

ОТЗЫВ

официального оппонента докт. физ.-мат. наук, проф. Куповых Г.В. на диссертационную работу Козлова Владимира Николаевича «Электрические методы искусственного регулирования осадков» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология и агрометеорология.

Проблема управления атмосферными процессами представляется **актуальной и практически значимой**, особенно в связи с увеличением в последние десятилетия числа аномальных атмосферных явлений. Для уменьшения риска возникновения и последствий чрезвычайных ситуаций, вызванных опасными атмосферными явлениями, требуются разработки качественно новых методов и средств активных воздействий (АВ) с целью искусственного регулирования осадков, грозо- и градозащиты, снижения класса пожарной опасности лесов (КПО) и тушения лесных пожаров.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработан новый реагент для искусственного вызывания осадков (ИВО) на основе щелочных металлов без температурного порога применения в отличие от традиционных реагентов (твердой уголекислоты и йодистого серебра), позволяющий проводить АВ на теплые облака в пожароопасный период года.

2. Впервые исследовано воздействие заряженного аэрозоля с гигроскопическим составом, образующегося пиротехническим путем, на микрофизические и электрические процессы в конвективных облаках.

3. Разработана новая методика засева конвективной и слоистообразной облачности для ИВО над лесными территориями с лесопатрульных самолетов в зависимости от характеристик восходящего потока.

4. Впервые разработаны способ и устройство для ИВО из конвективной облачности с использованием баллоэлектрического эффекта при разбрызгивании жидких аэрозолей.

5. Впервые предложено и обосновано использование наземных средств АВ и беспилотных воздушных судов для ИВО с целью снижения КПО и тушения лесных пожаров.

6. Впервые установлен механизм электрической неустойчивости в конвективных облаках, проявляющейся в разделении электрических зарядов вследствие испарения, дробления облачных капель и кристаллов, а также проявления эффекта Релея.

Значимость для науки и производства полученных результатов:

- предложен и испытан в производственных работах по АВ на конвективные облака новый электрически заряженный аэрозольный реагент;
- разработан термоионизационный способ генерации заряженных водных аэрозолей для ИВО из конвективной облачности;
- исследован ионогенный механизм осадкообразования в конвективной облачности, заключающийся в участии заряженных аэрозолей в процессе укрупнения облачных капель;
- разработана новая технология ИВО с применением баллоэлектрического эффекта;
- разработан новый термоионизационный метод электрического разряда конвективного облака на основе применения пиротехнического способа генерации заряженного реагента;

Практическая значимость диссертации заключается в следующем:

- разработаны и внедрены руководящие документы по ИВО для снижения КПО и тушения лесных пожаров;
- предложено и обосновано использование самолеты противопожарной авиации для ИВО водным аэрозолем при наличии ресурсной облачности;
- даны рекомендации по введению реагента в облако в зависимости от характеристик восходящего потока;
- разработаны технологии ИВО на лесные территории для снижения КПО лесов и тушения лесных пожаров;
- предложен новый метод оценки пожароопасности, учитывающий суточные изменения температуры и относительной влажности;
- предложен подвижный комплекс для охраны лесов от пожаров, представляющий собой мобильную структуру, способную прийти на замену легкомоторной лесопатрульной авиации.
- предложено дополнить существующую иерархическую структуру мониторинга и управления силами и средствами предупреждения и ликвидации лесных пожаров на территории России подвижным комплексом искусственного вызывания осадков с системой обнаружения облачных образований, определения влагозапасов облаков, количества выпадающих осадков и управления работами по ИВО.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, включающего 289 наименований и приложения. Общий объем диссертации составляет 306 страниц, включая 24 рисунков, 30 таблиц и 6 страниц приложения.

