

УДК 550.380; 551.508; 551.501

БАЛЛОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИСКУССТВЕННОГО ВЫЗЫВАНИЯ ОСАДКОВ

В.Н. Козлов, Н.А. Коршун, А.В. Тertyшников

Поступила 24.11.2015 г.

Рассматриваются возможности инициирования триггерного эффекта баллоэлектрическим методом при искусственном вызывании осадков путем распыления с воздушных судов водного аэрозоля, являющегося естественным природным реагентом для модификации облачности и состояния тропосферы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: капли воды, ионизация, неустойчивость водной субстанции, воздушные суда, чрезвычайные ситуации, осадки

ВВЕДЕНИЕ

Управление погодой имеет важнейшее экономическое значение для экономики и безопасности жизни. Наиболее развитой областью исследований в этом направлении является искусственное регулирование осадков при воздействии на облачные системы [1, 2], хотя проводимые эксперименты не всегда бывают удачными.

Энергия атмосферных процессов существенно выше энергетических возможностей средств воздействия на атмосферу, что объясняет исследования физических процессов в облачной атмосфере, образование облаков, осадков.

В исследованиях по модификации атмосферных процессов используется свойство их неустойчивости. Основное внимание при этом уделяется модификации облаков и туманов.

Достаточно изученными видами неустойчивости в настоящее время являются: коллоидная, неустойчивость фазового состояния водной субстанции (существование переохлажденной жидкокапельной влаги при отрицательных температурах), конвективная (термическая или динамическая) [3, 4], микроэлектрическая неустойчивость мелких капель воды [5, 6].

Проблема модификации облаков и туманов решается преимущественно применением различных реагентов. Реагенты должны оказывать воздействие на осадкообразующий механизм в облаках различных форм. При этом реагенты играют роль спускового механизма цепной реакции (триггерного эффекта), инициирующей переход атмосферного процесса из неустойчивого (метастабильного) состояния в естественное устойчивое с проявлением какого-либо явления (например, с выпадением или без выпадения осадков).

В теплых облаках для выпадения осадков целесообразно интенсифицировать механизм укрупнения капель. В переохлажденных и смешанных – закристаллизовать облачные капли и, используя разность в упругости насыщения между водой и льдом [4], вызвать переконденсацию водяного пара с облачных капель на кристаллы для их укрупнения и выпадения в виде осадков.

К настоящему времени разработаны несколько видов реагентов для воздействия на слоистообразные и конвективные облака, находящиеся по температурным условиям в теплом ($> 0^{\circ}\text{C}$), переохлажденном (водяные капли) или смешанном (капли и кристаллы) состоянии. Наиболее распространенными являются хладореагенты (твердая углекислота, жидкий азот), кристаллизирующие реагенты (йодистое серебро и др.), гигроскопические вещества (поваренная соль, карбамид и др.) [1, 3]. Из-за переноса ветром и турбулентного обмена результат засева облаков реагентами может быть неоднозначным.

В теплый период года осадки выпадают преимущественно из конвективной облачности [4]. В среднем 50% возникающих конвективных облаков не достигают кучево-дождевой стадии, особенно в засушливый период. Эти облака являются резервными для искусственного вызывания осадков (ИВО).

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ЗАСЕВУ ОБЛАКОВ ВОДНЫМ АЭРОЗОЛЕМ

Эксперименты по засеву облаков каплями воды проводились в ряде стран. В 40-х и 50-х годах прошлого столетия были проведены опыты по введению в облака капель воды с целью стимулирования образования дождя за счет процесса коагуляции [1]. Вода вводилась в вершину или в основание облака при пролете самолета. Спектр распределения капель по размерам соответствовал медианному размеру капель 1 мм. В результате происходило частичное или полное рассеяние облаков мощностью до 2000 м [7].

