

Восходящие потоки в атмосфере и искусственные осадки

В.П. Павлюченко

Тел. +74991358369
pavict@rambler.ru

Основные источники. Метеорология

Проблема пресной воды, Глобальный контекст политики России, Экспертно-аналитический доклад, под ред. А.В. Торкунова, МГИМО, 2011

Атмосфера, Справочник, под ред. Ю.С. Седунова

Н.А. Дашко, Курс лекций по синоптической метеорологии

Л.Г. Качурин, Физические основы воздействия на атмосферные процессы

Дж. Вильсон, Камера Вильсона

А.Г. Амелин, Теоретические основы образования тумана при конденсации пара

Е. Руденский, Полет на планере, Пособие для планеристов.

Л.С.Ивлев, Ю.А.Довгалюк, Физика атмосферных аэрозольных систем

Леб Л., Основные процессы электрических разрядов в газах, М.— Л., 1950;

Патенты 2098943, 2144760, 2121260, 2080776, 2112357, 2034315, 2036577, 2017399, 2098942, 2090057, 2105463, 2042318, 2161881, 3215437, 2058071, 2071243, 2112360, 2245606,

Баланс электрических зарядов в атмосфере bse.sci-lib.com/article125945.html

Влияние солнечной активности на состояние нижней атмосферы Земли Соросовская Энциклопедия, 2005

Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. М: Атомиздат, 1979

Себиси Т., Брэдшоу П. Конвективный теплообмен. Пер. с англ. М.: Мир, 1987

В.Н.Вережников Избранные главы коллоидной химии Воронеж 2011 г.

Актуальность

Глобальный дефицит пресной воды быстро нарастает.

Учащение засух и рост площади пустынь стали стихийным и социальным бедствием. Как сообщил в 2010 г. генеральный секретарь ООН в докладе по случаю Всемирного дня водных ресурсов (22 марта – день воды), на планете каждые 20 секунд от болезни, вызванной недостатком чистой воды, умирает один ребенок, около четверти земного населения болеют, употребляя плохую питьевую воду. Экологические катастрофы: Сахара, Арал

Питьевая вода может закончиться раньше, чем нефть (анализ МГИМО 2011).

Если сегодня на каждого жителя Земли приходится в среднем 750 м^3 в год пресной воды, то к 2050 году это количество уменьшится до 450 м^3 . До 80 % стран мира окажутся в зоне, которая по классификации ООН относится к категории ниже черты дефицита водных ресурсов. Исключениями будут Канада, Бразилия, Россия, некоторые другие страны Европы, а также тропические районы Африки, Южной Америки и Южной Азии

Тяжелые экономические и экологические последствия только одного необычайно жаркого и сухого лета 2010 г. в центральной России показали и важность проблемы даже для умеренных широт и неработоспособность предлагавшихся ранее методов борьбы с засухой.

Актуальность

Проблема обеспечения питьевой водой и доступ к ее потреблению признается ООН одной из важнейших целей, сформулированных в Декларации Тысячелетия ООН в 2000 году.

На 58-й сессии Генеральная Ассамблея объявила (резолюция 58/211 от 23 декабря 2003 г) **2005 – 2015 годы Международным десятилетием действий «Вода для жизни»**. В 2007 году Генеральная Ассамблея ООН объявила период **с 2010 по 2020 годы Десятилетием ООН, посвященным пустыням и борьбе с опустыниванием** (резолюция 62/195).



Обеспеченность пресной питьевой водой

Наиболее обеспечены водными ресурсами следующие страны (km³):

Бразилия 8 233, Россия 4 508, США 3 051, Канада 2 902, Индонезия 2 838, Китай 2 830, Колумбия 2 132, Перу 1 913, Индия 1 880, Конго 1 283, Венесуэла 1 233, Бангладеш 1 211, Бирма 1 046.

Больше всего водных ресурсов на душу населения в год приходится в(m³)

Французской Гвиане 609 091, Исландии 539 638, Гайане 315 858, Суринаме 236 893, Конго 230 125, Папуа Новой Гвинее 121 788, Габоне 113 260, Бутане 113 157, Канаде 87 255, Норвегии 80 134, Новой Зеландии 77 305, Перу 66 338, Боливии 64 215, Либерии 61 165, Чили 54 868, Парагвае 53 863, Лаосе 53 747, Колумбии 47 365, Венесуэле 43 8463, Панаме 43 502, Бразилии 42 866, Уругвае 41 505, Никарагуа 34 710, Фиджи 33 827, Центральной Африканской Республике 33 280, **России 31 833 (27 место).**

Цитата

"Чтобы создать искусственные осадки, влажность дождевого облака, которое будет обработано, должна составлять не менее 95%. То есть дождь должен вот-вот начаться, а мы только помогаем ускорить этот процесс. Сейчас же относительная влажность воздуха в московском регионе очень маленькая - всего около 30%, и облака практически отсутствуют, что делает эту операцию нереальной", - сказал генеральный директор Гидрометеобюро Москвы и Московской области Алексей Ляхов.

"В сегодняшних погодных условиях искусственный дождь - это просто фантастика", - заключил генеральный директор.

Интервью дано летом 2010 г. Еще раз подтверждается отсутствие работоспособных установок и методов

Влажность

Единица абсолютной влажности воздуха: $f = \text{г/м}^3$

Относительная влажность воздуха ϕ — это отношение его текущей абсолютной влажности к максимальной абсолютной влажности при данной температуре

$t(^{\circ}\text{C})$	−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

В слое 0—1.5 км содержится около 50 % всего количества водяного пара, а в слое 0—5 км — около 90%. В среднем над каждым квадратным метром земной поверхности в воздухе содержится 28,5 кг водяного пара или 0.25% массы атмосферы (~ 15 кг/м² в Арктике/Антарктике; ~25 кг/м² в Средней Азии и над всеми пустынями в сухом континентальном воздухе; до 53 кг/м² в приэкваториальных широтах мирового океана).

Полное количество водяных паров, находящихся в атмосфере, более чем в шесть раз превышает количество пресной воды во всех реках земного шара. Даже самый маленький ливень - это тысячи тонн воды.

Конденсация

Конденсация в воздухе идет, в основном, на центрах конденсации, на которых осаждаются молекулы пара. Конденсация пара в воздухе, не содержащем ядер конденсации, происходит только при 6—8-кратном пересыщении пара. Зародышевые капли в этом случае возникают в результате объединения молекул водяного пара в комплексы. Размеры комплексов сначала очень малы, а максимальное парциальное давление водяного пара над мелкими выпуклыми частицами значительно больше, чем над плоской поверхностью. Если пересыщения нет, то возникающие комплексы разрушаются.

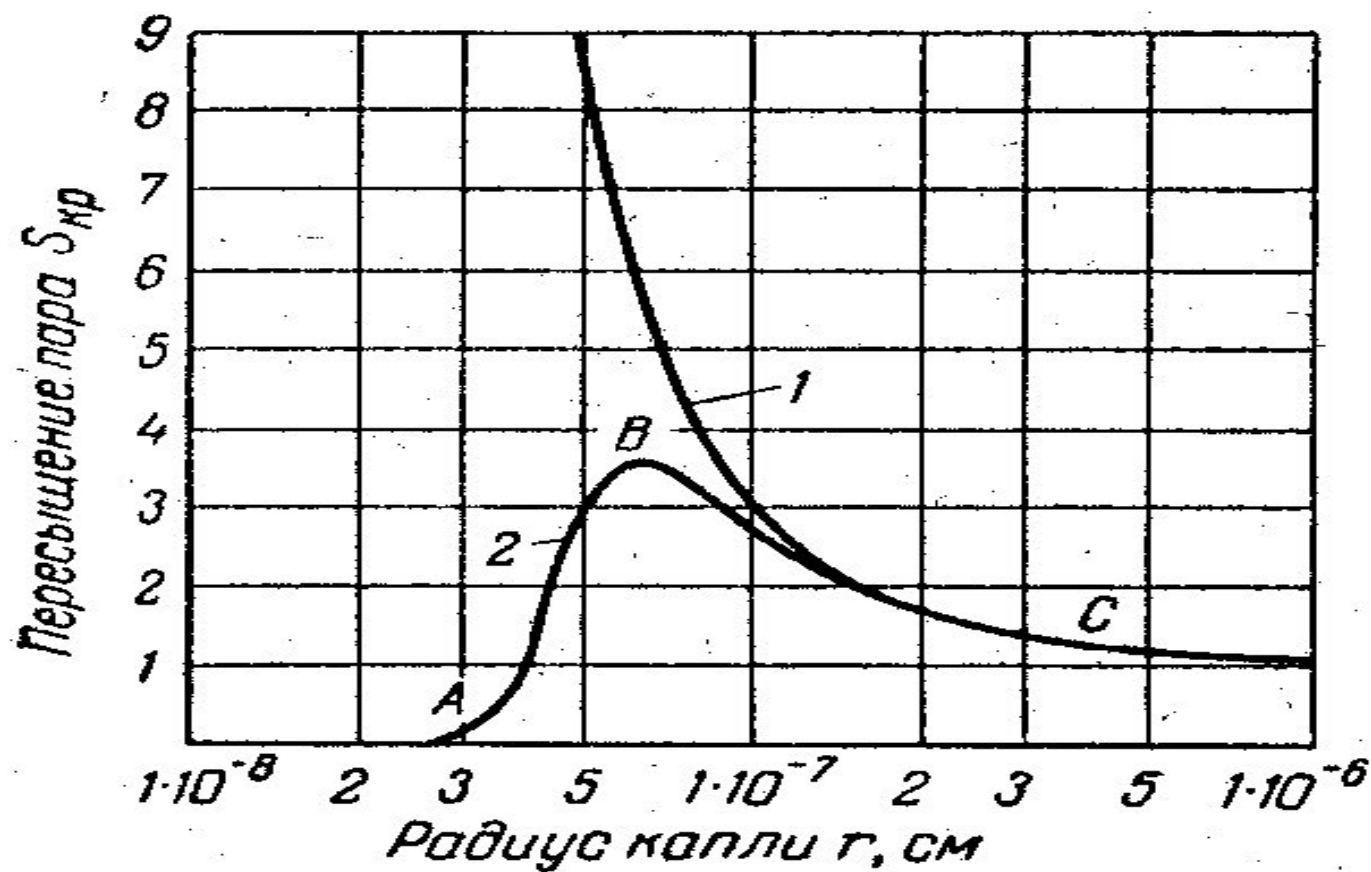


Рис. 1.1. Зависимость равновесного пересыщения пара у поверхности капли воды от ее радиуса: 1 — незаряженная капля; 2 — с единичным зарядом.

Основные центры конденсации воды в атмосфере

Аэрозоли - твердые частицы и капли, взвешенные в атмосфере (размеры менее 1 мкм). Более крупные частицы называются **пылью**.

Воздух всегда содержит аэрозоли. Источники аэрозолей - естественные (испарения морской соли, пыление почвы, вулканическая деятельность, лесные пожары) и антропогенные (выбросы промышленности, транспорта и за счет эрозии почвы).

К аэрозолям относятся водяные капли и ледяные кристаллы; мелкая пыль; сажа и пепел, попадающие в воздух при пожарах и горении лесов и торфяников; почвенная, космическая и вулканическая пыль; пыльца растений и т. д. При восходящем движении воздуха аэрозоли поднимаются на большие высоты; горизонтальными потоками воздуха (ветром) они переносятся на большие расстояния. При нисходящих потоках аэрозоли прижимаются к земле.

Аэрозолем является также смесь дыма с туманом (смог).

Центры конденсации - ионы

В атмосфере постоянно образуются заряженные **ионы** (в глубине атмосферы, в основном, космическими лучами).

Легкие ионы – отдельные 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. В нижнем слое спокойной атмосферы в 1 см^3 воздуха содержится несколько сотен легких ионов и от нескольких сотен до десятков тысяч тяжелых. Средняя концентрация ионов устанавливается в результате уравнивания скорости их возникновения скоростью их исчезновения вследствие рекомбинации.

На отрицательных ионах
(при малом пересыщении)
конденсация происходит во
много раз эффективнее
(Вильсон, Русанов), чем на
положительных



Распределение легких ионов по подвижностям в сухом воздухе по Хоппелю и Краакевику . 1, 2 для отрицательных ионов; 3, 4 для положительных ионов.

Восходящие потоки

Непосредственно от Солнца (на орбите Земли $S_0 = 1366 \text{ Вт/м}^2$) воздух из-за прозрачности нагревается мало, основной нагрев идет от поверхности Земли (конвекция, инфракрасное излучение). Эффективность нагрева воздуха от поверхности (при $T \approx 300 \text{ К}$) посредством конвекции в 400 раз выше эффективности нагрева от излучения и почти в 500 000 раз — от передачи тепла путем молекулярной теплопроводности.

- Нагревающийся у поверхности воздух устремляется вверх за счет Архимедовой силы, перенося тепло. Ускорение $a=g (\Delta T/T)$
Термическая конвекция может развиваться только до тех пор, пока воздух имеет температуру выше температуры той среды, в которой он поднимается (неустойчивое состояние атмосферы).

В стационарной атмосфере в среднем охлаждение составляет 0.65 градуса на 100 м. В поднимающемся ненасыщенном воздухе температура понижается вследствие *адиабатического расширения* на 1 градус на 100 м (сухая адиабата), при опускании воздух на столько же нагревается.

- Влажный воздух легче сухого, т.к. удельный вес пара составляет 18/29 веса сухого воздуха (отношение молярных весов)

Нагрев воздуха при конденсации пара

Скрытая теплота парообразования воды 597 кал/г

Теплоемкость воздуха 0.240 кал/(г град)

1 м³ воздуха весит 1.225 кг при нормальном давлении, теплоемкость **кубометра** 294 кал/град

При конденсации 1 г воды 1 м³ воздуха нагреется на 2.03 градуса. Именно из-за этого в середине кучевого облака велики восходящие потоки, а сами облака сильно вытянуты в высоту – облака вертикального развития.

