

Регулируемые восходящие потоки в атмосфере и стимулирование осадков

Аннотация

Рассматривается метод и устройство для создания восходящего на регулируемую высоту потока воздуха в свободной атмосфере, способного преодолеть задерживающие (инверсионные) слои в антициклоне. Основная задача – образование облаков и стимулирование осадков. Возможно применение для рассеивания приземных загрязнений, в горном деле и промышленности. Устройство может использоваться для метеорологических исследований атмосферных процессов в контролируемых условиях.

Задача: Поднять приземный воздух на высоту облакообразования и снабдить его центрами конденсации водяного пара. По пути «пробить» уровни инверсии и преодолеть нисходящие потоки антициклона, запустить мощный самоподдерживающийся за счет конденсации атмосферного пара процесс формирования кучево-дождевых облаков и стимулирования осадков.

Метод: По пути вверх **на нескольких уровнях** подогревать воздух от системы привязных зачерненных аэростатов, нагреваемых солнечным излучением, и насыщать его отрицательными ионами.

Устройство (ГЕЛИАТОР) состоит из многоярусной системы (гирлянды) привязных аэростатов с **зачерненными** баллонами. На каждом ярусе черная поверхность нагревается от Солнца и передает путем конвекции тепло окружающему воздуху, который поднимается вверх, расширяясь и остывая, и достигает следующего яруса. Процесс повторяется на всех ярусах и формирует гибкий регулируемый восходящий поток нагретого воздуха необходимой высоты, на которой водяной пар достигает точки росы и конденсируется в кучево-дождевые облака с выпадением осадков. На ярусах закреплены **заземленные** игольчатые эмиттеры электронов, коронирующие в электрическом поле Земли и снабжающие восходящий поток отрицательными ионами – эффективными центрами конденсации. Высота верхнего и нижнего ярусов, их форма, размеры и расстояния между ними определяются метеоусловиями и поставленной задачей.

Энергетические потребности устройства полностью обеспечиваются излучением Солнца и стационарным электрическим полем Земли. Дополнительных источников энергии и расходных материалов не требуется. Полная экологическая чистота.

Аналогов многоуровневой экологически чистой активации восходящих потоков воздуха с помощью солнечного излучения и электрического поля Земли в мировой практике нет.

Патент RU 2462026, автор В.П. Павлюченко (pavict@rambler.ru), патентообладатель Федеральное Государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН.

Ключевые слова: метеорология, антициклон, кучевые, дождевые облака, осадки, активное воздействие, восходящие потоки, свободная конвекция, искусственные дожди, экология, вентиляция, приземные загрязнения, привязные аэростаты, солнечная радиация, центры конденсации, ионы, коронный разряд, электрическое поле Земли

1. Введение

Глобальный дефицит пресной воды в мире быстро нарастает.

Его следствиями являются засухи, деградация окружающей среды и рост площади пустынь, которые стали стихийным социальным бедствием и затрагивают многие гуманитарные аспекты, требующие пристального внимания и принятия незамедлительных мер. Как сообщил генеральный секретарь ООН Пан Ги Мун в докладе по случаю Всемирного дня водных ресурсов 22 марта 2010 г., на планете каждые 20 секунд от болезни, вызванной недостатком чистой воды, умирает один ребенок. Около четверти земного населения, по исследованиям Всемирной организации здравоохранения, болеют, употребляя плохую питьевую воду.

Экологические катастрофы: Арал, Сахара.

Согласно анализу МГИМО (2011 г.) острый дефицит питьевой воды может возникнуть раньше, чем нефти, с соответствующим обострением межгосударственных конфликтов.

Понимание всей серьезности глобальных тенденций к сокращению жизненного пространства и катастрофическому росту дефицита водных ресурсов отразилось в решениях ООН. Проблема обеспечения питьевой водой и доступ к ее потреблению признается одной из важнейших целей Тысячелетия в области развития, сформулированных в Декларации Тысячелетия ООН в 2000 году.

В 2003 г. (резолюция 58/211) Генеральная Ассамблея ООН объявила 2005 – 2015 годы Международным десятилетием действий «Вода для жизни», а в 2007 году период 2010 – 2020 г.г. объявлен десятилетием ООН, посвященным пустыням и борьбе с опустыниванием (резолюция 62/195).

Периодические засухи в основных зерновых регионах и тяжелые экономические и экологические последствия необычайно жаркого и сухого лета 2010 г. в центральной России наглядно показали важность проблемы даже для умеренных широт в современных условиях и неработоспособность предлагавшихся ранее методов борьбы с засухой.

По обеспеченности пресными водными ресурсами Россия находится на 26 месте в мире (в кубометрах на душу населения в год):

Французская Гвиана 609091, Исландия 539638, Гайана 315858, Суринам 236893, Конго 230125, Папуа Новая Гвинея 121788, Габон 113260, Бутан 113157, Канада 87255, Норвегия 80134, Новая Зеландия 77305, Перу 66338, Боливия 64215, Либерия 61165, Чили 54868, Парагвай 53863, Лаос 53747, Колумбия 47365, Венесуэла 43846, Панама 43502, Бразилия 42866, Уругвай 41505, Никарагуа 34710, Фиджи 33827, Центральная Африканская Республика 33280, **Россия 31 833.**

Снизить напряженность ситуации с пресной водой, особенно для экологии и сельского хозяйства, может принудительная активизация осадков, которой посвящен настоящий проект. В атмосфере всегда есть влага, полное количество водяных паров в атмосфере более чем в шесть раз превышает количество пресной воды во всех реках земного шара. Даже небольшой ливень - это тысячи тонн пресной воды.

В общем случае применение метода безопасно снижает запас накопленной в виде тепла и влаги энергии в атмосфере и локально уменьшает риск катастрофических атмосферных явлений. Сглаживаются колебания погодного маятника «засуха – наводнение».