В Австралии в 1952 г. засев проводился каплями радиусом 25 мкм на высоте, превышающей на 300 м высоту нижнего основания облака. В большинстве случаев наблюдались изменения в эволюции засеянных облаков по сравнению с контрольными, из некоторых из них выпадали осадки. Позднее, ученые Чикагского университета описали эксперименты, в которых вода разбрызгивалась в основания теплых облаков над Карибским морем. В этих экспериментах выбирались контрольное и основное облако, которое засеивалось каплями при преобладающем диаметре 100 мкм. Засев 32 облаков с введением в облако 500 л воды на 1 км не дал заметного эффекта, при увеличении объема воды до 2700 л на 1 км 22 из 46 засеянных облаков дали осадки. Из контрольных облаков осадки выпадали в 11 случаях [5]. Численное моделирование ИВО водным аэрозолем было проведено в [8].

Засев облачности производился с учетом ее мощности ΔH , равной разности высот между верхней и нижней границей. Количество выпавших осадков, Q мм, соответствующее определенным начальным условиям r_0 и ΔH (рис. 1), определялось по формуле:

$$Q = \frac{4}{3} \pi \rho_{H_2O} r_k^3 N, \quad (1)$$

где ρ_{H_2O} – плотность воды, r_k – радиус капли при выпадении ее из облака, мкм;

N – количество частиц реагента, приходящегося на 1 см² площади облака (концентрация вводимых в облако капель воды радиусом r_0).

Существует оптимальное количество вводимого реагента, дальнейшее увеличение которого приводит к относительно меньшему увеличению количества осадков. На рисунке 1 представлена линейная зависимость количества осадков Q мм от концентрации вводимых частиц N для различной мощности облака. Из представленных зависимостей следует, что существует предел концентрации вводимых частиц N_0 , при увеличении которого происходит замедление роста Q при увеличении N [8].

Результаты вычислений оптимальной концентрации частиц N_0 , см⁻², соответствующего ей Q , мм, и конечного радиуса капель r_k , мкм, в зависимости от условий воздействия (вертикальных токов на нижней границе, мощности облака и размеров вводимых в облако капель воды) приведены в табл. 1. Количество осадков Q зависит от мощности облака (ΔH) и вводимого реагента (r_0).

Табл. 1 Количество осадков (Q) и размер выпадающих капель (r_k) в зависимости от мощности облака (ΔH) и размера засеваемых капель (r_0) [8]

ΔH , м	r_0 , МКМ					
	30		60		100	
	Q , мм	r_k , МКМ	Q , мм	r_k , МКМ	Q , мм	r_k , МКМ
1500	1,0	480	1,1	510	1,1	540
2000	1,4	805	1,5	825	1,6	855
3000	2,7	1590	2,8	1620	2,9	1670
4000	4,2	2615	4,2	2640	4,2	2670

При проведении практических работ целесообразно перейти от оптимального размера частиц к оптимальному количеству реагента M , приходящемуся на единицу площади. Рисунок 2 иллюстрирует зависимость M от высоты $H_{вг}$ и r_0 .

Оценка коэффициента использования облачной влаги (v), который представляет собой отношение количества выпавших осадков к общему влагозапасу в облаке, в среднем равна 60-65 %.