Но нужны центры конденсации и достижение точки росы

Барические системы

Циклон — это область низкого давления. Воздух поднимается вверх в виде воронки против часовой стрелки (Кориолис). При подъеме вверх воздух охлаждается, водяные пары конденсируются, в результате выпадают осадки. **Антициклон** — область высокого давления. Воздух перемещается в противоположном циклону направлении по часовой стрелке. Холодный воздух резко нагревается, иссушается и осадков практически не выпадает. Эти два противоположных процесса являются основными факторами формирования погоды и климата



Свободная конвекция

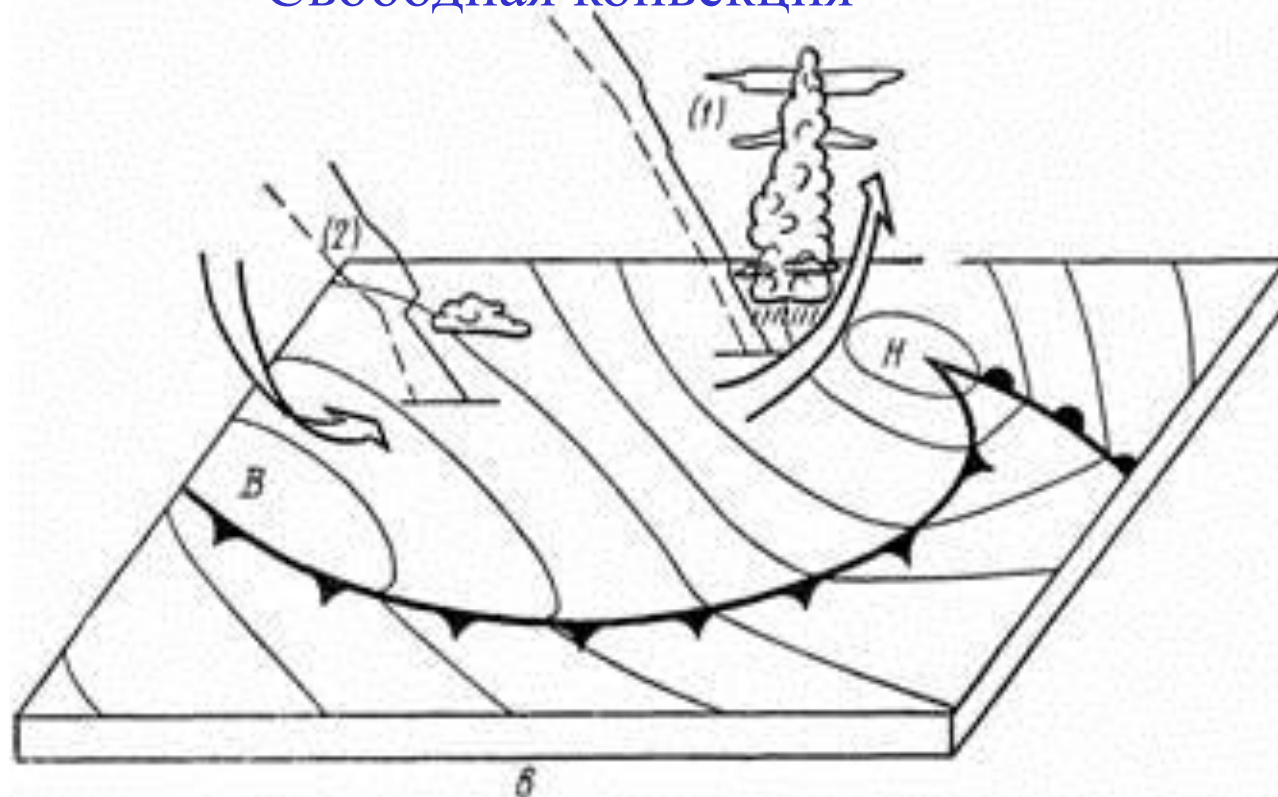


Рис. 7. Основные барические системы:
 а — схождение воздушных течений в циклоне, б — расхождение воздушных течений в антициклоне, в — циклонический (1) и антициклональный (2) тип погоды

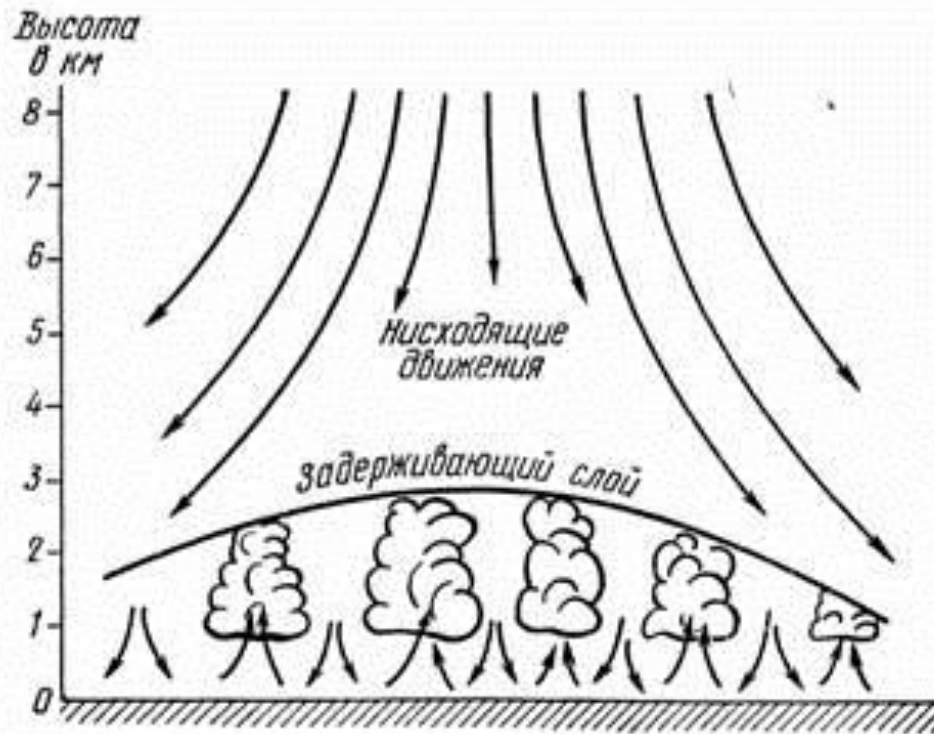


Рис 8 Схематическое изображение погоды в летнем антициклоне

В системе антициклона воздух **у поверхности земли** растекается от центра к периферии. Одновременно **на высотах** идет приток воздуха от периферии к центру.

Инверсия –

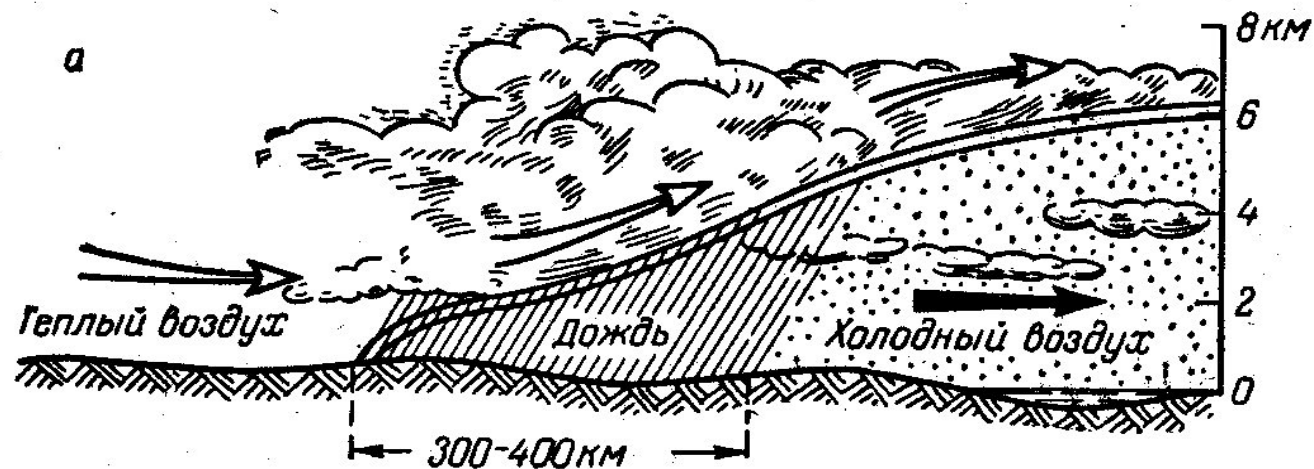
отклонение вертикального распределения температур от нормального.

Инверсии заметно влияют на развитие атмосферных процессов. В частности, слои инверсии имеют наиболее устойчивую стратификацию и препятствуют развитию восходящих движений воздуха.

Инверсия характеризуется высотой нижней границы инверсионного слоя, вертикальной его протяженностью и скачком температуры. Толщина инверсионных слоев изменяется от нескольких метров до километров, а скачок температуры – от 2 до $>10^{\circ}\text{C}$.

Приземные инверсии. В зависимости от условий образования они разделяются на радиационные летние-ночные (10–15 м до 200–400 м) и зимние.

Инверсии свободной атмосферы. По условиям образования они разделяются на инверсии турбулентности (трения), динамические, антициклонические (сжатия, оседания) образуются в областях повышенного давления, где возникают нисходящие потоки воздуха. Опускающийся воздух сжимается и растекается по горизонтали от центра области к периферии, не достигая земной поверхности. Температура каждой опускающейся порции возрастает на $1^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$. Порции, опустившиеся из более высоких слоев, проходят большее расстояние по вертикали и поэтому больше нагреваются.



Принудительная конвекция

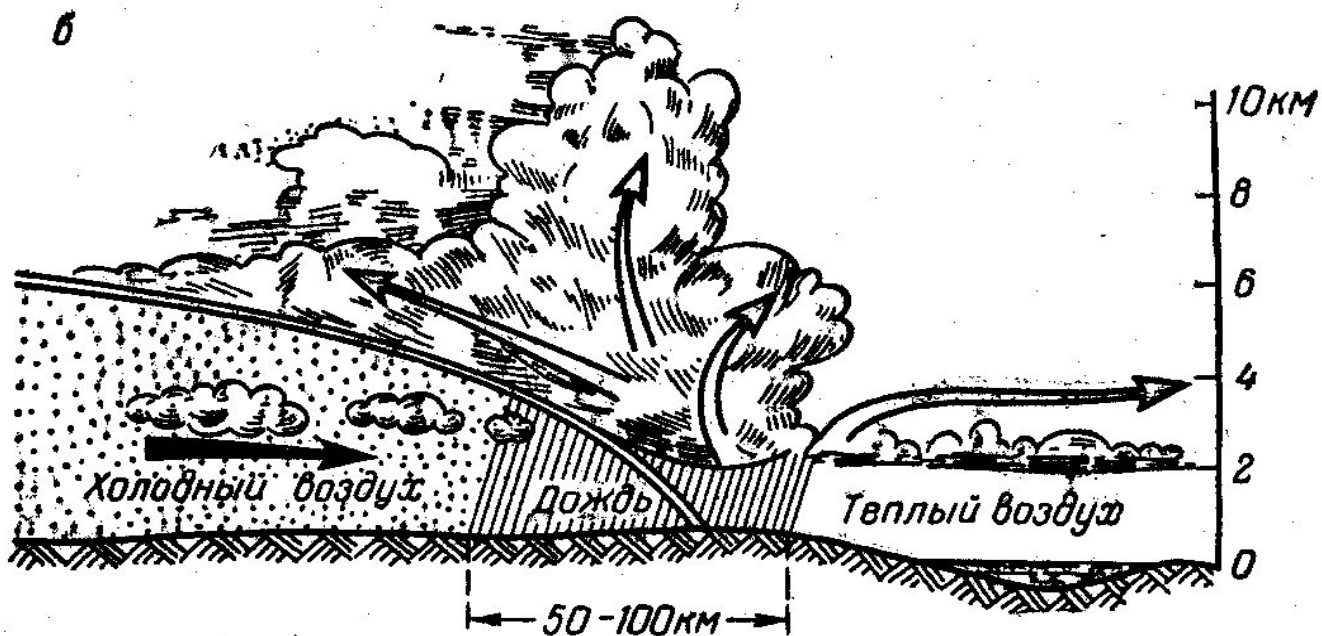


Рис. 3.21. Схема образования облаков и тумана при смешении воздушных потоков неодинаковой температуры:
 а — теплый фронт; б — холодный фронт.

Cirrus
Перистые

Cirrostratus
Перисто-слоистые

Cirrocumulus
Перисто-кучевые

Alto cumulus
Высококучевые

Altostratus
Высокослоистые

Кучевые возникают при больших вертикальных скоростях $0,5 - 10 \text{ м/с}$ (пусть капли дождя и она сильно растет). Слоистые возникают при маленьких вертикальных скоростях ($0,5 - 2 \text{ см/с}$)

Cumulonimbus
Кучево-дождевые

Stratocumulus
Слоисто-кучевые

Cumulus
Кучевые

Nimbostratus
Слоисто-дождевые



2сент 2011, Санкт-Петербург



Устройства

Продавцы дождя?

- **Фрэнк Мельбурн** устанавливал высокую парусиновую загородку вокруг рабочей площадки и никому не позволял заглядывать внутрь. В большие железные чаны он засыпал свои химикаты, и вскоре в небо через металлическую трубу высотой 30 футов устремлялись клубы дыма. Начинали клубиться облака и шел дождь. Фирма заключила десятки соглашений на производство дождя .
- **Чарлз Мэллори Хэтфильд** строил огромный деревянный резервуар, который опирался на крепкие деревянные опоры на высоте примерно 12 футов над землей. Хэтфильд насыпал свои химикаты, хорошо размешивал их, наливал воду, добавлял несколько галлонов кислоты, закрывал деревянной крышкой и спускался вниз. Минут через двадцать он открывал крышку длинным шестом и наблюдал, как вонючие клубы дымообразных паров штопором ввинчивались в небо, через некоторое время появлялись облака, переходящие в дождевые. Всего за 25 лет своей деятельности в Лос-Анджелесе и прилегающих районах Хэтфильд заключил более 500 контрактов стоимостью от \$50 до \$10 тыс. (в зависимости от площади осадков). В Рандсбурге, в районе голой Могавской пустыни (Техас, Невада, Калифорния), пары Хэтфильда вызвали необычайный ливень - за три часа выпало 40 дюймов осадков. Такого не случалось там ни до, ни после. Это был блестящий и разящий ответ Хэтфильда на нападки известного специалиста Дэвида Старр Джордана, который утверждал, что Хэтфильд всегда выжидает, когда закончится период засухи, а затем уже принимается за дело. В Могавскую пустыню, где засуха никогда не кончалась, Хэтфильд прихватил с собой журналистов, и на последовавший потоп доктор Джордан не нашел что ответить.