2. Физические основы осадкообразования

Основой осадкообразования является конденсация атмосферного водяного пара при его охлаждении до точки росы (100% относительная влажность).

В летних условиях осадки выпадают в виде дождя, мороси и, реже, града.

Морось и мелкодисперсные обложные дожди возникают на больших площадях из облаков восходящего скольжения в области атмосферных фронтов, когда вертикальная составляющая скорости воздушных потоков не превышает десятков сантиметров в секунду. Человеку пока не под силу влиять на формирование и движение атмосферных фронтов длиной в сотни и тысячи километров.

Если скорость восходящих потоков превышает 0.5 – 1 м/сек, то в естественных благоприятных условиях возникают конвективные кучево-дождевые облака вертикального развития, дающие ливневые осадки, сравнительно непродолжительные и ограниченные по площади. Иногда, при большом запасе тепла и влаги в атмосфере, их вершина может достигать высот 10 – 12 км, где температура около -50°C , в центральной части такого облака восходящие потоки имеют скорости до нескольких десятков м/сек, облака развиваются в грозовые с обильными осадками.

В дальнейшем внимание будет уделено именно кучевым облакам, которые из-за неблагоприятных условий в жарком сухом антициклоне самостоятельно не могут развиваться в кучево-дождевые.

Влажность. В слое 0 - 1.5 км над уровнем моря в атмосфере содержится около 50 % всего количества атмосферного водяного пара, а в слое 0 - 5 км – до 90%. В среднем над каждым квадратным метром земной поверхности в воздухе находится 28,5 кг водяного пара ($\sim 15 \text{ кг/м}^2$ в Арктике/Антарктике; $\sim 25 \text{ кг/м}^2$ в Средней Азии и над всеми пустынями в сухом континентальном воздухе; до 53 кг/м^2 в приэкваториальных широтах мирового океана).

В атмосфере не может содержаться количество водяного пара, превышающее предельное (f_{\max}) при заданной температуре (точка росы). Если количество пара превышает предельное или температура понижается, излишний пар конденсируется.

Таблица 1

Максимальное количество водяного пара в воздухе при заданной температуре

Точка росы ($^{\circ}\text{C}$)	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
f_{\max} (г/м ³)	0,29	0,81	2,1	4,8	9,4	17,3	30,4	51,1	83,0	130	198	293	423	598

Например, если в жаркую сухую погоду (40°C) относительная влажность 40%, то в 1 м^3 воздуха содержится около 20 г пара, и если этот воздух охладить до $20-22^{\circ}\text{C}$, наступит насыщение и начнется конденсация.

Атмосфера состоит, в основном, из азота (78%), кислорода (21%), более редких газов и водяного пара. В стационарном состоянии температура в ней в среднем понижается с высотой на 0.65 градуса на 100 м. В антициклоне обычно возникают **инверсии** – отклонение вертикального распределения температур от нормального (падение температуры с высотой замедляется или меняет знак). Инверсии создают задерживающие слои и препятствуют восходящим потокам.

Непосредственно от Солнца атмосфера из-за прозрачности нагревается мало, сильнее нагревается подстилающая поверхность, которая передает тепло воздуху. Эффективность нагрева воздуха от поверхности посредством конвекции в сотни раз выше эффективности нагрева от излучения и в сотни тысяч раз — от передачи тепла путем молекулярной теплопроводности.

Из-за разности температур разных участков земли возникают локальные восходящие потоки нагретого воздуха, поскольку он легче холодного. Нагревающийся у поверхности воздух устремляется вверх с ускорением $a = g (\Delta T/T)$ за счет силы Архимеда. Здесь g – ускорение свободного падения, T – абсолютная температура воздуха, ΔT – разность температур в потоке и вне его. Если поднимается ненасыщенный воздух, температура вследствие адиабатического расширения в поле тяготения Земли падает на 1 градус на 100 м (сухая адиабата), т.е. быстрее, чем в стационарной атмосфере, поэтому нагретые у земли восходящие потоки сравнительно быстро остывают до температуры окружения и подъем прекращается, особенно быстро температуры выравниваются в инверсионном слое. **Инверсии – основное препятствие для осадкообразования в антициклоне (Рис. 1).**

Дополнительным стимулом восходящего потока может быть также локальная повышенная влажность, так как сухой воздух при равных температурах тяжелее влажного. При достаточно высокой начальной влажности и температуре поднимающийся воздух иногда успевает охладиться до точки росы прежде, чем остановится. Тогда начинается конденсация, воздух дополнительно подогревается (при конденсации 1 г воды выделяется около 600 калорий, что подогревает 1 м³ воздуха на 2 градуса), и подъем продолжается с более медленным падением температуры за счет внутреннего нагрева от конденсации (влажная адиабата). Именно этот мощный самоподдерживающийся механизм придает высокие скорости восходящим потокам внутри кучевых облаков вертикального развития.

Конденсация водяного пара начинается при понижении температуры до точки росы (насыщенный пар) и происходит на центрах конденсации, при их отсутствии требуется значительное пересыщение пара. Центрами могут быть аэрозоли (размеры меньше 1 мкм), смог, пыль, заряженные ионы и т.п. Особенно эффективно конденсация идет на отрицательно заряженных частицах.

Результат конденсации – **капли воды**. Капли в период образования облака имеют диаметр 1- 50 мкм (туман). В процессе развития образуются капли диаметром 50 - 200 мкм (морось), которые начинают медленно падать, но не всегда достигают уровня земли из-за испарения по пути. В дальнейшем диаметр капель может увеличиваться до 500 - 5000 мкм (дождевые капли) за счет коагуляции мелких капель. Обычно это происходит в средней части кучево-дождевого облака, где восходящие потоки удерживают мелкие капли от падения, давая им достаточно времени на слипание. Первыми до земли доходят наиболее крупные капли, частично испаряясь по пути, охлаждая и увлажняя воздух, следом выпадают все более мелкие.