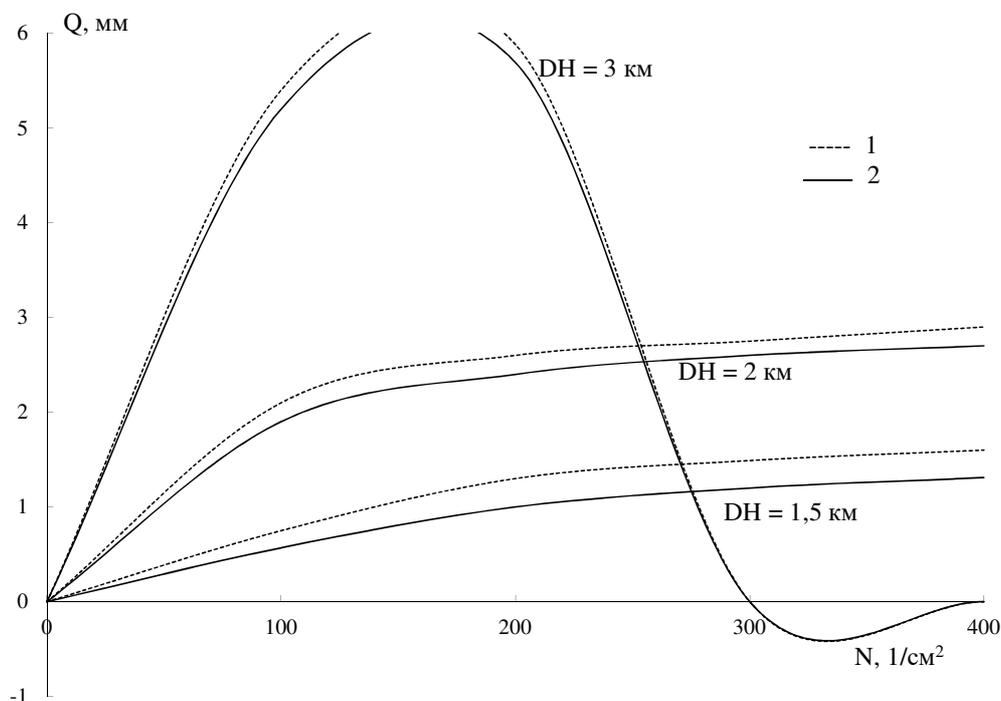


Рис.1. Зависимость количества осадков (Q мм) от концентрации вводимых частиц (N) при различных начальных условиях (r_0 и ΔH), 1... $r_0 = 30$ мкм; 2 $r_0 = 100$ мкм [8].

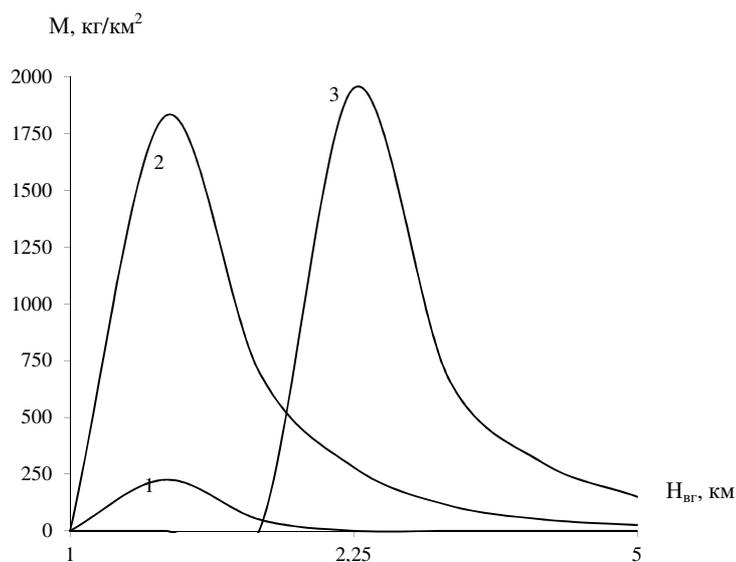


Рис.2. Зависимость оптимального количества реагента M от $H_{вг}$ и r (1 - $r_0 = 30$ мкм, 2 - $r_0 = 60$ мкм, 3 - $r_0 = 100$) [8].

Расчетные данные времени выпадения осадков после начала воздействия, полученные численным интегрированием, показали, что по порядку величин они хорошо согласуются с данными опытов – время роста частиц, введенных в облако при воздействии, до размера осадков получилось равным ~7-10 мин (рис. 3). Это практически соответствует времени образования осадков в кучево-дождевом облаке. Анализ результатов расчета позволяет сделать практические выводы. Если воздействие производится на облако с прекратившимся восходящим потоком, то введение реагента выгоднее всего производить на высоте верхней границы облака.