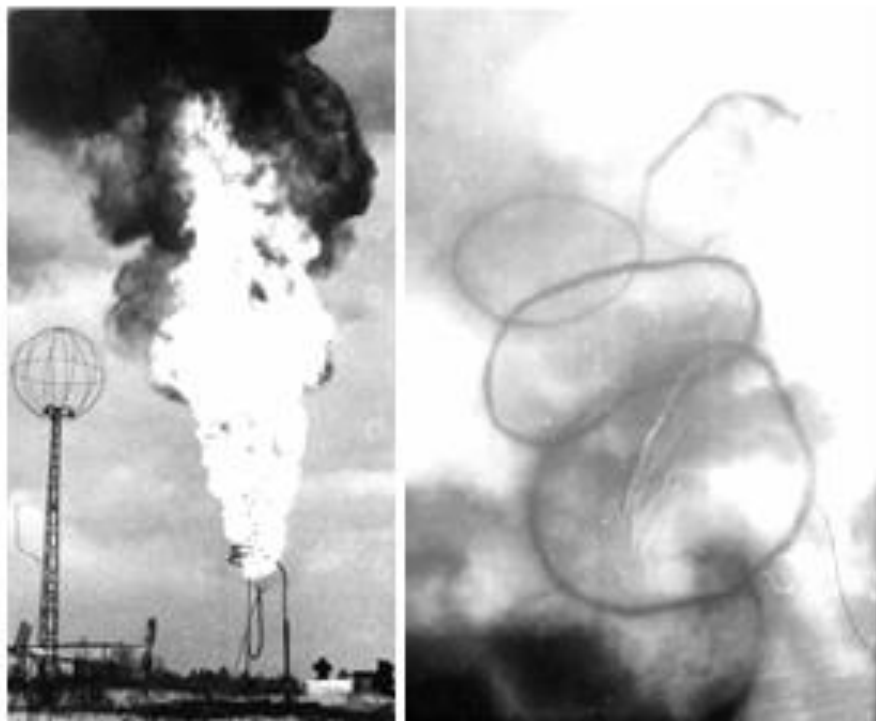
Патент Российской Федерации 2112360

СПОСОБ ИСКУССТВЕННОГО ВЫЗЫВАНИЯ ОСАДКОВ

(если уже есть облака)

- *Дата подачи заявки:* 03.04.1997
- *Дата публикации:* 10.06.1998
- *Заявитель(ы):* Физический институт им.П.Н.Лебедева РАН
- *Автор(ы):* Покревский П.Е.; Стожков Ю.И.
- *Патентообладатель(ы):* Физический институт им.П.Н.Лебедева РАН

В изобретении решается задача искусственного вызывания осадков путем воздействия на облака потоков ионизирующего излучения. Это достигается путем искусственного увеличения потока заряженных частиц в облаке, которые генерируются ускорителем элементарных частиц, установленным на борту самолета, облетающего облако.



а

б

Рис. 2. Компьютерная версия фотографий работы установки в непрерывном (*а*) и в импульсном (*б*) режимах подачи топлива на форсунку.

Метеотрон (фр. *météotron*) — искусственный тепловой источник конвекции в атмосфере, предназначенный для создания дождевых облаков. Изобретён Анри Дессеном в 1961 году, сжигалась нефть. В 1967 году более совершенное устройство было разработано в СССР. В нём горячий воздух создавался отработавшими свой ресурс турбореактивными авиадвигателями. Мощность — мегаватты.

Летом 2010 г лесные пожары на большой площади практически реализовали огневой метеотрон большой мощности, но пробить инверсный слой и преодолеть нисходящие потоки не удалось. Сильный смог привел только к усилению инверсии, т.к. Солнце нагревало сильнее его верхние слои из-за сильной задымленности.

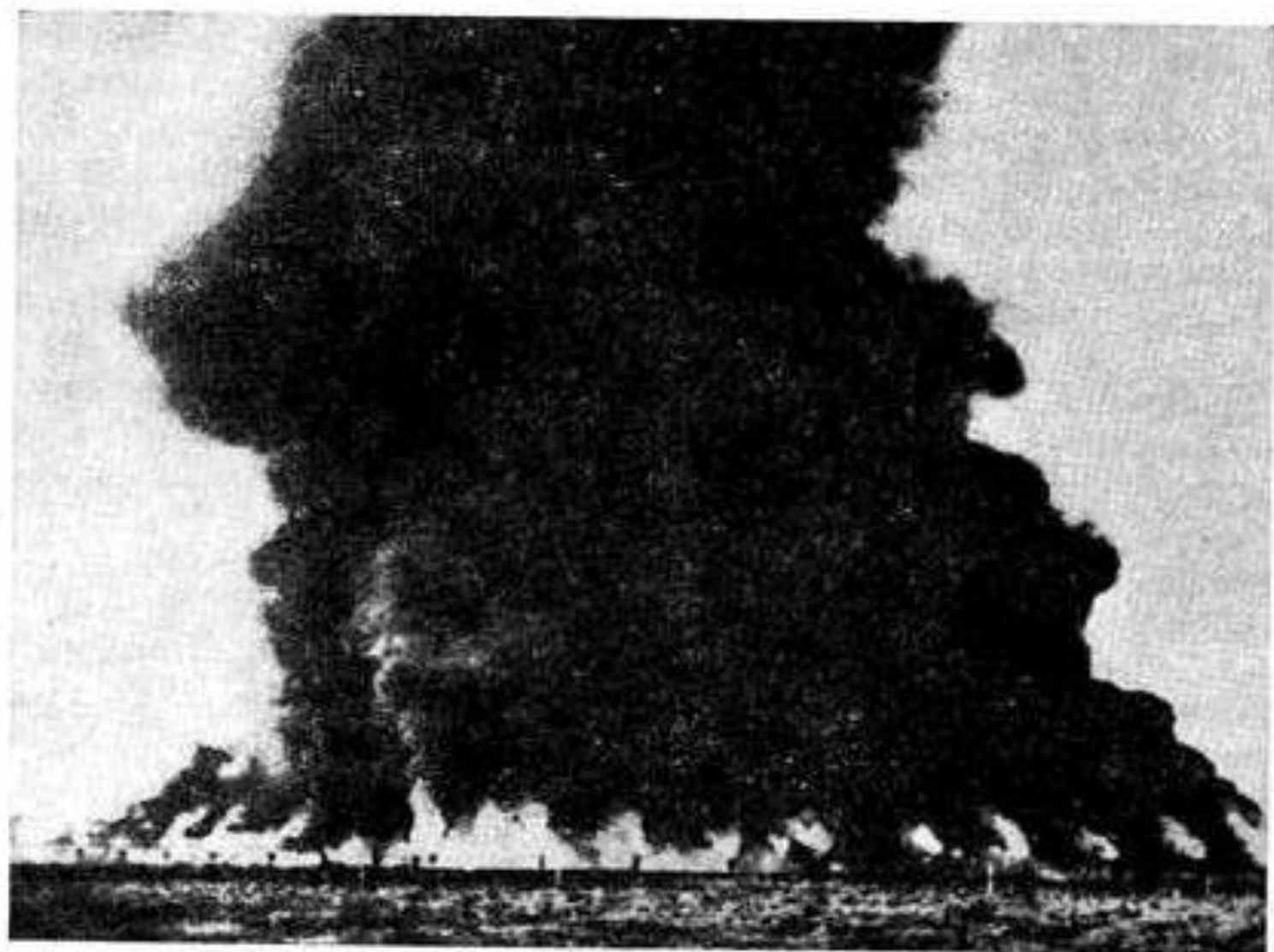


Рис. 3.2.2. Метеотрон в действии.

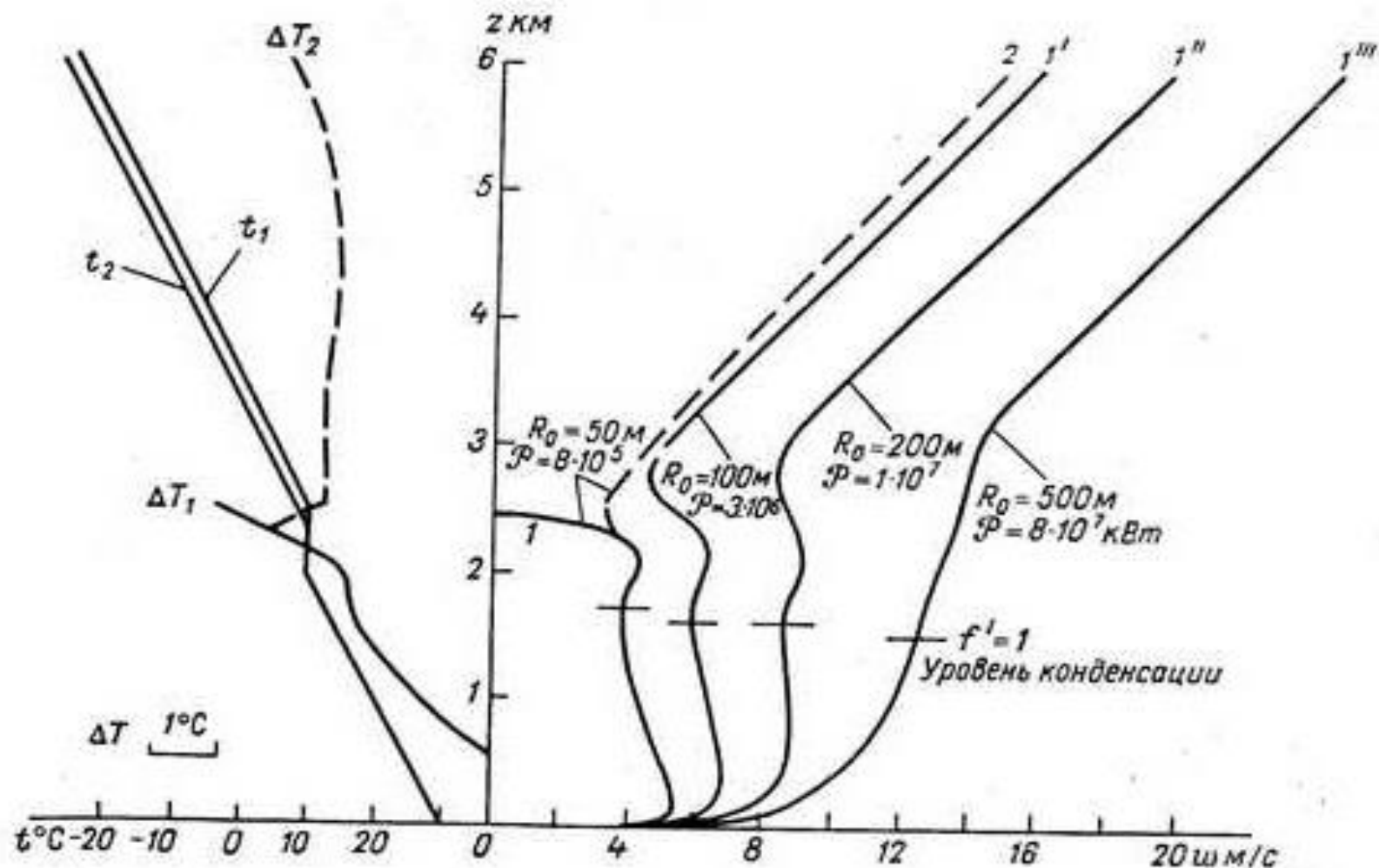


Рис. 3.2.3. Расчет струи метеотрона. Влияние температурной стратификации атмосферы $t(z)$ и начального радиуса струи R_0 на профиль вертикальных скоростей в струе $\omega(z)$. Температура атмосферы показана линиями t_1 (пример 1); t_2 (пример 2).

Начальный радиус струи R_0 и ее мощность P показаны на соответствующих кривых, остальные параметры струи во всех примерах одинаковые: $\omega_0 = 1$ м/с, $\Delta T_0 = 100^{\circ}$, $f_0' = 0,7 \cdot 10^{-2}$, $e_0' = 25,5$ мб.

Уравнения состояния воздуха в восходящей нагретой струе

$$\frac{2}{R} \frac{dR}{dz} = \frac{C}{R} \frac{T'}{T} - \frac{1}{w} \frac{dw}{dz} + \frac{1}{T'} \frac{dT'}{dz} + \frac{Mg}{kNT}.$$

Радиус струи

$$\frac{1}{w} \frac{dw}{dz} = \frac{g}{w^2} \frac{T' - T}{T} - \frac{C}{R} \frac{T'}{T},$$

Скорость струи

$$-\frac{1}{T'} \frac{dT'}{dz} = \frac{C}{R} \frac{T' - T}{T} + \frac{g}{c_p T},$$

Температура

$$\frac{df'}{dz} = -f' \left[\left(1 - \frac{fE}{f'E'} \right) \frac{C}{R} \frac{T'}{T} + \frac{L_0}{kNT'^2} \frac{dT'}{dz} + \frac{Mg}{kNT} \right],$$

Относит. влажность

Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы
Л., Гидрометеиздат, 1990, 463 стр

Числа подобия

- Подобными являются физические процессы, например процессы конвективного теплообмена, протекающие в теплообменном аппарате или его модели.
- В основе подобия лежит их геометрическое подобие и равенство безразмерных комплексов, состоящих из физических величин, влияющих на теплообмен (скорость потока, вязкость и плотность газа, омывающего стенку, температуры стенки и газа и др). Такие комплексы называются числами подобия.
- **Число Нуссельта (Nu)** определяет интенсивность конвективного теплообмена на границе стенка – газ.

$$Nu = \alpha \cdot l_0 / \lambda ,$$

-
-
- где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); λ – коэффициент теплопроводности газа, Вт/(м·К); l_0 – определяющий линейный размер, м.

- **Число Грасгофа (Gr)** определяет соотношение подъемной силы, вызываемой разностью плотностей холодных и нагретых частиц газа, и сил молекулярного трения. Число **Gr** характеризует интенсивность свободного движения жидкости/газа:

$$Gr = \beta g l_0^3 \Delta t / \nu^2 ,$$

- где β – температурный коэффициент объемного расширения, K^{-1} (для идеальных газов $\beta = 1/273,15$); g – ускорение свободного падения, m/s^2 ; Δt – температурный напор – разность между определяющими температурами газа и стенки, K .
- Числа **Рэля**, **Рейнольдса** (характер движения газа), **Прандтля** (физические свойства газа), **Пекле** и т.д.

Отзыв на метеотрон

Волей судьбы я оказался непосредственным сотрудником организации GACAR (Global Artificial Clouds and Rains — Всемирные Искусственные Облака и Дожди). Могу сказать, что способ получения дождевого облака при помощи огневой установки — метеотрона интересен лишь для истории науки. Широкое его внедрение недопустимо ни по экономическим, ни, тем более, по экологическим соображениям. Для создания облачности, минимально необходимой для превращения в предполагаемый источник дождя, придется сжечь столько топлива, что его стоимость никак не окупит довольно химерные в этом случае выгоды от возможности получить хотя бы символический урожай на таких искусственно политых землях. Наиболее приемлемой энергией для работы метеотрона может быть ТОЛЬКО СОЛНЕЧНАЯ.