В атмосфере постоянно образуются заряженные **ионы** (в глубине атмосферы, в основном, космическими лучами). Обычно это оторванный от нейтрального атома электрон и оставшийся положительно заряженный атом, т.е. пара частиц со скомпенсированным зарядом. Средняя концентрация таких ионов устанавливается в результате уравнивания скорости их возникновения скоростью их исчезновения вследствие рекомбинации. Отдельные электроны быстро (за 10^{-8} – 10^{-6} сек) присоединяются к молекулам кислорода O_2 или азота N_2 , причем к молекулам O_2 – с выделением тепла за счет энергии сродства кислорода к электрону. Легкие ионы – атомы или молекулы - могут оседать на аэрозолях, взвешенных в атмосфере, образуя более крупные и тяжелые ионы с массами, во много раз большими, чем масса легких ионов.

Ионы оказывают существенное влияние на конденсационные процессы: именно на ионах, образованных при пролете заряженных частиц, происходит быстрая конденсация паров и визуализация треков частиц в камере Вильсона.

3. Барические системы

Циклон – обширная область низкого давления. Воздух поднимается вверх в виде воронки с вращением в Северном полушарии против часовой стрелки, а в Южном – по часовой стрелке. При подъеме воздух расширяется, адиабатически охлаждается, водяные пары конденсируются, выпадают осадки.

Антициклон – область высокого давления. Воздух опускается вниз с вращением в обратном циклону направлении. Холодный воздух при спуске сжимается, нагревается, иссушается, осадков практически не выпадает. Опускающийся воздух растекается от центра антициклона к периферии, из-за чего ветер в антициклоне существенно слабее, чем в циклоне, в котором потоки воздуха сходятся к центру (сохранение момента количества движения). Температура каждого опускающегося слоя возрастает на 1°C на 100 м, поэтому слои, опустившиеся с большей высоты, проходят большее расстояние по вертикали и больше нагреваются. Так возникают **антициклонические инверсии свободной атмосферы**, образуя задерживающие слои и препятствуя восходящим конвективным потокам (Рис. 1). Толщина инверсионных слоев изменяется от нескольких метров до километров, а скачок температуры — до 10 и более градусов Цельсия.

Эти два процесса вместе с атмосферными фронтами являются основными факторами формирования погоды. На Рис. 2 слева от облаков – график зависимости температуры воздуха от высоты (сплошная линия) и точки росы от высоты (штриховая). В антициклоне (2) при малом запасе влаги восходящий поток не преодолел мощную инверсию. Облако образовалось под ней, следовательно, уровень конденсации лежит ниже уровня инверсии, в противном случае была бы безоблачная погода. В циклоне (1) показаны два уровня слабой инверсии, через которые пробилось мощное кучевое облако за счет внутреннего подогрева от конденсации атмосферного пара с частичной задержкой (горизонтальные расплзания облака).

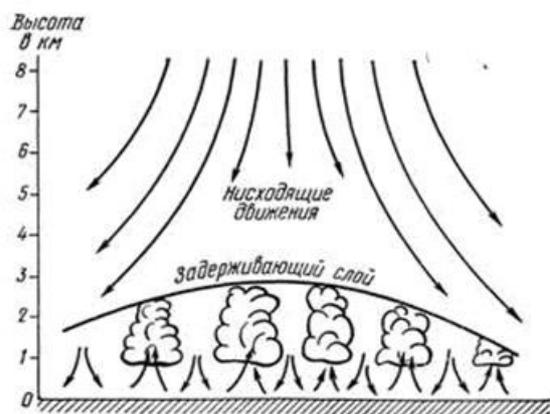


Рис. 1. Схема погоды в летнем антициклоне. Под куполом мощного (1) – Циклон, низкое давление, восходящие задерживающего слоя (инверсии) потоки, конвективное кучевое облако большой могут формироваться локальные высоты с осадками. (2) – Антициклон, высокое восходящие и нисходящие давление, нисходящие потоки, небольшое атмосферные потоки.

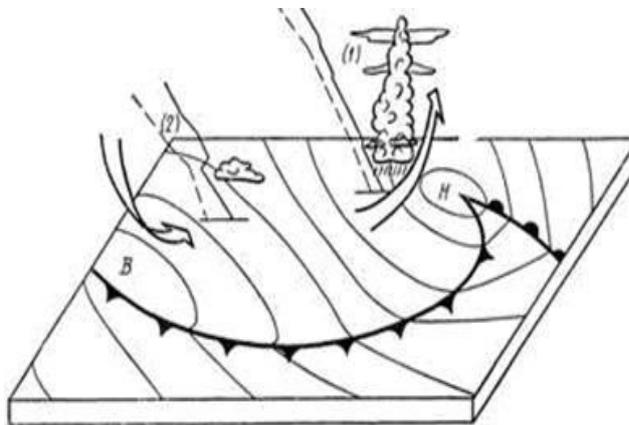


Рис. 2. Основные барические системы.

(1) – Циклон, низкое давление, восходящие потоки, конвективное кучевое облако большой могут формироваться локальные высоты с осадками. (2) – Антициклон, высокое давление, нисходящие потоки, небольшое атмосферные потоки.

4. Искусственные осадки

История борьбы с засухой, по-видимому, ровесница истории земледелия, часто – это вопрос выживания. Там, где было невозможно орошение, применялись всевозможные, в том числе довольно экзотические (колдовство, жертвоприношения и т.п.) способы вызывания дождя. В XVIII – XIX веках было замечено, что во время войн крупные артиллерийские сражения (с применением дымного пороха), начавшись в ясную погоду, часто заканчивались проливными дождями. Начались эксперименты по целенаправленному воздействию на осадкообразование.

В настоящее время хорошо отработано **активное воздействие на облака** для их осаждения с применением йодистого серебра, сухого льда, цементной пыли и других веществ в качестве дополнительных центров конденсации. Для этой же цели в одном из методов предлагается использовать более экологичный способ – генерацию дополнительных ионов путем облучения облаков с самолета пучком электронов умеренных энергий. Такой пучок полностью поглощается в атмосфере, не доходя до земли, но большое число ионов активизирует конденсацию.

