр. 78 «его форм-фактор может относится к типу А и В» и т.д.

6. Автор для мониторинга градиента потенциала приземной атмосферы использует регистратор «Поле -2», разработка ГГО 50-х годов прошлого столетия. В настоящее время в ряде регионов используют современные отечественные разработки: «Рябина» (разработка ВКА им. Можайского, С.-Петербург), зарубежные EFM 550 (разработка фирмы Vaisala, Финляндия) и др. Указанные датчики значительно превосходят по тактико-техническим характеристикам измеритель Поле-2. В работе нет упоминаний об этих устройствах, как в обзорной части, так и в главе 2 с описанием используемой в работе аппаратуры.

7. Некоторые рисунки читаются плохо, переполнены излишней информацией (рисунки 3.9, 3.13, 3.16, 4.8, 4.9). Есть редакционные неточности.

## **11. Заключение**

Отмеченные недостатки, по мнению оппонента, носят дискуссионный характер и не снижают ценности диссертационной работы.

Полученные теоретические и экспериментальные результаты, выполненные на высоком научном уровне, оригинальны и обладают научной новизной. Практическая значимость работы не вызывает сомнений.

Считаю, что диссертационная работа Акбашева Р.Р., представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, содержащую ряд новых научных положений и практических результатов, имеющих важное народно-хозяйственное значение.

Диссертационная работа является законченным фундаментальным научным исследованием электрических процессов в приземном слое

атмосферы. Совокупность выполненных теоретических и экспериментальных исследований является научным достижением в области атмосферного электричества и вносит существенный вклад в развитие нового научного направления: электродинамика приземного слоя атмосферы.

Научные результаты диссертации соответствуют пунктам 4 и 10 Паспорта специальности 25.00.10. – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Таким образом, диссертационная работа Акбашева Р.Р. соответствует критериям п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждения ученых степеней» (Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), «О внесении изменений в Положение о присуждения ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 21.04.2016 г. № 335), предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации «Атмосферно-электрические эффекты, сопровождающие извержения вулканов полуострова Камчатка и вулкана Эбеко (остров Парамушир)» Акбашев Ринат Рафикович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Аджиев Анатолий Хабасович  
Доктор физико-математических наук, профессор  
Заведующий отделом стихийных явлений  
ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»  
Адрес: 360030, КБР, г.Нальчик, пр.Ленина, 2,  
[adessa1@yandex.ru](mailto:adessa1@yandex.ru) тел.8(8662)40-19-16

Я, **Аджиев Анатолий Хабасович**, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

«01.09.22» \_\_\_\_\_  
Дата Подпись



Подпись зав. отделом ФГБУ «ВГИ»  
И.И.И., проф. Андреева А.К.  
ЗАВЕРЯЮ. УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ФГБУ «ВГИ»  
И.И.И. Маш (Тоберкова М.В.)  
13  
01 сентября 2022 г.