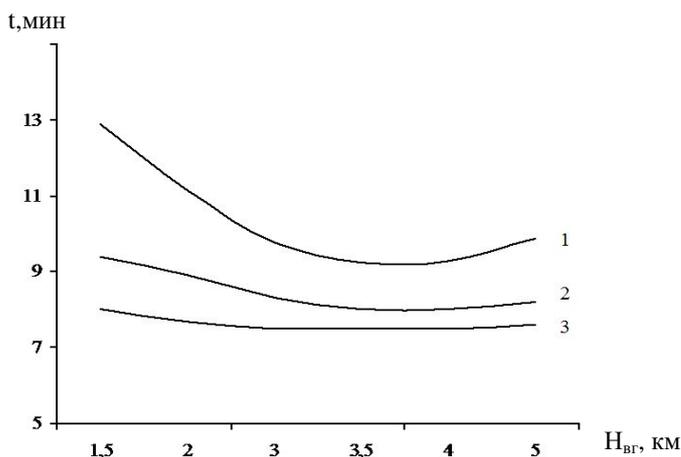


Рис. 3. Время (t, мин) образования осадков в зависимости от условий воздействия (r_0 , $H_{вг}$), 1 – $r_0 = 30$ мкм, 2 – $r_0 = 60$ мкм, 3 – $r_0 = 100$ мкм [8].

В процессе существования облака выделяют три этапа – образование, стабилизация и диссипация облака в результате естественного испарения облачных частиц. Из этого следует, что при интенсификации первого процесса происходит выпадение осадков, а при стимуляции третьего – распад облака.

Расход капель воды и их размер должны быть определены экспериментально при проведении воздействия в зависимости от мощности облака, скорости восходящих токов, температуры воздуха, относительной влажности и др. параметров. При этом исходят из того, что вводимые частицы (водный аэрозоль) могут расти в облаке за счет тех же факторов, которые вызывают рост облачных капель, т.е. за счет конденсации и коагуляции. Выбор начальных размеров вводимых частиц должен производиться с учетом имеющегося в облаке спектра капель. Вводимые частицы должны иметь размеры, большие, чем r_m – радиус облачных капель, соответствующий максимуму в спектре водности на данной высоте.

Типичный размер капель в облаке у нижней границы 5-10 мкм. Вследствие этого за время подъема от уровня образования капель до верхней границы конвективного облака только малая часть облачных капель успевает укрупниться до размера дождевых капель (типичные размеры 500-1000 мкм). Поэтому целесообразно производить засев частицами относительно больших размеров (радиус $r_0 \sim 10-20$ мкм). При использовании в качестве реагента капель воды искусственные осадки появляются через 8-13 мин. после введения реагента в облако.

В случае восходящего потока целесообразно введение реагента под нижней границей облака. При воздействии реагентами такого рода необходимо выбирать частицы с радиусом, лишь несколько большим величины медианного радиуса облачных частиц (r_m) на высоте ввода реагента. Такой вывод основан на том факте, что увеличение размера частиц реагента r_0 не дает значительного увеличения количества осадков, но общее количество расходуемого реагента при этом сильно возрастает.

Если в облаке существуют восходящие потоки в момент воздействия, то частицы с небольшими размерами выгоднее использовать еще и потому, что они поднимаются восходящим потоком на значительные высоты, за счет чего вырастают до размеров осадков.

Образование частиц осадков в естественно развивающихся конвективных облаках происходит за время жизни конвективной ячейки 10–30 мин.

При наличии конвективной неустойчивости в атмосфере происходит непрерывное развитие мощной конвективной облачности. Оптимальная длина линии засева облаков, количество осадков для любых исходных данных о скорости переноса облаков и самолета, высоте верхней границы облаков, мощности облаков рассчитывается по табл. 1 и рисункам 1–3.

Количество реагента введенного в основание облака или в его вершину может играть существенную роль в укрупнении капель. Результаты опытов показали, что при определенных условиях засев теплых облаков каплями воды вызывает осадки. Опыты по разбрызгиванию капель размером около 50 микрон в основаниях облаков были успешными. При воздействии на растущие кучевые облака мощностью до 1500 м они рассеивались, оставляя в некоторых случаях полосы падения. При воздействии на более мощные облака выпадал дождь, который по количественной оценке был существенно более сильным, чем дождь, выпадающий из незасеянных облаков. Однако использование засева облаков каплями воды считалось экономически не выгодным, так как требовалось введение внутрь облака большого количества воды. Вследствие этого метод воздействия каплями воды не нашел применения из-за сложности доставки больших объемов реагента в облако и диспергирования одинаковых размеров капель.