В 1961 г во Франции был запатентован **огневой метеотрон** со сжиганием нефти в форсунках на большой площади для конденсации облаков с выпадением осадков даже при безоблачном небе, мощность установки – мегаватты. Нагретый воздух с продуктами сгорания поднимался вверх, появлялись облака, из которых иногда шел дождь. Позже для этой цели использовались отработавшие свой срок авиационные двигатели. Широкое применение метод не получил по экологическим и экономическим соображениям.

Более экологически чистым является **солнечный метеотрон**, в котором воздух нагревается от наземной поверхности большой площади, зачерненной искусственно. Этот механизм, несомненно, работает в естественных условиях при высокой температуре и достаточной влажности воздуха, если нет сильной инверсии. В антициклоне благоприятные условия выполняются далеко не всегда, и нагретый у земли восходящий поток, будучи предоставлен сам себе, чаще всего затухает в слоях инверсии из-за турбулентного охлаждения и недостаточной мощности начального нагрева (в малооблачный день на 1 м² земной поверхности приходит около 1 КВт солнечной радиации).

Здесь не рассматриваются другие многочисленные предложения, работоспособность которых не подтверждена. В этом смысле наиболее показательным было лето 2010 г., когда в Московском регионе около двух месяцев из-за мощного антициклона при высокой температуре висел удушливый смог от лесных и торфяных пожаров, был отмечен рост смертности населения по сравнению со средней многолетней, но искусственно вызвать осадки или хотя бы рассеять приземные загрязнения не удалось. Следует отметить, что тогда был практически реализован огневой метеотрон большой площади, но он не пробил инверсию антициклона. Более того, произошло усиление инверсии, т.к. солнце сильнее прогрело верхние слои из-за смога.

5. Предлагаемый метод и устройство для его реализации (ГЕЛИАТОР)

Для искусственного осадкообразования в антициклоне требуется **одновременное выполнение двух необходимых** условий:

1. Наличие и рациональное использование **источника энергии** для создания и поддержания достаточно быстрых восходящих потоков, способных пробить задерживающие инверсионные слои и нисходящие потоки в антициклоне и достичь высоты, на которой включается мощный самоподдерживающийся за счет конденсации пара процесс вертикального развития конвективного облака.

2. Насыщение области конденсации необходимым количеством **центров конденсации**.

Дополнительные условия: экологическая чистота и низкая себестоимость.

Суть настоящего метода состоит в использовании солнечного излучения для нагрева многоуровневой системы (многоярусной гирлянды) привязных аэростатов с зачерненными баллонами, которые отдают тепло окружающему воздуху и создают восходящий поток свободной конвекции. На ярусах закреплены заземленные, коронирующие в электрическом поле Земли излучатели отрицательных ионов – эффективных центров конденсации.

При этом выполняются все условия, необходимые для искусственного осадкообразования:

- Солнце является наиболее экологически чистым и повсеместно доступным источником энергии, формирующим погоду в естественных условиях. На верхнюю границу атмосферы от Солнца поступает 1366 Вт/м^2 , а в малооблачную погоду до уровня земли доходит около 1 кВт/м^2 . На суше основная часть этой энергии идет на нагрев земной поверхности (до 90%), остальная часть переизлучается вверх. Следовательно, на всех уровнях в атмосфере облучение зачерненной поверхности и ее нагрев со всех сторон составит величину не менее 1 кВт/м^2 . Нагрев поверхности идет до тех пор, пока не установится динамическое равновесие притока энергии и ее ухода за счет теплообмена с окружающим воздухом, в основном, путем конвекции ($\leq 10\%$ уходит в инфракрасное излучение), формирующей восходящий поток в атмосфере.

- Использование многоуровневой системы является наиболее рациональным способом подогрева восходящего потока – энергия (подогрев) подается в восходящий поток конкретно тогда и туда, когда и куда она больше требуется в настоящий момент.

- Закрепленные на каждом ярусе заземленные игольчатые эмиттеры электронов, создающие коронный атмосферный разряд в постоянном электрическом поле Земли, снабжают восходящий поток отрицательными ионами, высокоэффективными экологически чистыми центрами конденсации.

- Полная экологическая чистота обеспечивается отсутствием расходных материалов и использованием солнечной энергии. Более того, искусственно созданный нагретый Солнцем восходящий поток эффективно уносит приповерхностные загрязнения и тепло и рассеивает их в верхних слоях атмосферы. Увеличение облачности, охлаждающий и очищающий приземную атмосферу дождь также снижают нагрев и улучшают экологию во время засушливого антициклона.

- Низкая себестоимость является следствием простоты конструкции. Не требуются расходные и другие дорогостоящие материалы. Энергетические потребности полностью обеспечиваются излучением Солнца и постоянным электрическим полем Земли.

Система работает следующим образом. В малооблачный день с хорошо заземленного пункта запускаются один за другим баллоны, заполненные газом легче воздуха и объединенные единой системой привязных тросов. Именно в солнечную погоду, в условиях антициклона со слабым ветром, требуется искусственное создание

восходящих потоков и облаков. Поверхности баллонов зачернены для лучшего поглощения солнечной радиации. Баллоны крепятся к рамам (их формы могут быть различными) и собраны в расположенные друг над другом ярусы. Внизу может быть расположен наземный зачерненный слой.