Главный менеджер компании GACAR

Академик Фельдман Борис Георгиевич

Солнечный метеотрон

**РОССИЙСКИЙ
ПАТЕНТ
№ 2071243
Виталий Орановский**

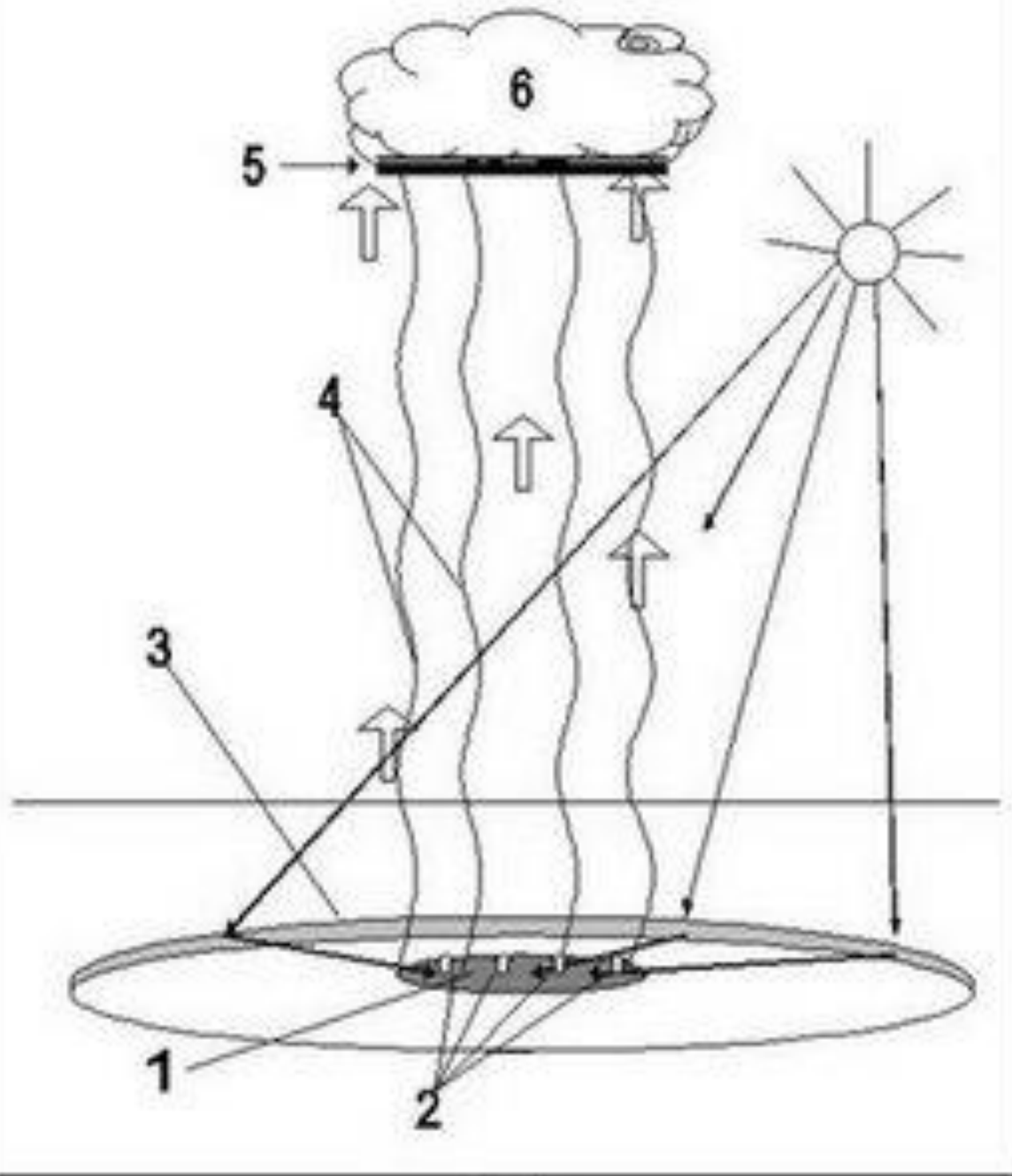
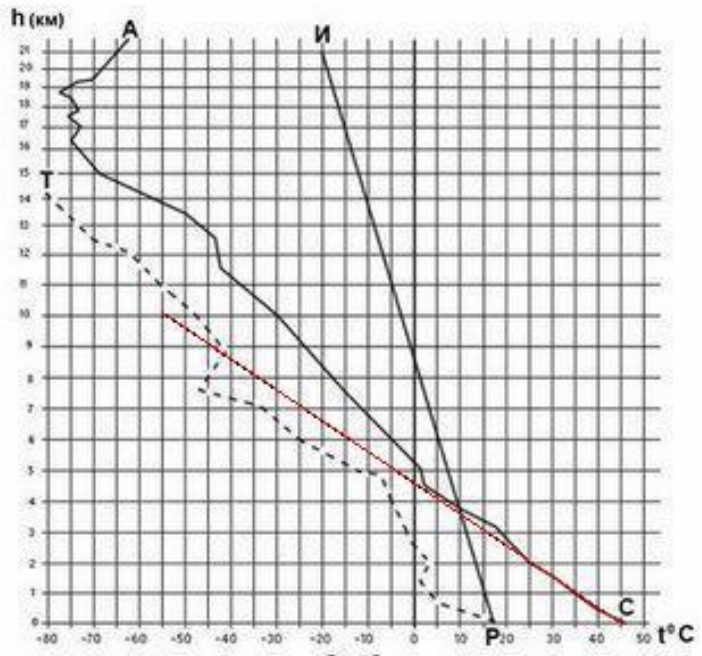


Рис. 1



Реальные аэрологические диаграммы
для Саудовской Аравии (фрагмент) в
прямоугольной системе координат

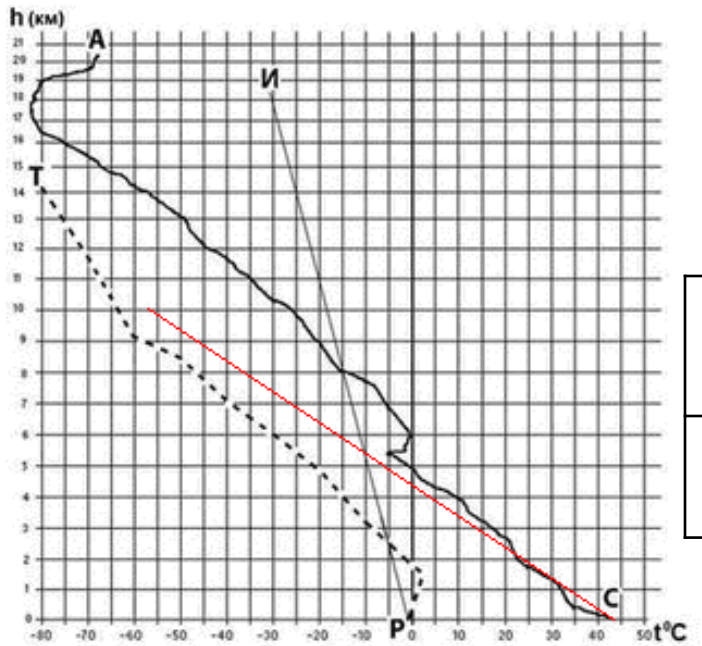
Зависимость от высоты:

СА – температуры воздуха

РТ – точки росы

РИ – изогаммы

Красная линия – сухая адиабата

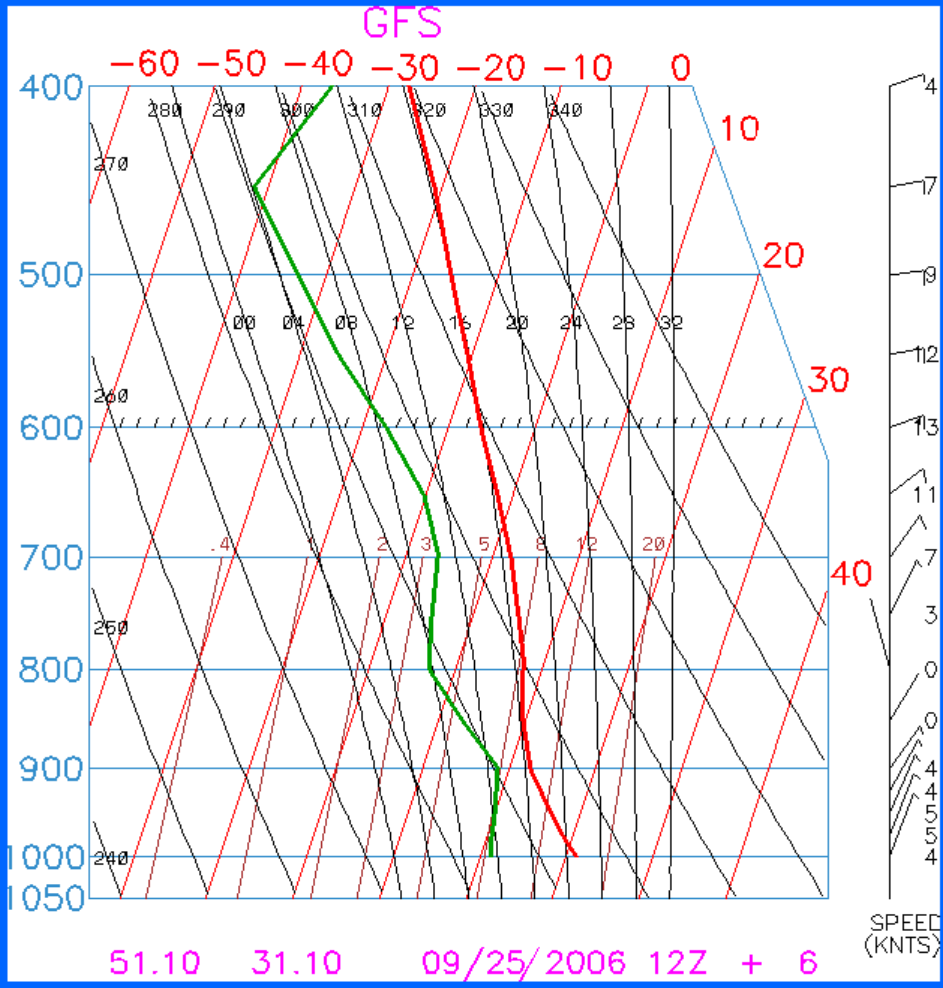


Высота нижней кромки облаков в
метрах (эмпирически)

$$H = 22 \times (100 - R) \quad H = 122(T - T_d)$$

$t(^{\circ}\text{C})$	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
$f \text{ max}$ (г/м³)	0,29	0,81	2,1	4,8	9,4	17,3	30,4	51,1	83,0

Рис. 2



Светло-синие числа и горизонтальные параллельные линии (изобары).

Красные числа и соотв. наклонные параллельные линии (изотермы) - температура воздуха (наклон 50° к изобаре).

Коричневые параллельные линии (изограммы) - равной удельной влажности при состоянии насыщения. Числа в верхней части изограмм - температура конденсации в градусах Цельсия.

Чёрные параллельные линии, идущие из левого верхнего угла в правый нижний - сухие адиабаты.

Чёрные НЕпараллельные линии, ПЫТАЮЩИЕСЯ идти из левого верхнего угла в правый нижний, но превращающиеся в вертикальные - влажные адиабаты.

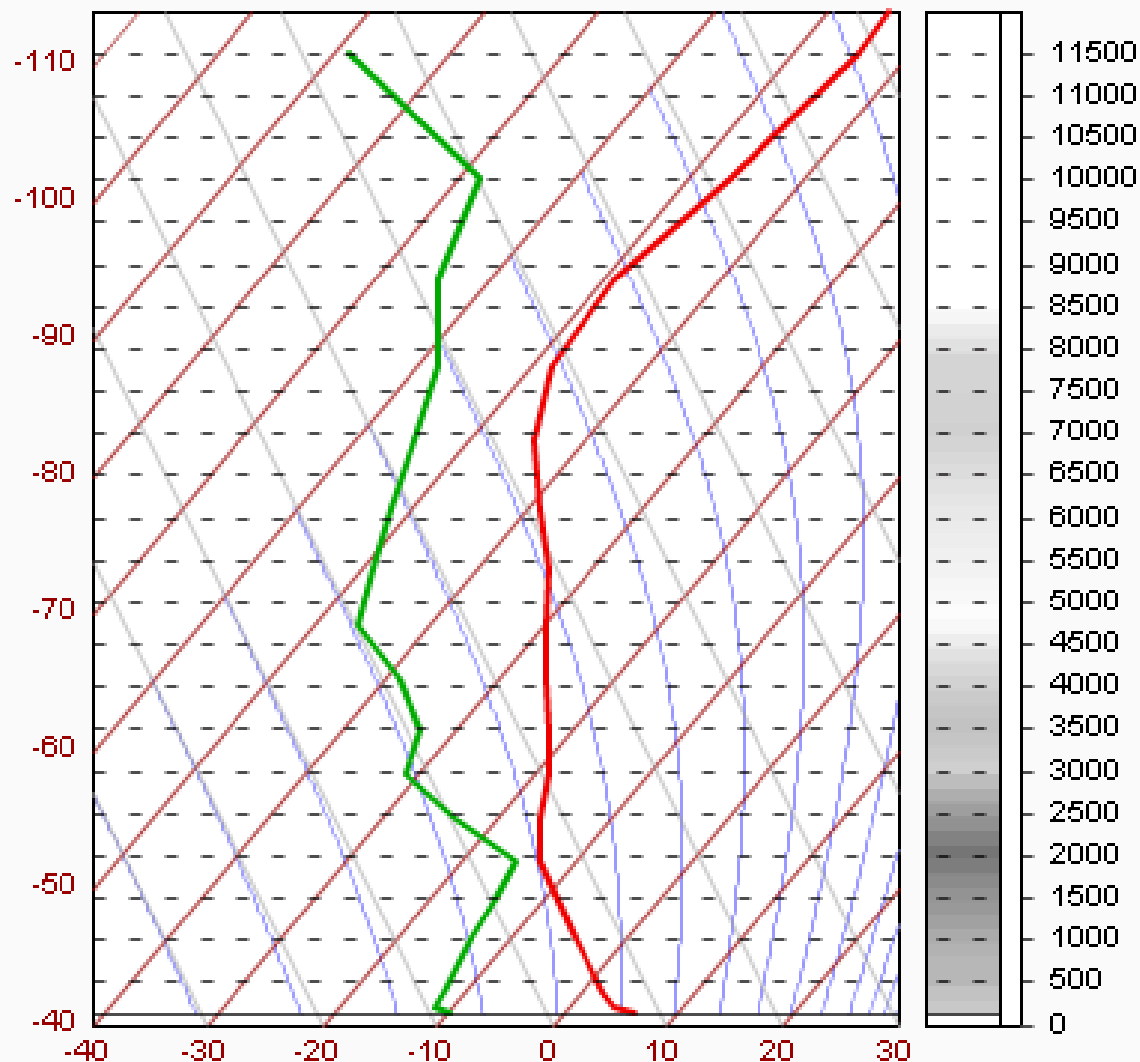
Красная кривая - температура по высоте.

Зелёная кривая - точка росы по высоте.

- Справа по всей высоте картинки показано распределение ветра по высоте с указанием направления и скорости.