При наличии современных самолетов-танкеров типа Ан-32п, Бе-200п, Ил-76п, способных поднять от 8 до 42 т воды и снабженных струйными форсунками, например, Turbotak [9], позволяющими распылять из одного галлона воды (3,785 л) свыше семи триллионов ($7,2 \cdot 10^{12}$) капель одного радиуса, этот недостаток устраняется. Другим недостатком проводившихся экспериментов по засева каплями воды является отсутствие инициирования цепного процесса (триггерного эффекта) при засева облаков.

СТРУКТУРА КАПЕЛЬ ВОДЫ

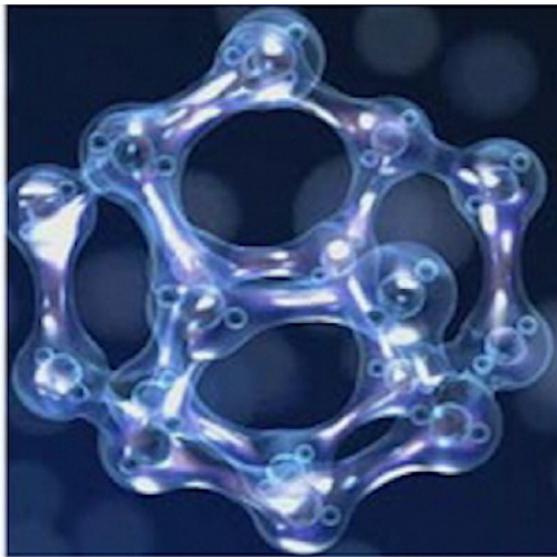


Рис. 4. Капля воды под микроскопом (фото Масару Эмото).

На рисунке 4 показана капля воды под микроскопом, отчетливо видны отдельные ассоциированные кластеры молекул воды и пустоты между ними [10].

Если допустить, что молекула воды представляет собой «твёрдый шарик» радиусом $1,4\text{Å}$, то площадь, занимаемая одной молекулой, будет равна $6,15 \cdot 10^{-16} \text{см}^2$, на 1см^2 площади вплотную разместились бы $1,63 \cdot 10^{15}$ молекул. На самом же деле молекулы при "плотной упаковке" занимают только 0,53 часть площади и 0,38 часть объёма общей массы воды.

Заряженные частицы в атмосфере являются основными источниками ионизации воздуха. Атмосферные ионы возникают в результате ионизации, генерируемой космическими лучами, радиоактивностью почвы, воздуха, грозовой активностью и другими факторами, и играют существенную роль в процессах облако- и осадкообразования в естественных условиях.

Взаимодействие атмосферных ионов с аэрозольными частицами сопровождается, как правило, конденсационным ростом частиц. Это означает, что на начальной стадии развития облачности изменение ее

физических характеристик тесно связано с атмосферными ионами. На стадиях зрелости и диссипации более существенны коагуляционные и контактные процессы в механизмах осадкообразования и электризации [11, 12].

Ионная электризация – один из наиболее исследованных процессов зарядки частиц в атмосфере, однако механизм ионной электризации в облаках не является полностью изученным.

У земной поверхности концентрация легких ионов n_i составляет 10^8 м^{-3} при преобладании положительных ионов по разным источникам $n_1/n_2 = 1,1 \div 1,2$. Прохождение атмосферных фронтов и гроз приводит к существенному увеличению концентрации легких ионов, что свидетельствует об интенсивных процессах ионизации в облаках. Ионизация в облаках происходит при разрушении капель, коронных разрядах между каплями в электрическом поле и других микрофизических процессах. Для рассмотрения взаимодействия ионов с водным аэрозолем необходимо рассмотреть микроэлектрическую неустойчивость капель воды.

МИКРОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ МЕЛКИХ КАПЕЛЬ ВОДЫ

Избирательные свойства поверхности воды связаны с двойным электрическим слоем (ДЭС) на границе вода-атмосфера. ДЭС на границе вода-атмосфера образуется в результате несимметричности молекулы воды, состоящей из двух разнородных атомов. В результате этого, в поверхностном слое жидкости существует слой ориентированных полярных молекул воды, причем молекулы H_2O на поверхности воды ориентированы отрицательными полюсами наружу, а положительными внутрь. Согласно теории Я.И. Френкеля [13], избирательная адсорбция ионов поверхностью воды объясняется более легким проникновением отрицательных ионов через двойной электрический слой, чем положительных. Это обусловлено тем, что под влиянием электрического поля ориентированных диполей (на рис. 4 видно, что положительные полюсы молекул воды в капле направлены в сторону пустот) отрицательно заряженные ионы, попадающие на водную поверхность, начинают двигаться внутрь жидкости, а положительные ионы остаются на поверхности и могут испаряться также, как и молекулы воды.