Во введении обоснована актуальность темы, цели и задачи, сформулирована научная новизна и практическая ценность. Изложены основные положения диссертации, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены проблемы мониторинга лесных пожаров, оценки экологического и социального ущербов от лесных пожаров. Приведен обзор результатов работ по ИВО для борьбы с лесными пожарами с использованием традиционных реагентов и технических средств воздействия на атмосферные процессы, а также влияния на ИВО метеорологических условий в атмосфере и облаках.

Во второй главе рассмотрены физические основы ИВО водным аэрозолем, приведена эмпирическая модель конвективного облака. Произведена оценка возможности воздействия на конвективную облачность водного аэрозоля, используя баллоэлектрический эффект при разбрызгивании заряженных водных растворов гигроскопических веществ, в том числе морской воды, струйными форсунками. Приведены формулы и графики для расчета количества осадков, выпадающих при воздействии на конвективные облака водным аэрозолем. Показано, что количество выпавших осадков зависит от мощности облака, количества введенного реагента, вертикальных токов в облаке и размеров вводимых в облако капель воды. Коэффициент использования облачной влаги достигает 60-65%. Расчетное время выпадения осадков после начала воздействия составляет 10-20 мин.

Представлены рекомендации по введению реагента в облако: если воздействие производится на облако с прекратившимся восходящим потоком, то введение реагента выгоднее всего производить на высоте верхней границы облака; в случае восходящего потока целесообразно введение реагента под нижней границей облака.

В третьей главе приведено научное обоснование применения растворов гигроскопических реагентов, в составе морской воды для ИВО на лесные территории. Показано преимущество гигроскопических реагентов — отсутствие пороговой температуры применения реагента. Установлено, что эффективность АВ гигроскопическими веществами зависит от мощности облака, влагосодержания, его микрофизических параметров и химического состава, а степени дисперсности и концентрации используемого реагента, а также от технологии применения реагента (способа диспергирования, уровня засева и т.д.). Доказано, что засев гигроскопическими частицами, особенно морскими ядрами конденсации, полученными непосредственно из морской воды, континентальных облаков оказывает наиболее сильное влияние на осадки. Установлены нормы воздействия и способы введения гигроскопического реагента (количество вещества, количество осадков, размер его частиц и др. параметры) для конвективной облачности, подтвержденные теоретическими расчетами и лабораторными экспериментами. Полевые экс-

перименты показали, подтверждают высокую эффективность предложенного способа.

Выполнен расчет электрической коагуляции первоначально заряженных капель, который показывает, что через несколько секунд после образования заряженных капель формируется концентрация положительно заряженных капель

В четвертой главе излагается теоретическое обоснование электрических методов воздействия на процессы облако и осадкообразования. Установлена количественная связь между статистической характеристикой фазового перехода - скоростью нуклеации и физическими параметрами иона (заряда и размера) при заданной температуре капли. Расчетным путем исследовано влияния электрического поля на конденсационные процессы в облаке. Установлена их зависимость от знака иона, а именно превалирование влияния положительных ионов. При этом отрицательные ионы гидратируются комплексами молекул водяного пара и проникают внутрь образовавшихся капель, ускоряя конденсационные процессы. Положительные ионы более эффективны при кристаллизации капель и образовании зародышей кристаллов.

В пятой главе рассматривается механизм искусственного генерирования в атмосфере заряженных аэрозолей с гигроскопическими составляющими (реагентов) для ИВО.

Предложен терموконденсационный способ генерации заряженных аэрозолей. Рассчитана продолжительность сохранения предельной максимальной температуры на траектории движения источника в зависимости от его скорости и коэффициента турбулентной диффузии по Ричардсону. На основе максвелловского распределения электронов по скоростям выполнен строгий расчет количества электронов эмиссии с горячих частиц. На основании известных теоретических представлений установлено, что все электроны эмиссии идут на образование отрицательных ионов молекул кислорода. Охлажденные аэрозольные частицы в облачной среде с учетом их гигроскопичности превращаются в положительно или отрицательно заряженные капли. Большинство гидратированных отрицательных ионов поглощается облачными каплями, увеличивая их размеры, и при достижении каплями определенных размеров начинается их электрическая коагуляция. Выполненный в работе на первых двух временных шагах строгий расчет электрической коагуляции первоначально заряженных капель показывает, что уже через несколько секунд после образования заряженных капель формируется достаточная концентрация положительно заряженных капель для взаимодействия с есте-

ственной системой облачных капель, которая приводит к гравитационной коагуляции капель – выпадению осадков.