Нижний Новгород

28.04.2006 00:13



Аэрологическая
диаграмма в
косоугольной
системе
координат

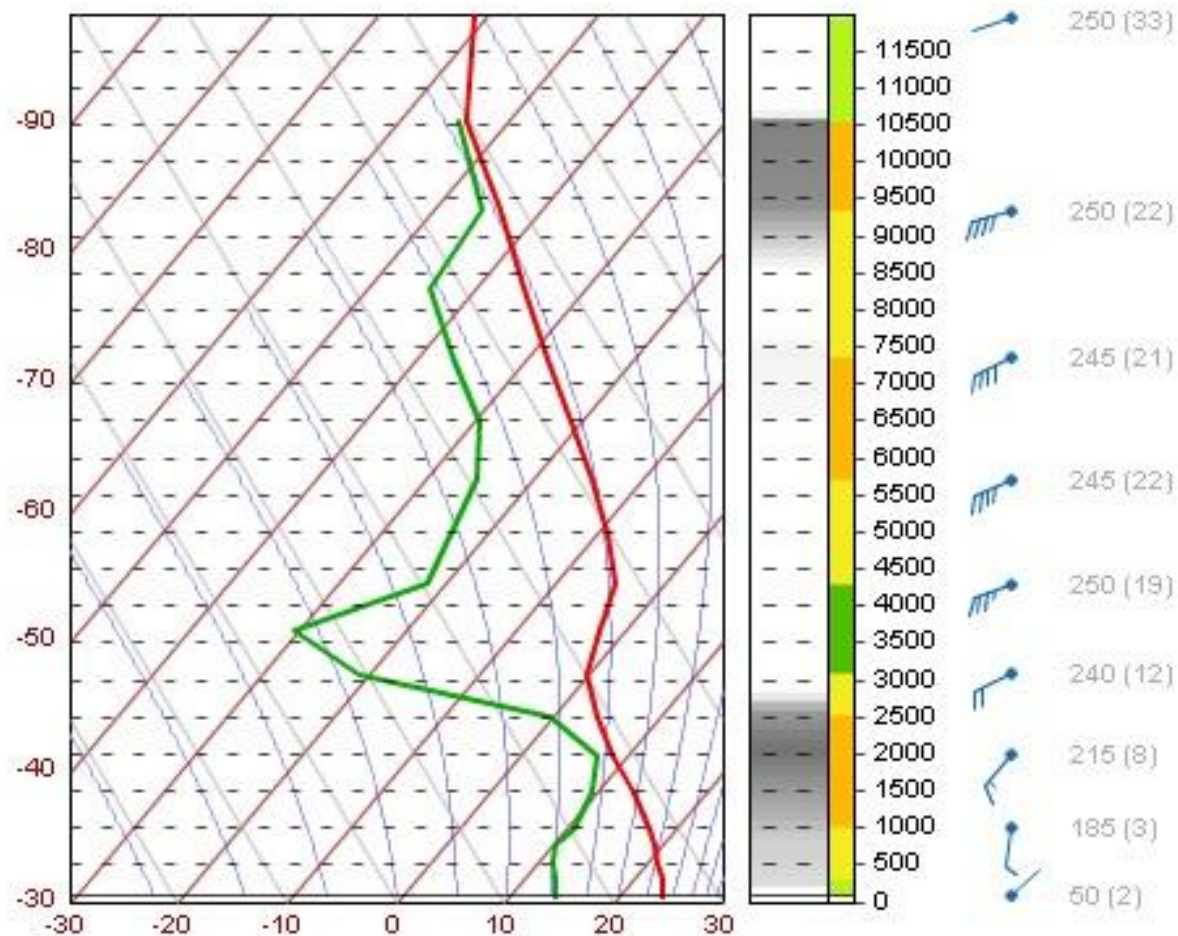
Красная кривая —
зависимость
температуры от
высоты

Зеленая — точка
росы от высоты

16 19 22 01 04 07 10 13 16 19 22 01 04 07 10 13 16 19 22 01 04

29.04.2006 11:24

Слой атмосферы до высоты: **12000 м 6000 м**



[Включить анимацию](#)

18.05.2007 16:13

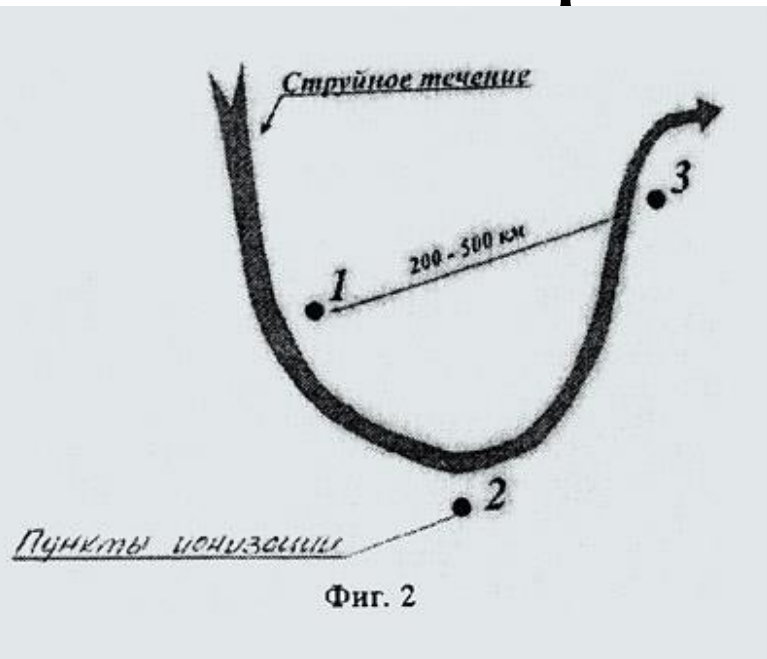
Проект УРАНИЯ

Ликвидировать пожары в России могла бы технология ручного вызова осадков с помощью электромагнитного излучения (проект "Урания"). Об этом заявил на пресс-конференции в РИА "Новости" один из разработчиков проекта, бывший директор 61-го НИИ Минобороны генерал Виктор Поплавский.

По его словам, эта технология была изобретена еще в 1984 г. Алексеем Смирновым (патент RU 2058071), который обнаружил, что электромагнитные волны определенной частоты могут влиять на атмосферные процессы и позволяют создавать осадки.

А функционирует такая установка следующим образом: с ее помощью узкий пучок электромагнитного излучения направляется в расчетную неустойчивую точку ионосферы, где необходимо вызвать осадки, в строго вычисленный момент времени, зависящий от положения Солнца. В итоге возникают естественные процессы циклонического характера, приводящие к желаемому результату. Также устройство может создавать вихревые потоки, которые втягивают облачность с других территорий. Такой прибор в течение десяти дней может вызвать дождь в любом месте, к тому же, по словам **некоторых** российских ученых, уже проведены десятки удачных экспериментов.

Проект АТЛАНТ



В.Г. Уйбо и др. Патенты RU 2271097, 2161881, 2154371, Русский инженер 1, (24), 2010

Создание высокопроизводительных генераторов однополярных ионов «Атлант», способных формировать восходящие от земли потоки ионов, позволяет искусственным образом ионизировать атмосферу в заданном районе.

Влияние на атмосферу можно вести в дозируемых значениях и использовать в целях проведения активных воздействий на метеорологические процессы в локальных и синоптических масштабах. Концепция активных воздействий, осуществляемых с помощью ионизации воздуха в локальных масштабах, заключается во взаимодействии ионов с электрически активными молекулами воды, всегда содержащимися в приземной воздушной массе. Выделение при этом скрытой теплоты конденсации является энергетическим стимулом процесса ослабления или полного разрушения таких метеоявлений, как туман, смог, низкая слоистая облачность.

Искусственно вызванные атмосферные осадки.

Возможны два подхода к решению этой проблемы: либо получить дождь из облаков, которые уже есть, либо вызвать искусственное образование облаков там, где их нет.

Предлагался даже способ для Сахары, согласно которому можно создать искусственный горный хребет из пластмассовых конструкций вблизи района, где необходимо выпадение атмосферных осадков. Воздух, обтекая преграду, будет подниматься и адиабатически охлаждаться. В результате произойдет конденсация водяных паров, содержащихся в этом воздухе и выпадение осадков, как это происходит в природе в предгорьях на пути влажных ветров. Недостатком является высокая стоимость реализации.

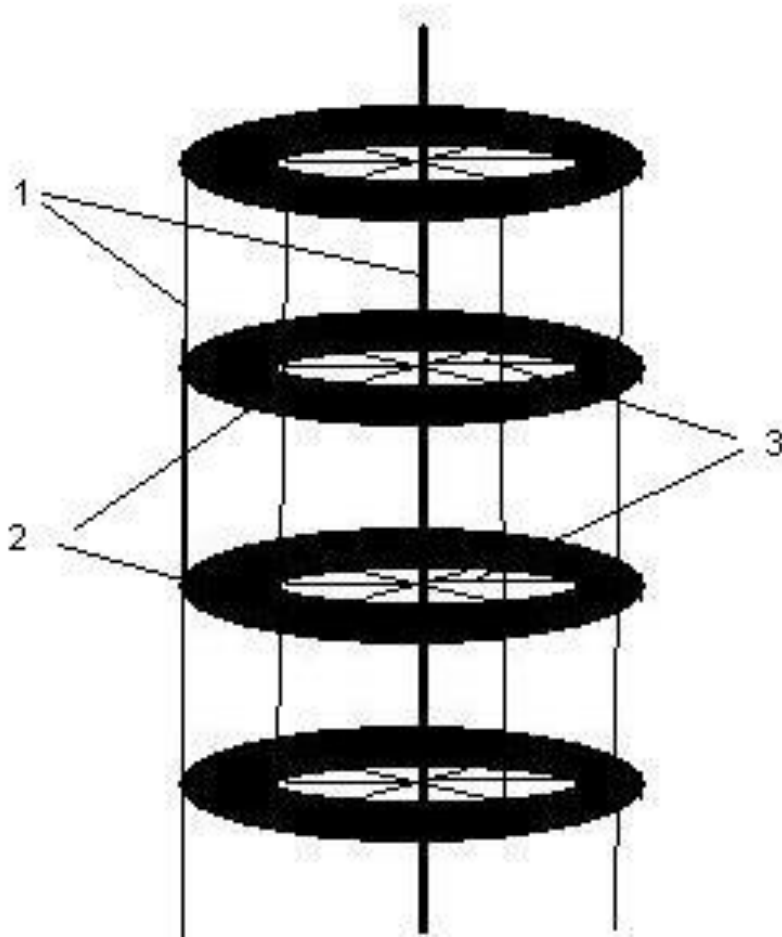
Задача

Поднять приземный воздух на регулируемую высоту (в область точки росы) и снабдить его центрами конденсации. По пути «пробить» уровни инверсии и преодолеть нисходящие потоки антициклона, запустить самоподдерживающийся за счет конденсации пара восходящий поток для образования кучевого и кучево-дождевого облака.

Метод:

По пути вверх на нескольких уровнях подогрывать воздух (по мере его адиабатического охлаждения) от системы привязных зачерпнутых аэростатов, нагреваемых солнечным излучением, насыщая его по пути отрицательными ионами (от заземленных игольчатых эмиттеров).

Схема устройства



1- силовые тросы, основное усилие от горизонтальных потоков воздуха; один из тросов заземлен, токи малы, большое сечение проводника не требуется

2- зачерненные баллоны с газом (рукава из металлизированного майлара или лавсана)

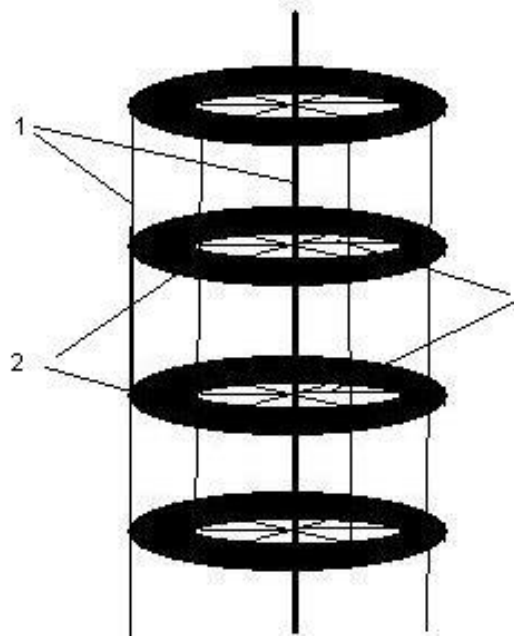
3- проводящий заземленный каркас типа велосипедного обода со спицами-эмиттерами с иглками (люстра Чижевского)

СПОСОБ СОЗДАНИЯ ВОСХОДЯЩЕГО ПОТОКА ВОЗДУХА В АТМОСФЕРЕ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ, патент 2462026 RU

Устройство состоит из многоярусной системы (гирлянды) привязных аэростатов с зачерненными баллонами. На ярусах закреплены заземленные игольчатые эмиттеры электронов, коронирующие в электрическом поле Земли. Ярусы во время антициклона формируют контролируемый восходящий поток нагретого воздуха необходимой высоты, на которой водяной пар приземных слоев атмосферы охлаждается и конденсируется на заряженных центрах в кучевые и кучево-дождевые облака (искусственный дождь). Высота верхнего и нижнего ярусов, их форма, размеры и расстояния между ними определяются метеоусловиями и поставленной задачей.

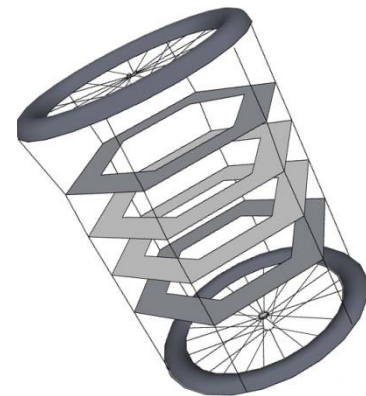
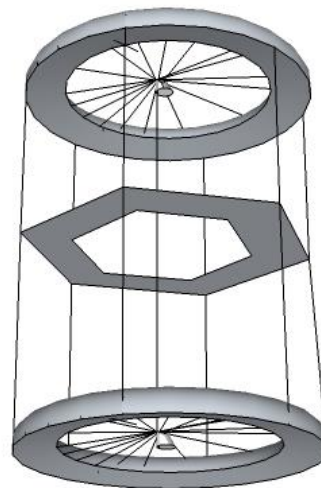
Вся энергетика устройства обеспечивается излучением Солнца и стационарным электрическим полем земной атмосферы. Полная экологическая чистота.

Аналогов многоуровневой обработки восходящих потоков с помощью энергии Солнца и электрического поля Земли в мире нет.