В результате различия энергетических затрат на преодоление поверхностного слоя ионами противоположных зарядов по обе стороны от водной поверхности происходит формирование областей с электрическим зарядом противоположного знака, и равного значения, то есть на поверхности возникает ДЭС. Максимальный заряд капель (по модулю), при котором происходит их дробление (предел Рэлея) равен [5]:

$$q_R(r) = \sqrt{64\pi^2 \epsilon_0 \sigma_{ПВ} r^3}, \quad (2)$$

где $q_R(r)$ – максимальный заряд капли (по модулю) радиусом r , при превышении которого происходит дробление капли из-за близости одноименных зарядов (предел Рэлея), Кл; ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, равная $8,85418782 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

$\sigma_{ПВ}$ – поверхностная энергия на границе пар – вода при температуре T (при $0^\circ\text{C} = 7,61 \cdot 10^{-2}$ Дж/м²).

Происходит это из-за того, что на поглощение капель ионов (электронов) накладывается дополнительное ограничение, получившее название «предел Рэлея». Известно, что заряженная капля будет испаряться до тех пор, пока внешняя сила электрического поля на поверхности капли не превысит внутреннюю силу ее поверхностного натяжения. Тогда, из-за близости зарядов одного знака капля разлетится на части, образуя несколько более мелких заряженных отрицательно капель [13]. Этот процесс получил название микроэлектрической неустойчивости водного аэрозоля [6].

Для капель различных размеров возможные значения предельных зарядов и пределы Рэлея приведены в табл. 2.

Таблица 2. Предельное число элементарных зарядов на частице [5].

Предел	Диаметр частиц, мкм		
	0,01	1,0	100
Ионный	$3,47 \cdot 10^2$	$3,47 \cdot 10^6$	$3,47 \cdot 10^{10}$
Электронный	$1,72 \cdot 10$	$1,72 \cdot 10^5$	$1,72 \cdot 10^9$
Предел Рэлея	$4,45 \cdot 10$	$4,45 \cdot 10^4$	$4,45 \cdot 10^7$

Максимальное количество ионов и электронов для капли диаметром 100 мкм составляет $3,47 \cdot 10^{10}$ и $1,72 \cdot 10^9$ соответственно. Для сравнения, на дождевой капле диаметром 10 мм в грозу находится около $4 \cdot 10^8$ элементарных зарядов, что составляет 1% предельного заряда [5]. У испаряющихся капель предел Рэлея понижается с уменьшением размера капли. Поэтому, у капель, которые могут испаряться, диаметр будет уменьшаться пока не составит 0,01 мкм. Так как эти капли имеют отрицательный заряд, то они адсорбируются более крупными каплями, увеличивая их размеры. Процесс роста капель в результате баллоэлектрического эффекта вызывает триггерный процесс в механизме осадкообразования.

БАЛЛОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

Впервые электризация жидкости при дроблении была замечена у водопадов Швейцарии в 1786 году. С 1913 года явление получило название баллоэлектрического эффекта [14].

Наибольшая электризация воздуха наблюдается при разбрызгивании чистой воды. С увеличением концентрации примесей, электризация уменьшается и далее меняет знак (в естественных условиях, например, у берегов морей и над морской поверхностью).

Выход электричества различен при разбрызгивании капель разной величины. Для капли диаметром 4,4 мм при скорости падения 6,8 м/с высвобождается заряд $0,89 \cdot 10^{-12}$ Кл/см³, в то время, как для капли диаметром 0,4 мм при скорости падения 4 м/сек отдача заряда составляет 10^{-12} Кл/см³. При наибольшей интенсивности разбрызгивания наблюдается выход заряда порядка 10^{-10} Кл на каплю [14].