В шестой главе приведены оценки физической и экономической эффективности искусственного регулирования осадков, рассматриваются новые перспективные методы ИВО. Для проведения работ по пожаротушению предложен мобильный комплекс, оборудованный малогабаритной МРЛ, профайлером, автоматизированной метеостанцией, беспилотным летательным аппаратом для обнаружения очагов пожаров и ИВО, средствами связи, управления, наземными средствами ИВО и пожаротушения.

Предложенные технические решения направлены на использование ИВО для борьбы с лесными пожарами путем снижения КПО и ликвидации очагов лесных пожаров, а также предотвращения ущерба от засушливых погодных условий в других отраслях народного хозяйства.

В заключении сформулированы основные результаты, выводы и рекомендации.

В приложении представлены результаты ИВО по авиабазам «Авиалеосохраны» РФ, акты испытаний и внедрения.

По диссертации имеются отдельные **замечания:**

1. В первой главе обоснован и предложен новый индекс оценки пожарной опасности лесов, учитывающий суточные изменения температуры и относительной влажности по установленным восьми срочным метеонаблюдениям. Однако, для доказательства его преимуществ, например, перед индексом Нестерова, необходимо привести их сравнительный анализ на статистически достоверном материале.

2. Во второй главе (раздел 2.10) на рис. 2.8 не обозначены точки N_0 , соответствующие оптимальной концентрации реагента. Формулы, использованные для вычисления оптимальной концентрации частиц и конечных радиусов капель, также, не приведены, что затрудняет оценку достоверности полученных результатов.

3. В третьей главе формула (3.11) учитывает только парные столкновения электрически заряженных капель. Какую роль играют двойные и большие одновременные столкновения капель осталось невыясненным.

4. В разделе 3.4 описано влияние электрической коагуляции на процесс укрупнения заряженных капель, образовавшиеся на заряженных гигроскопических частицах. Однако какие-либо данные об интенсивности, количестве и продолжительности вызываемых осадков не приведены, что важно для оценки практической значимости активного воздействия на облака растворами гигроскопических веществ.

5. В разделе 4.3 оценка влияния заряженного аэрозоля на укрупнение капель в теплых конвективных облаках носит качественный характер, как при этом меняется время конденсации и гравитационной коагуляции необходимое для укрупнения облачных капель не указано.

6. Содержание разделов 5.6 - 5.11 носит технический характер, не содержит новых научных положений и, вполне, могло быть вынесено в приложение, в качестве рекомендаций по технологии активных воздействия на конвективные облака.

7. В тексте диссертации и автореферата имеются отдельные опечатки и стилистические погрешности.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, которая соответствует паспорту специальности 25.00.30 – метеорология, климатология и агрометеорология. В ходе исследования разработаны руководящие документы по ИВО для снижения класса пожарной опасности лесов и тушения лесных пожаров, получены патенты на реагент для АВ на конвективную облачность, способы и устройства для создания конвективной облачности и искусственного вызывания осадков, а также на способ инициирования грозовых разрядов.

Основные результаты диссертационной работы полностью отражены в публикациях. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены **новые научно обоснованные технические и технологические подходы**, внедрение которых вносит значительный вклад в **решение научной проблемы – искусственного регулирования осадков, имеющей важное хозяйственное значение, и соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней»**. Автор – Козлов Владимир Николаевич – **заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.**

Декан факультета
естественнонаучного и гуманитарного образования
Южного федерального университета
докт. физ.-мат. наук, профессор



Г.В. Куповых