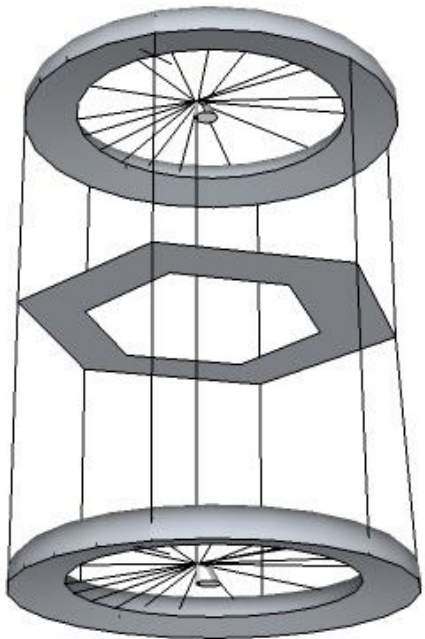
- 1- силовые тросы, основное усилие от горизонтальных потоков воздуха; один из тросов заземлен
- 2- зачерненные баллоны с газом
- 3 (рукава из металлизированного майлара/ лавсана)
- 3- проводящий заземленный каркас типа велосипедного обода со спицами-эмиттерами с иголками

Варианты с одним и четырьмя дополнительными уровнями нагрева

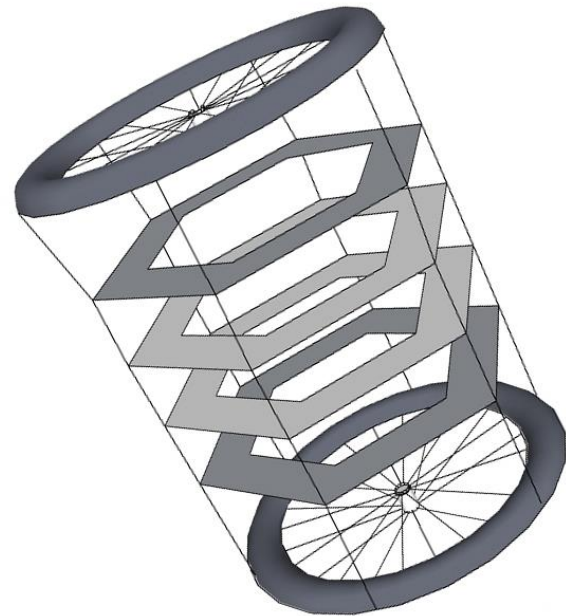


Варианты ярусов

1 дополнительный (не несущий) слой нагрева



4 дополнительных слоя



Пояснение

- Приведены ярусы с тороидальными (не обязательно) баллонами.
- Можно в виде спирали для уменьшения сопротивления восходящему потоку и запуска вихревого подъема воздуха
- Число ярусов и расстояние между ними определяются метеоусловиями и задачей
- Поверхности нагрева обязательно черные
- Производительность системы растет пропорционально квадрату радиуса
- Подъемная сила одного яруса требуется для уравнивания участка тросов, каркаса и давления бокового ветра с запасом на случай аварийного разрыва некоторых баллонов системы. Она не должна быть большой, чтобы вся конструкция изгибалась горизонтальными воздушными потоками, препятствуя выдуванию восходящего потока за пределы яруса.
- Для увеличения площади нагрева дополнительно навешиваются пассивные (не несущие) полотнища легкого черного материала.
- Самофокусировка в кольцевых вариантах
- При усилении горизонтального ветра система опускается
- Основное условие выбора высоты между уровнями нагрева: к следующему уровню восходящий воздух не должен прийти в равновесие с окружающим воздухом

Технология

На земле собираются ярусы каркаса, крепятся к тросам, на них навешиваются баллоны и ярусы закрепляются на земле.

Для подъема надо последовательно снимать крепления и отпускать ярусы.

Всегда должно быть хорошее заземление!!!

Высота подъема регулируется в зависимости от задачи и метеоусловий.

Не требуется никаких мощностей для нагрева воздуха (работает Солнце в антициклоне), генерации ионов (работает электрическое поле Земли и заземленные игольчатые эмиттеры). Начиная с нескольких сот метров разность потенциалов между эмиттерами и атмосферой будет составлять десятки киловольт, а восходящий поток воздуха будет сдувать образующийся объемный заряд, с ростом высоты эффективность этого механизма растет.

При некомпенсированном объемном заряде ионы живут долго и доходят до уровня точки росы даже с самого низа и явятся отрицательными (т.е. эффективными) центрами конденсации.

Полная экологическая чистота.

Энергетика (экспериментального) яруса

- При радиусе обода $=10$ м, радиусе баллона 1.5 м освещаемая поверхность баллона одного яруса зависит от положения Солнца и составляет в среднем 200 м^2 . При дополнительной поверхности $5 \times 200 \text{ м}^2$ поглощаемая энергия Солнца составит около 1000 кВт на каждом ярусе с учетом затенений. При средней скорости восходящего потока 2 м/сек (на оси яруса скорость больше) такая мощность позволит подогреть воздух в среднем на $1.5\text{-}2^\circ\text{C}$ на каждом уровне.
- Пусть до следующего подогрева (через 10 м) воздух охлаждается на 0.8° за счет боковых включений (это сильное $20\%\text{-}30\%$ примешивание) и превышения охлаждения за счет адиабатического расширения над температурой окружающего воздуха, тогда после 10 ярусов поток сможет преодолеть инверсию в $15 - 20^\circ\text{C}$ за счет накопленной температуры и механического импульса.
- При достаточно большой вертикальной скорости возникает вихревое движение (в нашем случае заряженного) потока воздуха, улучшается устойчивость против горизонтального ветра, уменьшается боковое примешивание.

Энергетика нагрева воздуха

- Если сухая адиабата идет выше стратификационной кривой – подогрев не нужен, будет самопроизвольный подъем воздуха.
- Пусть ярус – круг радиусом 10 м, его площадь 300 м², длина баллона 60 м, а его диаметр 1.5 м (объем баллона 106 м³), площадь нагрева 90 м², поглощенная энергия Солнца с учетом затенений – 50 кВт (12 ккал/сек).
- Надо, чтобы к высоте инверсии (3 км на рисунке) воздух был теплее сухой адиабаты на 5 градусов, т.е. суммарный нагрев на всех нижних уровнях (150 через 20 м) был не меньше 5 град ($5/150=0.033$ градуса на каждом уровне)
- Теплостойкость 1 м³ воздуха 0.3 ккал/град
- $12 \text{ ккал} / 0.3 / 0.033 = 1200 \text{ м}^3$ – такой объем подогреется на каждом ярусе за 1 сек, т.е. средняя скорость потока будет $1200/300 = 4$ м/сек при полном штиле.
- В средних широтах высота подъема 1.5 – 2 км.
- Если подогрева недостаточно, можно уменьшить расстояние между ярусами и/или добавить пассивные зачерненные поверхности.

Конструкция (экспериментального) яруса

Пусть радиус рукава (баллона) = 1.5 м, а радиус яруса (бублика) = 10 м. Объем баллона = 444 м^3 , подъемная сила полностью заполненного гелием баллона - около 450 кГ, поверхность баллона = 592 м^2 , вес оболочки около 24 кГ при удельном весе пленки – 40 г/м², крепление баллона (сетка) = 10 кГ. Дополнительная поверхность площадью 1000 м^2 в виде 5 полос черного материала шириной 4 м по периметру яруса (ширину можно увеличивать), - вес 35 кГ. Вес 300 м кабелей (кевлар, диаметр 5 мм, вес 1.8 кГ/100 м, прочность на разрыв 3 тонны) при расстоянии между ярусами 50 м = 5.4 кГ, вес 20 проводов-спиц диаметром 2 мм = 5 кГ, вес обода = 30-40 кГ.

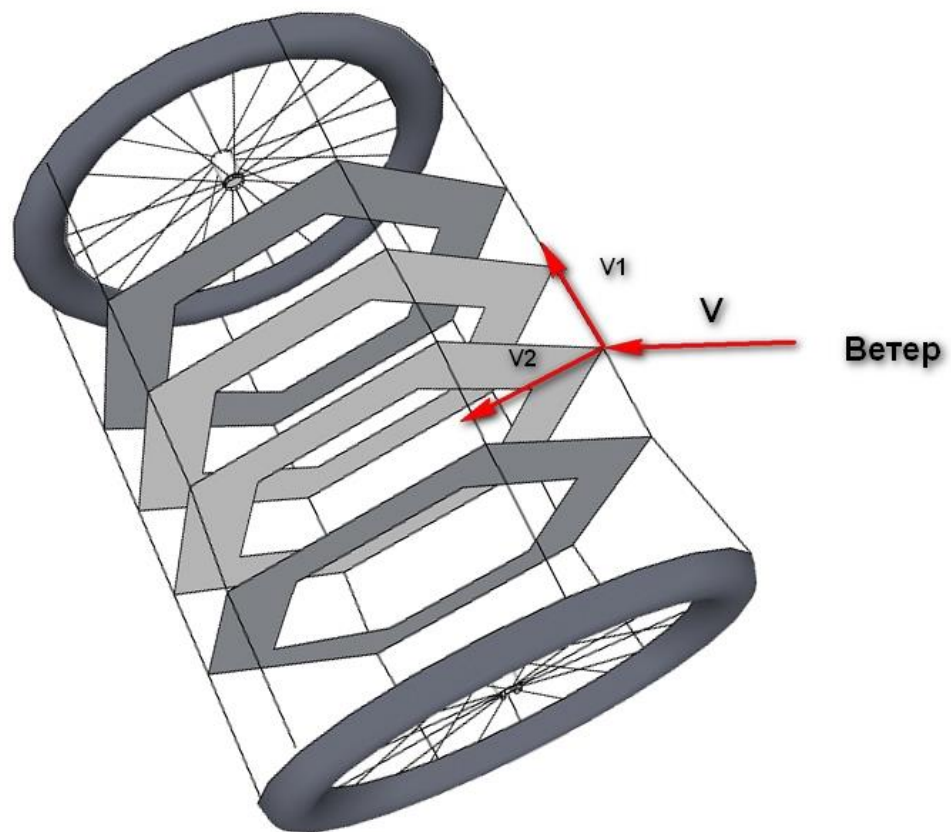
Суммарный вес около 100 кГ, т.е. баллон для нейтральной плавучести требуется заполнить газом только на $\frac{1}{4}$ его объема, и он будет иметь форму плоского кольца шириной 4 м и толщиной около 0.5 м, создающего минимальное сопротивление горизонтальному ветру при максимальной площади нагрева.

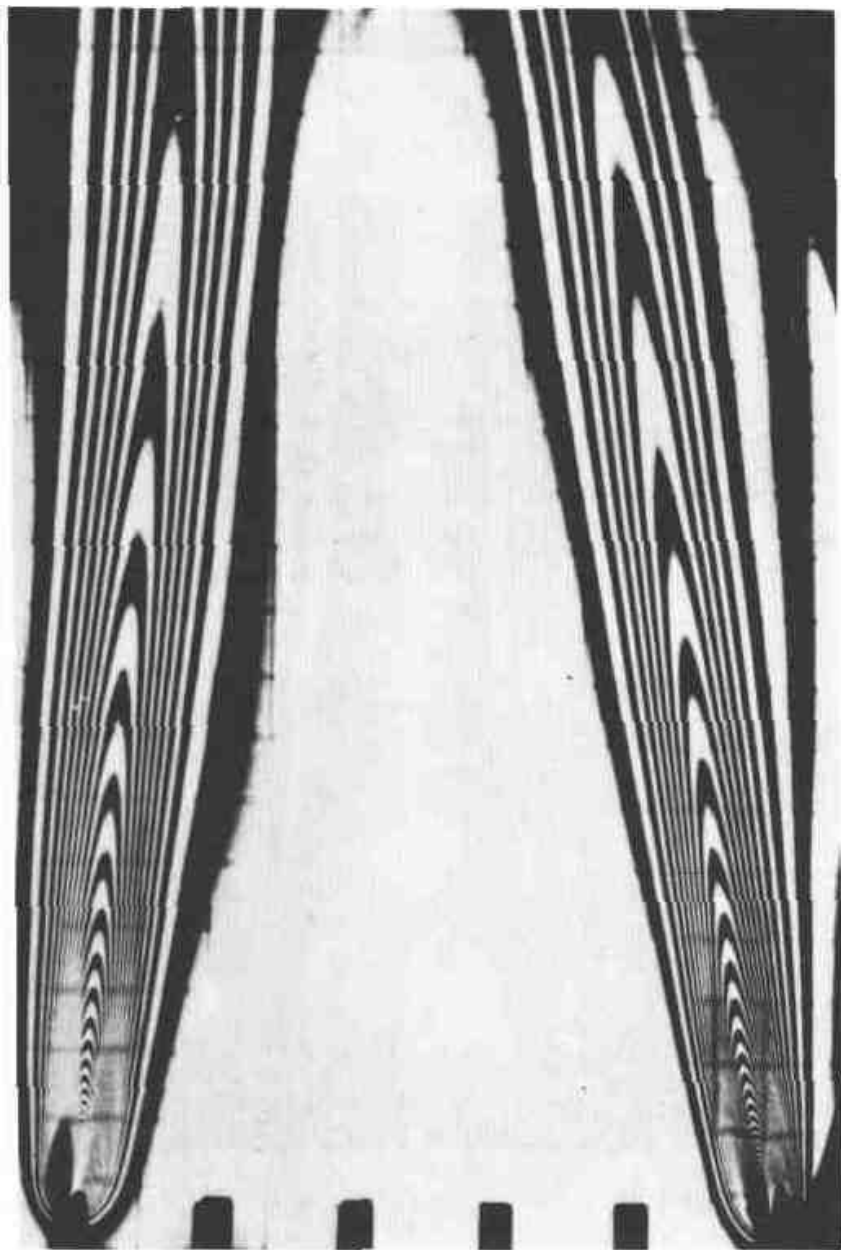
Конструкция (экспериментального) яруса

Горизонтальному ветру также противостоит самофокусировка факела конвекции и наклон самой установки из-за парусности ярусов.

Тангенс угла наклона оси установки от вертикали определяется отношением силы лобового сопротивления яруса горизонтальному ветру к подъемной силе яруса.

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.

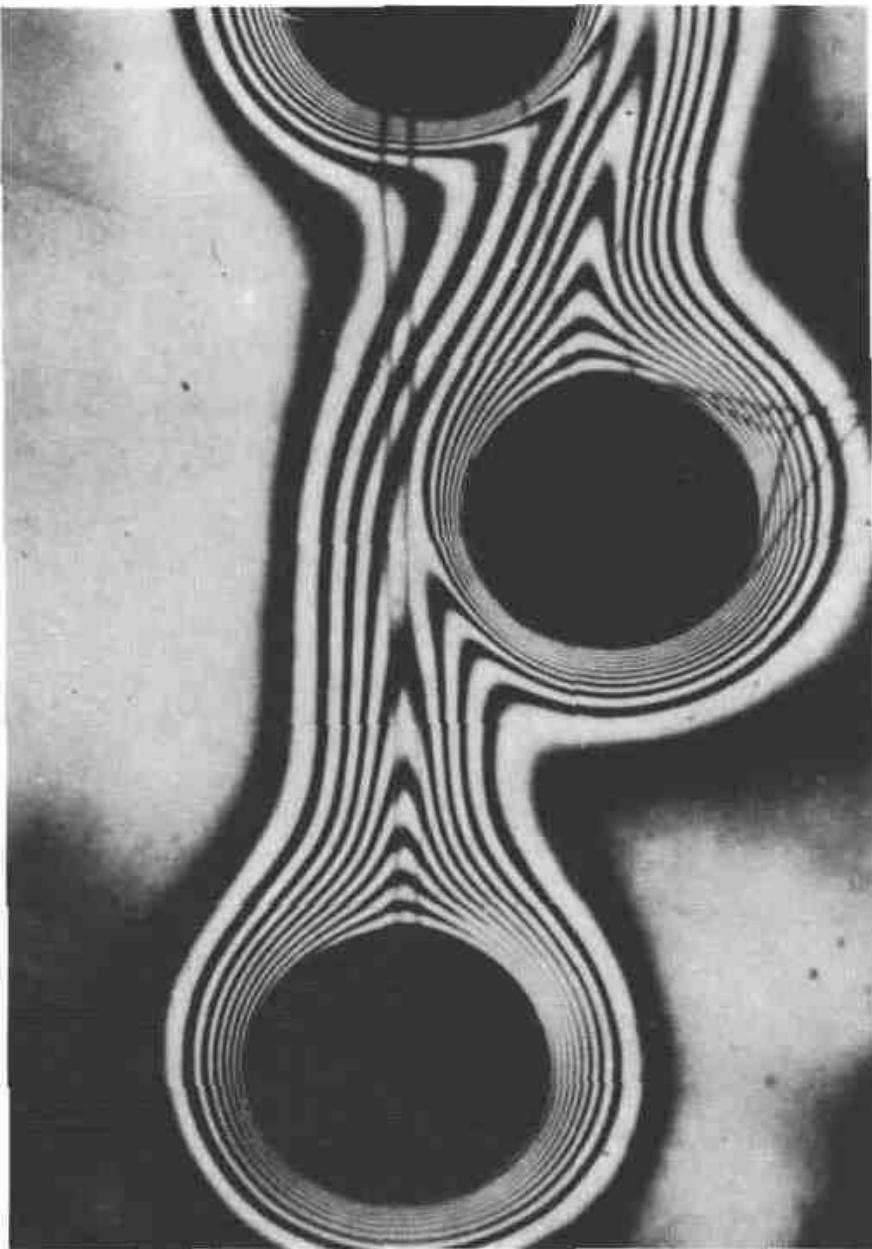




Взаимодействие двух одинаковых ламинарных факелов.