Баллоэлектрический эффект наблюдается только у дипольных жидкостей. Основной причиной эффекта является наличие на поверхности жидкости слоя ориентированных диполей, которые создают двойной электрический слой внутри жидкости. Электрическое поле диполей простирается на некоторую глубину внутрь жидкости и концентрирует вблизи ее границ свободные заряды.

Так как при разбрызгивании жидкостей образуются пузыри, в тонкой пленке которых заряд поверхности жидкости уже не будет скомпенсирован зарядом внутренних слоев, в воздух вместе с мельчайшими частицами жидкости уходит и избыточный заряд тонкой пленки пузырей. При адсорбции поверхностью жидкости свободных зарядов из ее внутренних слоев происходит уменьшение эффективной величины электрического поля внутреннего двойного электрического слоя, и затем изменение его знака. Этим объясняется изменение знака электризации при дроблении дипольных жидкостей с добавлением к ним примесей [13]. И.М. Имянитов отмечает, что баллоэффект водяных капель может иметь место только в крупнокапельных осадках [15].

Конвективные теплые облака, из которых не выпадают осадки, представляют собой коллоидальную устойчивую систему. Процесс перехода мощных конвективных облаков из состояния коллоидально-устойчивых в коллоидально-неустойчивые может происходить искусственно вызванным путем. К искусственным методам следует отнести, в частности, инициирование баллоэлектрического эффекта, который возникает в результате электризации капель при разбрызгивании в облаке.

Неустойчивый размер капли наступает при радиусе $\geq 2,5$ мм. Наблюдения показывают, что капли радиусом $> 2,5$ – $3,2$ мм в облаках не встречаются – они сплющиваются и разрушаются, образуя большое число более мелких капель [4]. В лабораторных опытах капли диаметром более 5 мм разбрызгиваются за очень малый промежуток времени [4]. Для капель 4,25–6,25 мм, падающих в спокойном воздухе, число брызг по лабораторным измерениям, колеблется от 3 до 97 (в среднем 30–40). При разбрызгивании образуется несколько капель радиусом около 1 мм и относительно большое число мелких капель. Крупные капли выпадают в виде дождя или ливня, а мелкие поднимаются в восходящем потоке к вершине облака, укрупняясь до критических размеров в результате микроэлектрической неустойчивости [4]. Такая цепная реакция может происходить от 3 до 6 раз с постепенным затуханием по мере вымывания водности из облака. Этот процесс занимает до 30 мин, т.е. соответствует времени жизни конвективной ячейки.

Применение баллоэлектрического эффекта сдерживалось необходимостью доставки к вершине облака большого количества воды. Количество осадков искусственно вызванных путем баллоэлектрического эффекта может превысить количество израсходованной воды на несколько порядков [6, 16].

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА БАЛЛОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МЕТОДА

Экономическую оценку баллоэлектрического метода можно получить на примере засухи на площади посевов пшеницы 10 000 га. Пшеница выращивается в районах, где количество осадков 250-1000 мм/год (Технология выращивания пшеницы/agro-portal.su/). Средняя урожайность пшеницы в РФ 20 – 35 ц/га. Стоимость одной тонны пшеницы ~ 8-10 тысяч руб. Необходимое количество осадков в вегетационный период распределяется неравномерно, из них 50-60% необходимы при выходе растений в трубку и цветение. Предположим, что недостающее количество осадков составляет 125 мм в районе, где выращивается пшеница, потери урожая 10–17 ц/га.

ИВО производится с самолета Ан-32п, грузоподъемность 8 тонн воды. Ориентировочная стоимость одного часа полета $3 \cdot 10^5$ руб, стоимость одной тонны воды – 25 руб. В один из дней вегетационного периода наблюдается ресурсная облачность (в среднем 4–6 дней в месяц). Диаметр растущего конвективного облака 10–20 км, водозапас $1-2 \text{ кг/м}^2$, возобновляемое количество воды составляет 7–40 раз в среднем 23 [1, 2]. При засеивании растущего конвективного облака крупными каплями воды в результате триггерного эффекта получим на рассматриваемой площади ~ 23 мм осадков и более. Для восполнения недостающего количества осадков потребуется ~ 5 вылетов самолета.