Рассмотрим ярус замкнутой формы в виде многоугольника или тора (бублика), образованного согнутым по окружности и наполненным газом цилиндрическим рукавом, прикрепленным к раме в форме обода велосипедного колеса. Рама обеспечивает жесткость яруса и крепится к привязным тросам. Между ободом рамы и ее центром натянуты стягивающие провода (спицы), играющие также роль эмиттеров электронов. Для усиления тока эмиссии применяются игольчатые и лезвийные острия. Один из привязных тросов соединен с эмиттерами и является заземляющим проводником, а остальные, для безопасности, изоляторы из синтетических волокон. Для оболочки баллонов наиболее эффективно применение легкой зачерненной металлизированной синтетической пленки с хорошей теплопроводностью типа лавсан (майлар). Она хорошо удерживает газ при атмосферном давлении, противостоит ультрафиолету и выравнивает температуры нагрева солнечной и теневой сторон оболочки (наряду с циркуляцией газа внутри баллона). Для увеличения площади солнечного нагрева навешивается дополнительный легкий зачерненный материал по периметру и/или между ярусами. Привязные тросы необходимой длины крепятся к лебедкам.

Зачерненные баллоны всех ярусов нагреваются Солнцем и отдают тепло окружающему воздуху, в результате в каждом ярусе образуется кольцевой факел свободной конвекции теплого воздуха, окружающего нагретые поверхности. Теплый воздух легче холодного и поднимается вверх с ускорением за счет силы Архимеда, постепенно охлаждаясь из-за расширения и турбулентного перемешивания на периферии с окружающим воздухом, причем нагретый факел сжимается к оси симметрии. Происходит автоматическая самофокусировка конвективного потока (Рис. 3). Процесс подогрева повторяется на всех ярусах вплоть до верхнего. **Высота между ярусами подбирается так, чтобы воздух в восходящем потоке, не успев остыть до температуры окружения, достиг следующего яруса,** в противном случае единая система ГЕЛИАТОР разбивается на самостоятельные солнечные метеотроны малой площади и эффективности.

Вдоль вертикальной оси установки формируется восходящий поток нагретого в контролируемых условиях воздуха в виде гибкого ствола необходимой высоты. Преодоление нисходящих потоков и инверсий в атмосфере регулируется автоматически: если скорость восходящего потока замедляется, то происходит более интенсивный его прогрев на соответствующих ярусах из-за более продолжительного контакта с баллонами. Дополнительная "ручная" регулировка производится изменением расстояний между ярусами и/или навешиванием дополнительных поверхностей нагрева в области инверсии.

На Рис. 3 приведен результат расчета восходящего потока для двух нижних ярусов многоярусной системы в предположении, что температура нагретых баллонов равна 40°C , а температура окружающего воздуха 20°C (перепад температур для черных поверхностей на солнце и в тени составляет от 15° до 40°C). Диаметр яруса 20 м, диаметр баллона 3 м, расстояние между ярусами 25 м, высота нижнего яруса над землей 10 м. Из рисунка видно, что заданные расстояния между ярусами и высоту нижнего можно увеличивать без заметной потери скорости потока, что уменьшит число ярусов и сэкономит материал при неизменной высоте всей установки.

Нагретый описанным способом на нескольких уровнях регулируемый восходящий поток способен преодолеть инверсные слои и на выходе из верхнего яруса достичь высоты, на которой начинается конденсация водяного пара и возникает мощный самоподдерживающийся процесс формирования облака за счет непрерывного засасывания приземного воздуха. Из Рис. 3 видно, что вовлечение воздуха в поток происходит, в основном, из нижней части приземного слоя, в котором количество влаги и аэрозолей

(пыли, дыма, сажи и т.д.) максимально, что вместе с долгоживущими ионами создает эффективные центры конденсации. В данном случае происходит очистка (вентиляция) приземного воздуха от загрязнений, и эти загрязнения, будучи подняты вверх, играют важную положительную роль в процессе конденсации влаги.

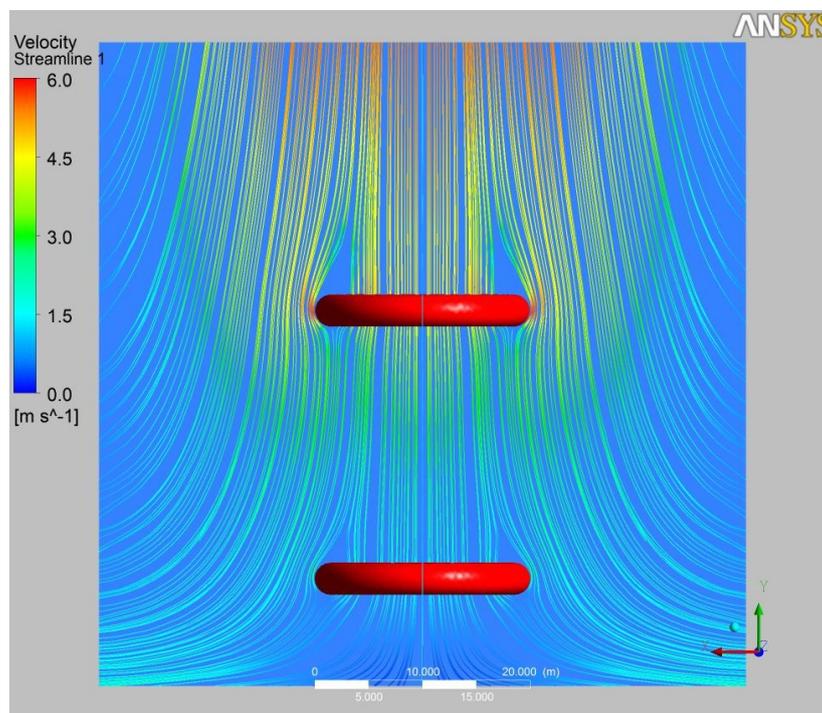


Рис. 3. Расчетное распределение скоростей подогретого воздуха в восходящем потоке системы ГЕЛИАТОР (2 нижних яруса, расчет Л.Л. Теперина).

Разность потенциалов между ионосферой и поверхностью Земли составляет около +400 кВ, она вызывает постоянный слабый ток в атмосфере, приносящий на поверхность Земли в среднем около 60 кулон на 1 км² в год и разряжающий конденсатор Земля – ионосфера. Отрицательный заряд Земли восстанавливается во время гроз разрядами молний и током коронных разрядов с любых заземленных острий.