Нагретые электрическим током нихромовые провода длиной 18 см, отстоящие на 7,2 см, образуют конвективные факелы, сливающиеся между собой из-за вовлечения воздуха в промежуточной области.
[Pera, Gebhart, 1975]

**Самофокусировка
конвективных потоков**

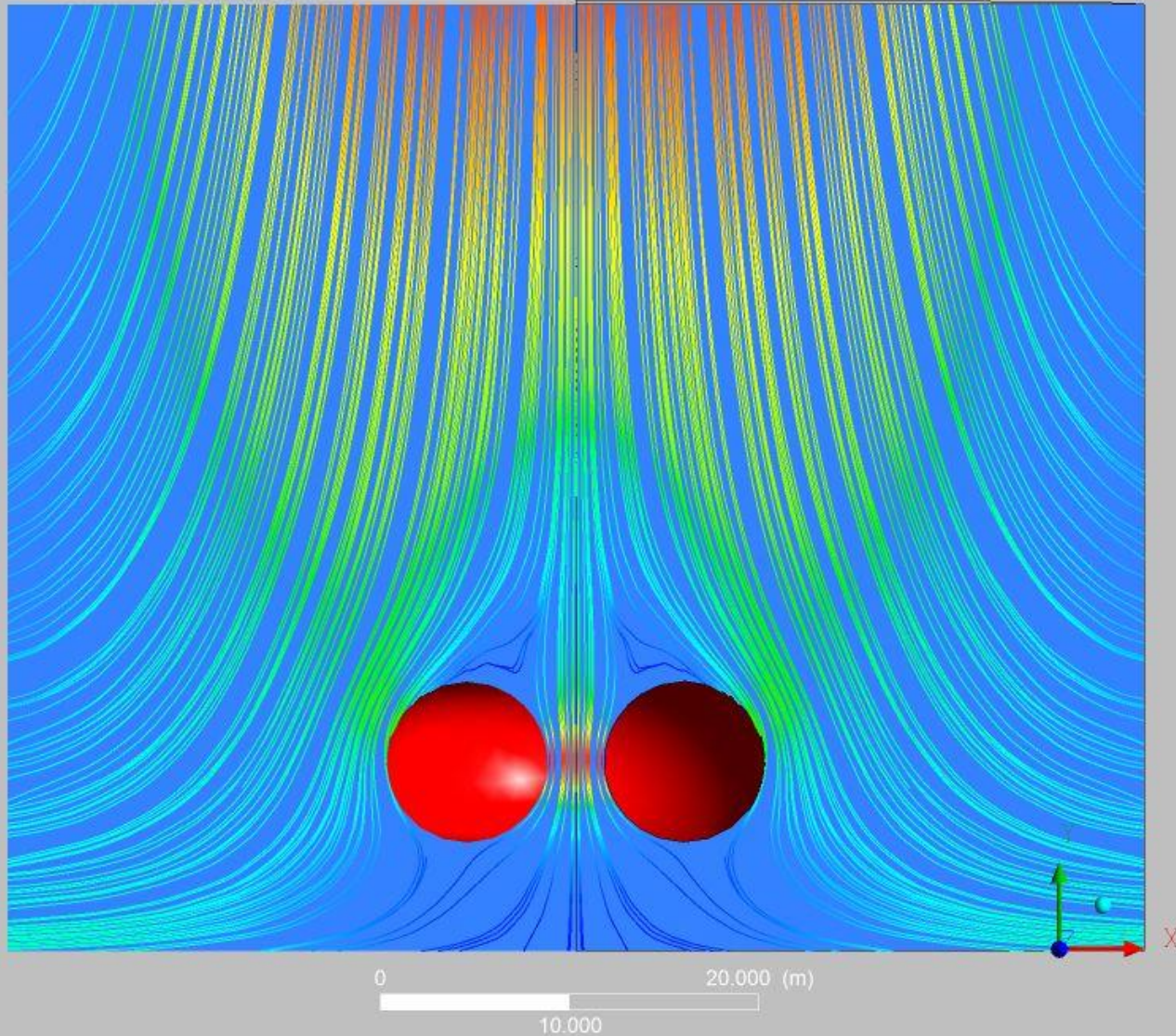
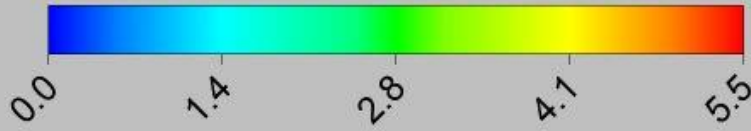


211. Свободная конвекция от трех горизонтальных цилиндров.

Интерферограмма
демонстрирует ламинарные
конвективные факелы в
воздухе, отходящие от
каждого из двух нагретых
цилиндров и
обволакивающие тепловой
пограничный слой третьего
цилиндра, расположенного
выше. [Eckert, Soehngen,
1948]

Velocity
Streamline 1

[m s⁻¹]



$H = 10 \text{ m}$

$D = 20 \text{ m}$

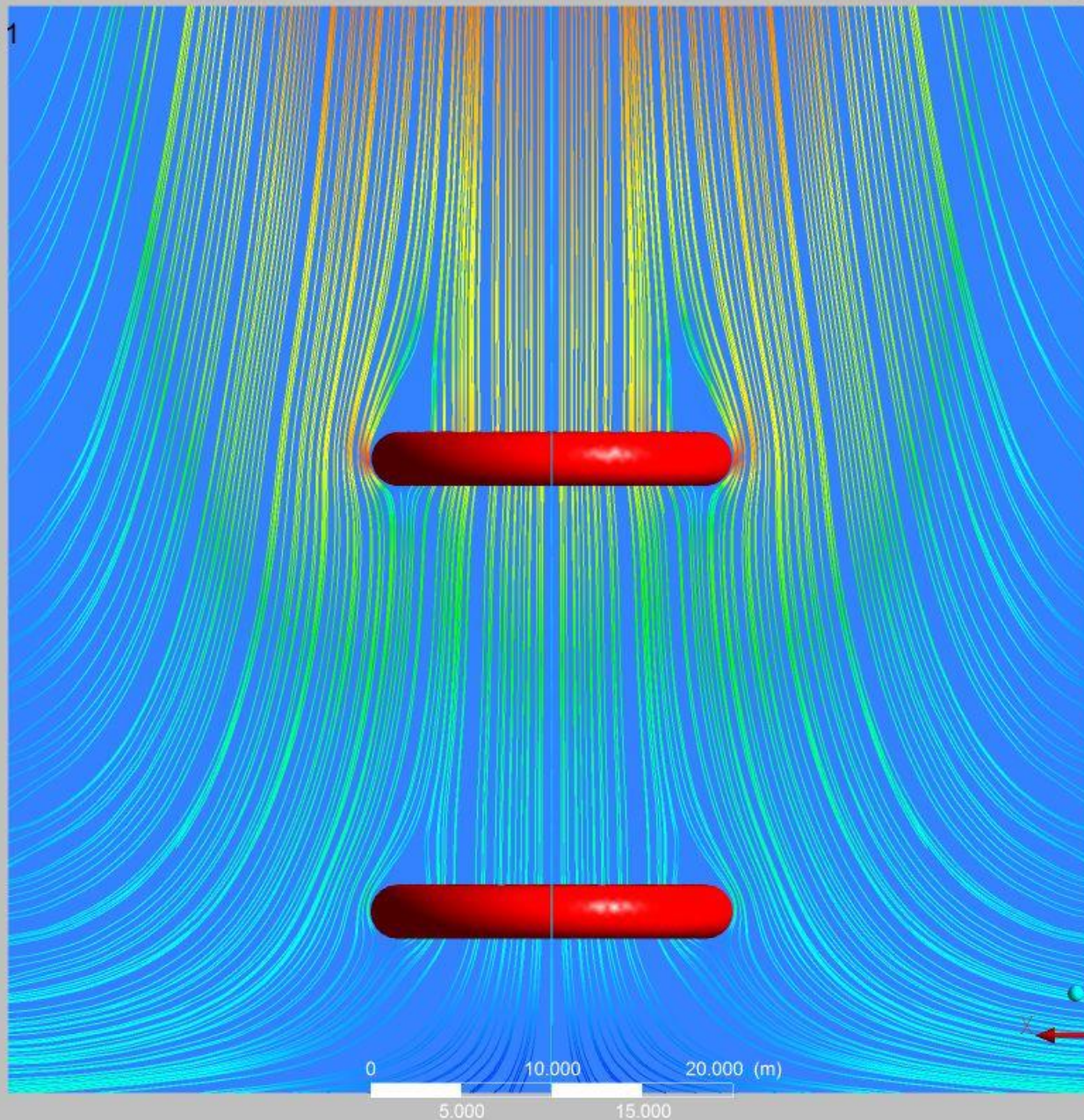
$d = 8.5 \text{ m}$

$T = 60^\circ\text{C}$

$t = 20^\circ\text{C}$

Velocity
Streamline 1

6.0
4.5
3.0
1.5
0.0
[m s⁻¹]



$$H = 10 \text{ m}$$

$$D = 20 \text{ m}$$

$$d = 3 \text{ m}$$

$$\Delta H = 20 \text{ m}$$

$$T = 40^\circ\text{C}$$

$$t = 20^\circ\text{C}$$

Конструкция (экспериментального) яруса

Полная солнечная энергия, идущая на нагрев, пропорциональна числу ярусов и для 20 ярусов (высота ~ 1 км) составляет 20 МВт, т.е. на столб восходящего потока площадью 1 м^2 приходится 60-80 кВт (для сравнения – в солнечном метеотроне 1-3 кВт).

Кроме того, существует трудно оцениваемый вклад в подогрев восходящего потока от тепловыделения энергии сродства электронов к молекулам кислорода и воды при обогащении восходящего потока отрицательными ионами, скрытой теплоты конденсации, Джоулева тепла в проводниках.

Вся энергетика обеспечивается излучением Солнца и электрическим полем Земли. Полная экологическая чистота.

Устройство относится к метеорологии, к методам активного воздействия на атмосферные процессы с целью создания облаков и вызывания осадков. Может также использоваться для целей сельского хозяйства, экологии, как экспериментальный прибор для метеорологических исследований в регулируемых условиях, в горном деле и промышленности для вентиляции т.д.

Плотность газов и паров

В таблице приведены плотности и формулы для основных газов и паров *Легче воздуха*

Таблица плотностей для газов и паров – при 0°C и 760 мм. рт. ст. (Воздух – 1.225)

Единицы измерения плотности (ρ) – (1 г/л = 1 кг/м³)

Вещество	Формула	ρ
Неон	Ne	0.8999
Аммиак	NH ₃	0.7714
Ацетилен	C ₂ H ₂	1.1709
Водород	H ₂	0.08987
Гелий	He	0.1785
Диметилсульфид	C ₂ H ₆ S	0.848*
Диметилдисульфид	(CH ₃ S) ₂	1.062*
Метан	CH ₄	0.7168
Метилмеркаптан	CH ₃ SH	0.87
Водяной пар насыщенный (при t=100°C)	H ₂ O	0,589

* – при $t = 20^\circ\text{C}$

Общество с ограниченной ответственностью

«ТЕХГАЗ»

- 460501, Оренбургская обл.Оренбургский район, с.Южный Урал,
- ул.Буденного, 2 «В» тел. (3532) 37-31-31, факс (3532) 37-31-70
- р/сч 40702810746070001710 Оренбургское ОСБ № 8623 г.Оренбург
- БИК 045354601 к/сч 30101810600000000601 ИНН 5638031217 КПП 563801001
- www.tehgaz-orenburg.ru E-mail:373131@tehgaz-orenburg.ru
-

Утверждаю:

Директор ООО «Техгаз»

С.В. Татаринов

ПРАЙС – ЛИСТ

на 01.03.2011 г.

№ п/пНаименованиеЕд. изм.Цена с НДС (руб.)

ГАЗЫ

- | | | |
|--|----------------|-------|
| • 1. Кислород технический | Баллон (40 л) | 175 |
| • 2. Кислород медицинский газообразный | Баллон (40 л.) | 200 |
| • 2. Аргон, сорт высший ГОСТ 10157-79 | Баллон (40 л) | 1 200 |
| • 3. Гелий газообразный марка «Б» | Баллон (40 л) | 1 520 |
| • 4. Гелий газообразный марка «А» | Баллон (40 л) | 1 900 |
| • 5. Гелий | Баллон (25 л) | 990 |
| • 6. Гелий | Баллон (10 л) | 690 |

С форума **Аэростат своими руками** материал для баллонов

Металлизированная лавсановая пленка продаётся под названием "**Спасательное теплоотражающее одеяло**" (18 г/кв.м), устойчивая к ультрафиолету и лучше держит газ (если делать газонаполненный аэростат/дирижабль). Стоимость 1 кг (55м²) $\approx$ \$2.

Спасательное теплоотражающее одеяло.

Может быть использовано неоднократно

Вес: 62 гр

Размеры: 210x160 см

Ветровая нагрузка

Динамическое давление ветра на поверхность определяется по формуле:

$f = (\rho V^2)/(2g)$, где $\rho = 1.225 \text{ кг/м}^3$ - плотность воздуха, $g = 9.81 \text{ м/сек}^2$ - ускорение свободного падения, V - скорость ветра, действующего на поверхность. Подставив $V = 5 \text{ м/сек}$, получим: $f = 1.5 \text{ кгс/м}^2$.