Потенциальный экономический эффект оценим по формуле (3) в рублях:

$$\text{Эп} = \text{Пп} - 3 \text{п}, \quad (3)$$

где Эп – экономический эффект потенциальный, Пп – возможные потери урожая, сохраненные в результате ИВО, $3_{\text{п}}$ – затраты на проведение работ по ИВО.

С учетом сделанных оценок потенциальный эффект составит $\sim 10^9$ руб, что определяет рентабельность применения экологически безопасной баллоэлектрической технологии модификации облаков.

ВЫВОДЫ

Предлагаемый баллоэлектрический метод модификации облаков предназначен для искусственного вызывания осадков из конвективных облаков.

Теоретическим обоснованием метода является использование баллоэлектрического эффекта для инициирования триггерного эффекта, известного в геофизических системах при реализации энергии неустойчивости, в частности, при фазовых переходах воды в атмосфере, образовании и выпадении осадков.

Для искусственного вызывания осадков используется естественный природный реагент – крупные капли воды, что экологически безопасно.

Приведенные оценки свидетельствуют о рентабельности применения баллоэлектрической технологии модификации облаков.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-05-00029, № 14-05-10024, № 15-05-10029.

Благодарности. Авторы благодарят А.А. Палея за внимание к работе и полезные дискуссии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тertyshnikov A.V. Основы мониторинга чрезвычайных ситуаций. – Москва, 2013. 261 с.
2. Тertyshnikov A.V. Организация прогнозирования природных чрезвычайных ситуаций. – Москва, 2013. 268 с.
3. Колосков Б.П., Корнеев В.П., Щукин Г.Г. Методы и средства модификации облаков, осадков и туманов. – СПб.: Изд. РГГМУ. 2012. 342 с.
4. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1984. 640 с.

5. Райст П. Аэрозоли. - М.: Мир. 1987. 278 с.
6. Козлов В.Н. Электрические методы искусственного регулирования осадков. Дисс. на соиск. уч. ст. д.т.н. 2013.-307с. [Электронный ресурс] URL:<http://www.voeikovmgo.ru/download/aspirantura/kozlov>.
7. Хоббс П.В. Научные основы, методы и результаты активных воздействий на облака. / Изменение погоды человеком. - М.: Изд. Прогресс. 1972. С. 48-63.
8. Сталевич Д.Д. Об оптимальных условиях воздействия на капельные облака с помощью гигроскопических веществ. //Тр . ГГО. 1961. Вып.117. С.10-25.
9. Форсунки Turbotak [Электронный ресурс] URL:<http://www.turbosonic.com/products/nozzles/turbotak> (дата обращения 19.03.2011).
10. Эмото Масару. Послание воды. - Минск.: Изд. «Попурри». 2006. 144 с.
11. Мучник В.М. Физика грозы. - Л.: ГМИ. 1974. 351 с.
12. Стожков Ю.И., Покревский П.Е., Зулло Ж. мл. и др. Воздействие потоков заряженных частиц на интенсивность осадков.// Геомагнетизм и аэрномия. 1996. Т. 36, № 4. С. 211-216.
13. Френкель Я.И. Теория явлений атмосферного электричества. – Л. - М.: ГИТТЛ. 1949. 155 с.
14. Арабаджи В. И. Загадки простой воды. - М.:«Знание». 1973. 95 с.
15. Имянитов И.М., Чубарина Е.В., Шварц Я.М. Электричество облаков. - Л.: ГМИ, 1971. 94 с.
16. Козлов В. Н., Коршун Н. А. Способ и устройство искусственного регулирования осадков. Патент РФ № 2563933 от 28.08.2015. Заявка № 2013107400 от 19.02.2013.

BALLOELECTRIC METHOD IN ARTIFICIAL RAINFALL INDUCTION

V.N. Kozlov, N.A.Korshun, A.V. Tertishnikov

Viewed are possibilities of precipitation induction with the help of trigger effect caused by water aerosol sprayed from aircrafts. Water aerosol is a natural reagent for active influences.

KEY WORDS: WATER DROPS, IONIZATION, INSTABILITY OF WATER INGREDIENT, AIRCRAFTS, EMERGENCY SITUATIONS.