Коронный разряд – это тлеющий самостоятельный электрический разряд, возникающий в газе в резко неоднородном высоковольтном электрическом поле вблизи электродов с малым радиусом кривизны. Чем меньше радиус кривизны, тем больше поле при одинаковой разности потенциалов. На первых 2 км электрическое поле в спокойной атмосфере составляет около 100 – 130 В/м, поэтому, начиная с высоты 300 метров, разность потенциалов между заземленными эмиттерами и эквипотенциалами в атмосфере на этом уровне составит 30 и более кВ. При таких условиях коронный разряд на тонких проводниках, а тем более на остриях, идет интенсивно, ток ограничивается только величиной накопленного возле острия объемного заряда, экранирующего поле. Электроны прилипают к нейтральным молекулам или микрочастицам и образуют эффективные **нескомпенсированные** долгоживущие заряженные центры конденсации с подвижностью около 1 – 5 см/сек в электрическом поле Земли.

Внутри каждого яруса имеется система заземленных проводов-эмиттеров с остриями, сквозь которую проходит восходящий поток (скорость – метры/сек, много больше подвижности электронов), поэтому он уносит вверх накопленный отрицательный объемный заряд, причем сила, действующая на него в поле Земли, добавляется к силе Архимеда восходящего потока.

Для **начала конденсации** в атмосфере требуется, чтобы водяной пар находился при температуре не выше точки росы, а для **эффективной конденсации** требуется хотя бы

небольшое пересыщение и наличие в воздухе центров (ионы, аэрозоли и т.п.), на которых начинается конденсация. Именно при небольших пересыщениях имеет значение знак заряда: на отрицательных ионах конденсация идет намного эффективнее, чем на положительных (Вильсон, Русанов).

Размеры ярусов, их число, расстояния между ними, высота нижнего и верхнего определяются метеоусловиями и поставленной задачей (искусственные осадки, очистка воздуха от загрязнений, тумана и др.).

Сборка ярусов идет на земле. Собирается рама, крепится к тросам, натягивается система эмиттеров-спиц, к раме крепятся баллоны. Для уменьшения радиуса кривизны эмиттеров используется та же металлизированная пленка, что и для баллонов, с разрезами (бахрома). Поскольку толщина металлизированного слоя порядка микрона, то длинные стороны полосок играют роль лезвийных эмиттеров, а углы – острых.

Производится регулировка подъемной силы в реальных условиях. Для этого последовательно, начиная с верхнего, баллоны заполняются газом легче воздуха, и ярусы запускаются в воздух. Объем газа для очередного яруса подбирается так, чтобы суммарная подъемная сила поднятых ярусов оставалась примерно одной и той же. Ярусы после балансировки крепятся плашмя к земле для минимизации парусности.

При рабочем подъеме ярусы последовательно, начиная с верхнего, снимаются с креплений и запускаются в воздух. **При запуске, спуске, всех регулировочных и монтажных работах должно быть хорошее заземление.**

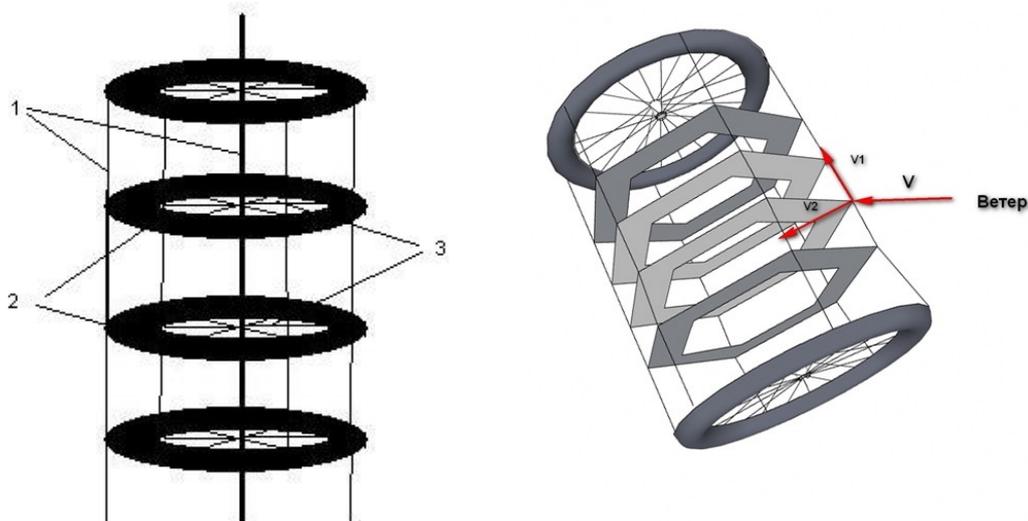


Рис. 4. Возможные схемы устройства ярусов многоуровневой системы ГЕЛИАТОР.

Слева – простая система из баллонов, 1- силовые тросы, один из тросов заземлен, токи малы, большое сечение проводника не требуется; 2- зачерненные баллоны с газом (рукава из металлизированного майлара/лавсана), 3- проводящий заземленный каркас типа велосипедного обода со спицами-эмиттерами.

Справа – вариант с дополнительными четырьмя поверхностями нагрева между баллонами.

На Рис. 4 (справа) между баллонами помещены дополнительные поверхности нагрева. Показано разложение действия горизонтального ветра на гирлянду: составляющая V_1 – ускоряет восходящий поток, V_2 – наклоняет установку. Дополнительные поверхности также могут быть в форме тора для улучшения устойчивости системы (с точки зрения аэродинамики) при горизонтальном ветре.

6. Количественные оценки

Вес. Пусть диаметр баллона = 3 м (возможно использование нескольких концентрических баллонов меньшего диаметра), а диаметр яруса = 20 м, высота яруса между несущими баллонами = 100 м с тремя дополнительными поверхностями, закрепленными на тросах (Рис. 3, 4). Тогда объем баллона = 444 м^3 , подъемная сила полностью заполненного гелием баллона – около 470 кГ (из-за того, что сам баллон и газ нагреты на ≥ 20 градусов выше температуры окружающего воздуха, появляется дополнительная подъемная сила ~ 25 кГ). Поверхность баллона = 592 м^2 , вес оболочки с дополнительными поверхностями площадью $800 \text{ м}^2 = 28$ кГ при удельном весе лавсановой пленки 20 г/м^2 . Вес 600 м тросов = 10 кГ (6 тросов из кевлара, диаметр 4.5 мм, вес 1.6 кГ/100 м, нагрузка на разрыв 1900 кГ), вес 20 проводов-спиц диаметром 1 мм = 3 кГ (прочность на разрыв 1.3 Т), вес обода (жесткий профиль, пластик) = 30 кГ. Суммарный вес яруса около 70 кГ, т.е. баллон для нейтральной плавучести требуется заполнить газом только на 0.15 - 0.2 его объема, и он будет иметь форму плоского кольца шириной 4.5 м, создающего малое сопротивление горизонтальному ветру при максимальной площади нагрева. Баллон может состоять из отдельных секций для удобства транспортировки и для блокировки перетекания газа при наклоне яруса.

При хорошо отработанной технологии изготовления и запусков системы ГЕЛИАТОР возможно его существенное удешевление путем замены гелия и кевлара.

Боковой ветер. Большой диаметр восходящего потока, на Рис. 3 он в 2 - 3 раза больше диаметра яруса, самофокусировка кольцевого факела и наклон самой установки из-за парусности ярусов (Рис. 4) противодействуют выдуванию восходящего потока из системы горизонтальным ветром. Тангенс угла наклона оси установки от вертикали определяется отношением силы лобового сопротивления яруса горизонтальному ветру к подъемной силе яруса с учетом восходящего потока. Лобовое сопротивление составляет около 1.5 кГ/м^2 при ветре 5 м/сек и изменяется пропорционально квадрату скорости ветра. Если подъемная сила подобрана правильно, то наклон оси установки автоматически отслеживает наклон оси факела конвекции, и его выдувания за пределы яруса не происходит. Более того, из-за наклона составляющая горизонтального ветра, параллельная оси установки, будет ускорять восходящий поток. При усилении горизонтального ветра (признак разрушения антициклона) систему требуется опускать. В Московском регионе число дней с ветром выше 5 м/сек невелико и в сумме за май – август 2009 – 2012 годов составило не более 10 дней (<http://www.gismeteo.ru/>).

Нагрев. Освещаемая поверхность баллона одного яруса зависит от положения Солнца и составляет в среднем 250 м^2 . При дополнительной поверхности 800 м^2 поглощаемая солнечная энергия составит 900 – 1000 кВт на каждом ярусе с учетом затенений. При средней скорости восходящего потока 2 м/сек (внутри яруса скорость больше, Рис. 3) такая мощность позволит подогреть воздух в среднем на 2.5°C на каждом ярусе (при скорости 1 м/сек нагрев будет на 4.3°C). Пусть на пути до следующего яруса (25 м) воздух охлаждается на 0.5° за счет боковых включений и адиабатического расширения, тогда после 10 ярусов поток сможет преодолеть температурный скачок в 20°C даже без учета инерции поднимающегося воздуха. Реальный скачок бывает меньше. Охлаждение на 0.5° предполагает большое 15%-20% примешивание окружающего воздуха через боковую поверхность восходящего потока. **Примешивание обратно пропорционально радиусу яруса.**

Производительность. Согласно расчету (Рис. 3) диаметр восходящего потока составляет около 50 м, площадь его поперечного сечения примерно 2000 м^2 . Средняя скорость потока растет по мере дополнительного подогрева на все более высоких ярусах, и на выходе из последнего яруса на уровне конденсации составляет не менее 10 м/сек, т.е. в 1 секунду выходит 20000 м^3 воздуха с абсолютной влажностью 10 – 30 г/м³. Если принять, что из них конденсируется 5 г/м³ (средняя влажность летних кучево-дождевых

облаков), то в секунду получается 100 кг конденсата, или за 1 час – около 360 тонн воды в облаке только за счет поднятого ГЕЛИАТОРОМ восходящего потока. Попутно можно отметить, что масса выходящего воздуха составляет около 25 тонн/сек, его импульс 2.5×10^4 кг·м/сек, он уносит около 1 МВт механической энергии.

Формирование кучевого облака. На выходе из последнего яруса нагретый воздух, продолжая по инерции подниматься вверх, растекается в поперечном направлении и постепенно остывает до точки росы. Начинается конденсация водяного пара в туман с объемным подогревом воздуха вблизи центральной части облака. На самой периферии облака при перемешивании с окружающим сухим воздухом происходит частичное испарение тумана с формированием нисходящих периферийных холодных потоков. При конденсации 5 г пара кубометр воздуха нагревается на 10 градусов. Это очень сильный нагрев, и он растянут на сотни и тысячи метров по высоте. За это время в центральной части облака восходящие с ускорением потоки уносят сохранившийся пар на высоту, где температура окружающего воздуха становится все ниже, насыщение пара наступает при меньшей абсолютной влажности (Табл. 1), оставшийся пар дополнительно конденсируется и т.д. При динамическом равновесии конденсация – испарение на высоте нулевой изотермы в конденсат может переходить до 5 – 15 г/м³, т.е. 100 – 300 кг/сек в объеме восходящего потока. Если принять минимальную оценку в 100 кг/сек, то тепловыделение в облаке составит 60 мегакалорий/сек или **250 мегаватт** мощности, в то время как мощность солнечной энергии, затраченной на нагрев восходящего потока, пропорциональна числу ярусов, и при 10 – 20 ярусах составляет **10 – 20 МВт**.

Начало конденсации пара в поднятом ГЕЛИАТОРОМ приземном воздухе запускает самоподдерживающийся процесс конвекции, мощность которого существенно превосходит мощность солнечного нагрева.

Итог. Выделившаяся большая мощность дополнительно ускоряет начинающийся у земли восходящий поток за счет тяги (подсоса) вверх в кучевом облаке, увеличивая в несколько раз его эффективный радиус и производительность, улучшая его устойчивость к боковому ветру и помогая преодолевать задерживающие слои антициклона. Поднимающийся с ускорением поток приземного воздуха, как и в циклоне, начинает закручиваться против часовой стрелки, дополнительно улучшая устойчивость восходящего потока к боковому ветру (минициклон).

Кроме описанных механизмов существует еще трудно оцениваемый вклад в подъемную силу восходящего потока от нагрева проводников, эмиттеров, тепловыделения энергии сродства электронов к молекулам кислорода и воды при обогащении восходящего потока отрицательными ионами, положительной разности влажностей приземного воздуха и воздуха более высоких уровней. Все оценки сделаны по минимуму.

Из оценок видно, что ни одна из характеристик, кроме радиуса ярусов, не критична и может изменяться в достаточно широких пределах. **Критическое значение радиуса**, зависящее от метеоусловий, должно быть экспериментально подобрано так, чтобы обеспечить запуск самоподдерживающегося процесса конденсации.

7. Заключение

Проблема пресной воды и обострение экологических проблем как в мире, так и в сравнительно благополучных средних широтах настоятельно требует решения, что признано на уровне ООН.

Система ГЕЛИАТОР предназначена именно для этих целей – стимулирования осадков с целью замедления деградации окружающей среды в засушливых условиях. Она включается (гирлянда поднимается в воздух) по мере необходимости и выключается (опускается), если необходимости нет.

Основные отличительные свойства метода – экологическая чистота, простота конструкции, малая стоимость, возможность многократного использования, мобильность, отсутствие расходных материалов и дополнительных источников энергии. Вся энергетика обеспечивается солнечным излучением и электрическим полем Земли.

Метод многоуровневой обработки восходящего потока в атмосфере принципиально отличается от наземных методов. Он позволяет на любых высотах поддерживать регулируемое превышение температуры потока над окружающим воздухом и, соответственно, регулировать его подъемную силу. Использование гирлянды привязных аэростатов формирует гибкий центральный ствол восходящего потока, снабжая его отрицательно заряженными ионами – центрами конденсации водяного пара. Гибкий ствол автоматически отслеживает изменение горизонтального ветра на разных высотах и препятствует выдуванию нагретого воздуха из системы ГЕЛИАТОР.

Использование пресной воды из наземных источников порождает конкуренцию между промышленностью и сельским хозяйством. Так как 1000 тонн воды может быть использована на производство 1 т пшеницы стоимостью 200 долларов или на прирост промышленной продукции стоимостью 14000 долларов, то промышленность обычно побеждает в борьбе за воду (Brown L. et al, 1999). В этом смысле осадки преимущественно используются для целей экологии и сельского хозяйства.

Искусственный восходящий поток уносит вверх и рассеивает тепло и загрязнения нижних слоев атмосферы, вызывая осадки, вентиляцию и охлаждение воздуха.

При множественном использовании установок ускоряется кругооборот влаги в атмосфере. Несколько работающих поблизости установок могут в локальных масштабах безопасно снизить запас накопленной энергии в атмосфере (в виде тепла и влаги) и уменьшить в этой зоне риск катастрофических атмосферных явлений. Сглаживаются колебания погодного маятника «засуха – наводнение».

Размещение на ярусах метеорологических приборов позволяет исследовать в динамике физику атмосферных процессов в регулируемых условиях.

Следует еще раз подчеркнуть, что вся энергетика устройства обеспечивается излучением Солнца и электрическим полем Земли.

Использованная литература

1. Проблема пресной воды, Глобальный контекст политики России, Экспертно-аналитический доклад, под ред. акад. А.В. Торкунова, МГИМО, 2011
2. Атмосфера, Справочник, под ред. Ю.С. Седунова, Л., Гидрометеиздат, 1991
3. Л.Г. Качурин, Физические основы воздействия на атмосферные процессы, Л. Гидрометеиздат, 1990
4. А.Г. Амелин, Теоретические основы образования тумана при конденсации пара, М., «Химия», 1972
5. Н.А. Дашко, Курс лекций по синоптической метеорологии, электронный вариант, 2005
6. Е. Руденский, Полет на планере. Пособие для планеристов, электронный вариант.
7. Ховатсон А. М., Введение в теорию газового разряда, пер. с англ., М., 1980
8. Герасименко В.И., Электрические и метеорологические поля нижней тропосферы. Атмосферное электричество. Л., Гидрометеиздат. 1976.
9. Т. Себиси, П. Брэдшоу, Конвективный теплообмен, пер. с англ., М. Мир, 1987
10. Леб Л., Основные процессы электрических разрядов в газах, М.— Л., 1950;
11. Патенты 2017399, 2034315, 2036577, 2042318, 2058071, 2071243, 2080776, 2090057, 2098942, 2098943, 2105463, 2112357, 2112360, 2121260, 2144760, 2161881, 2245606, 3215437
12. Влияние солнечной активности на состояние нижней атмосферы Земли
Соросовская Энциклопедия, 2005
13. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. М. Атомиздат, 1979
14. Баланс электрических зарядов в атмосфере bse.sci-lib.com/article125945.html
15. Дж. Вильсон, Камера Вильсона, пер с англ., Москва, ИЛ, 1954
16. А.И.Русанов, «К термодинамике нуклеации на заряженных центрах», ДАН СССР, 1978, т.238, №4, с.831-834
17. В.Н.Вережников, Избранные главы коллоидной химии, Воронеж, 2011 г.
18. Brown L., Gardner G., Halweil B. Beyond Malthus, 1999.