Полная ветровая нагрузка на поверхность яруса $S = 25 * f = 38 \text{ кгс}$.

Аэродинамический коэффициент поверхности для цилиндра $\approx 1-1.2$.

Нагрузка делится на продольную (вдоль наклоненного троса) и поперечную.

Продольная сила, кроме давления на тросы, усиливает восходящий поток.

Поперечная сила ветра должна уравновешиваться подъемной силой баллонов.

Ветер Шкала Бофорта

Скорость м/сек	Ба лл ы	название ветра	Действие ветра
меньше 1	0	штиль	дым поднимается вверх, флаг висит спокойно
1	1	тихий	дым слабо отклоняется в сторону, на деревьях шелестит листва
2-3	2	легкий	движутся тонкие ветви деревьев, флаг слабо развевается
4-5	3	слабый	заметно движение листьев на деревьях и раскачивание небольших веток
6-8	4	умеренный	раскачиваются ветви деревьев, колеблются сучья
9-10	5	свежий	
11-12	6	сильный	ветер колышет большие ветви деревьев

Ветер в Москве

сайт GISMETEO

год	Скорость ветра м/сек	0	1	2	3	≥4
2011/12	май	6/10	16/19	9/9	0/2	0/1
	июнь	5/7	11/16	8/7	5/0	0/0
	июль	12/15	9/12	6/4	2/0	1/0
	август	15/10	7/11	5/4	4/6	0/1
2009/10	май	3/2	9/8	13/12	5/7	1/1
	июнь	2/1	6/12	16/9	6/7	0/0
	июль	2/3	15/10	14/14	0/3	0/1
	август	2/4	8/11	14/13	7/3	0/0
сумма		19/81	79/101	105/52	38/19	3/3

Размещение лабораторной установки для рассеивания тумана в большой аэрозольной камере НПО «Тайфун» (1-установка, 2- измеритель прозрачности среды на основе гелий-неонового лазера). Обнинск, 2008 г.



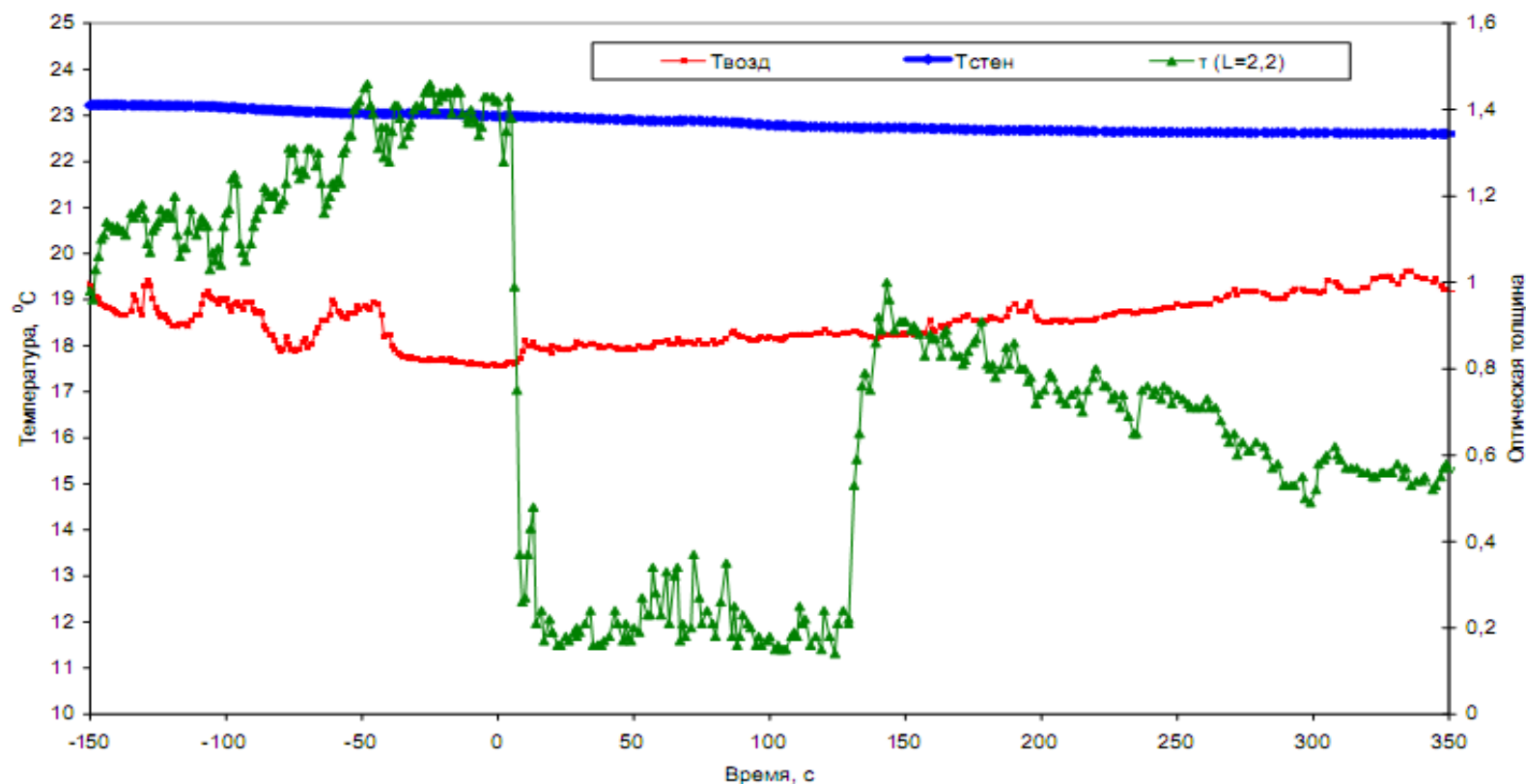
КОРОННЫЙ РАЗРЯД

высоковольтный самостоятельный электрический разряд в газе при плотности $\sim 1 \text{ атм}$, возникающий **в резко неоднородном электрическом поле** вблизи электродов с малым радиусом кривизны (остриё, тонкие проволоки и т. п.). Помимо излучения в видимой, УФ (гл. обр.), а также в более коротковолновой частях спектра, К.р. сопровождается движением частиц газа от коронирующего электрода (т. н. электрич. ветром), шелестящим шумом, иногда радиоизлучением, химическими реакциями (образование озона и окислов азота в воздухе).

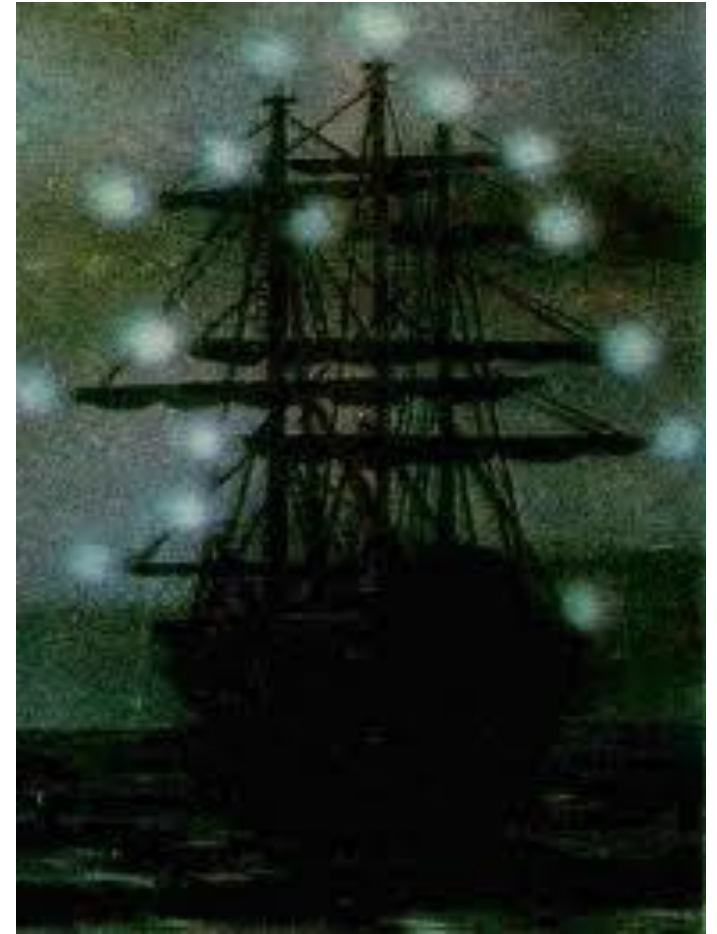
Ионизация и возбуждение нейтральных частиц газа лавинами электронов локализованы в огранич. зоне - т. н. **зоне ионизации (ЗИ)**. Из ЗИ **во внешнюю зону (ВЗ)** движется поток носителей заряда (**электронный ветер**). Образующийся **объёмный заряд** тормозит дальнейшее развитие процессов ионизации, ослабляя в среднем поле вблизи коронирующего электрода, **что локализует ЗИ** вблизи коронирующего электрода. При любом напряжении на электродах (большем, чем напряжение появления короны, и меньшем, чем напряжение пробоя) объёмный заряд ВЗ имеет такую величину и распределение, при которых градиент поля у поверхности коронирующего электрода остаётся практически неизменным и по величине близким к градиенту начала короны. Таким образом, **интенсивность К.р. регулируется собственным объёмным зарядом**.

При отрицательной короне новый электрон освобождается в результате **фотоэмиссии** с поверхности катода.

Влияние постоянной короны на сформированный в БАК
($d=15\text{m}$, $h=18\text{m}$, $V=3200\text{m}^3$) туман с большой
оптической плотностью. Высота подвеса установки 6 м.



- Напряженность электрического поля на поверхности острия с радиусом кривизны r и потенциалом U относительно анода равна
$$E = \frac{U}{r}.$$



Катоды



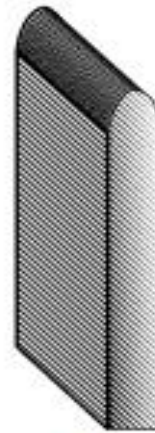
а)



б)



в)



г)

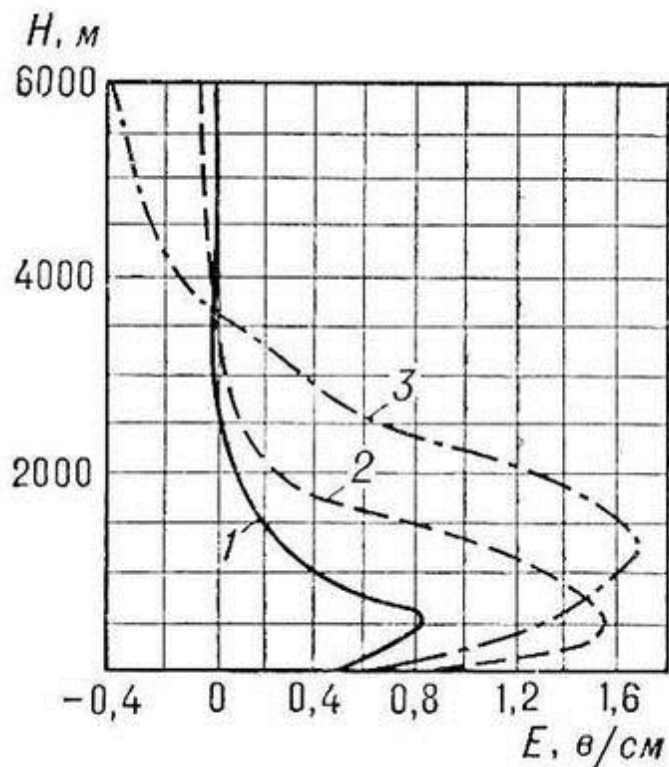
а – острыйный,
б – коаксиальный,
в – лезвийный,
г – пленочный, эмиссия
с торца пленки

$$\varepsilon = \beta V -$$

напряженность
электрического поля
у поверхности
катода, В/см, V –
разность
потенциалов, В
 R – расстояние до
анода, r – радиус
кривизны

$\beta = \frac{R}{r(R-r)}$	для сферически-симметричной системы электродов;
$\beta = \frac{1}{r \ln(R/r)}$	для системы коаксиальных цилиндров;
$\beta = \frac{2}{r \ln(2R/r)}$	для острейного автоэммитера в форме параболоида вращения;
$\beta = \frac{1}{\sqrt{2Rr}}$	для протяженного лезвийного автоэммитера с поперечным сечением в форме параболы;
$\beta = \frac{2}{\sqrt{\pi RH}}$	для пленки с эмитирующим торцом постоянной толщины H .

Электрическое поле Земли



Баланс электрических зарядов,
приносимых на земную поверхность
площадью 1 км^2 за год,

Ток проводимости + $60 \text{ к}/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$

Токи осадков + 20 »

Разряды молний – 20 »

Токи с остриёв – 100 »

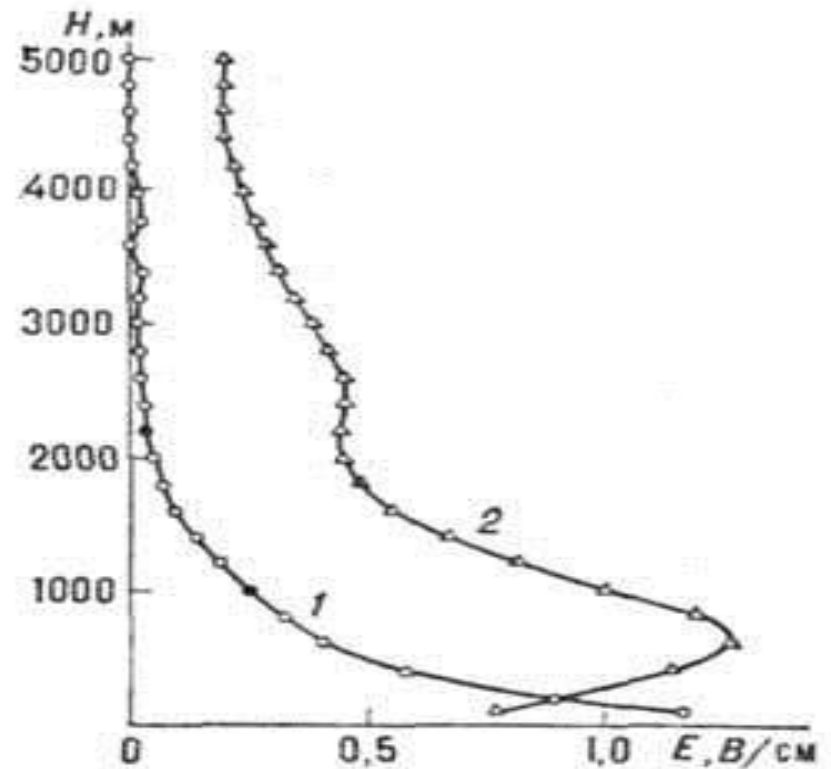
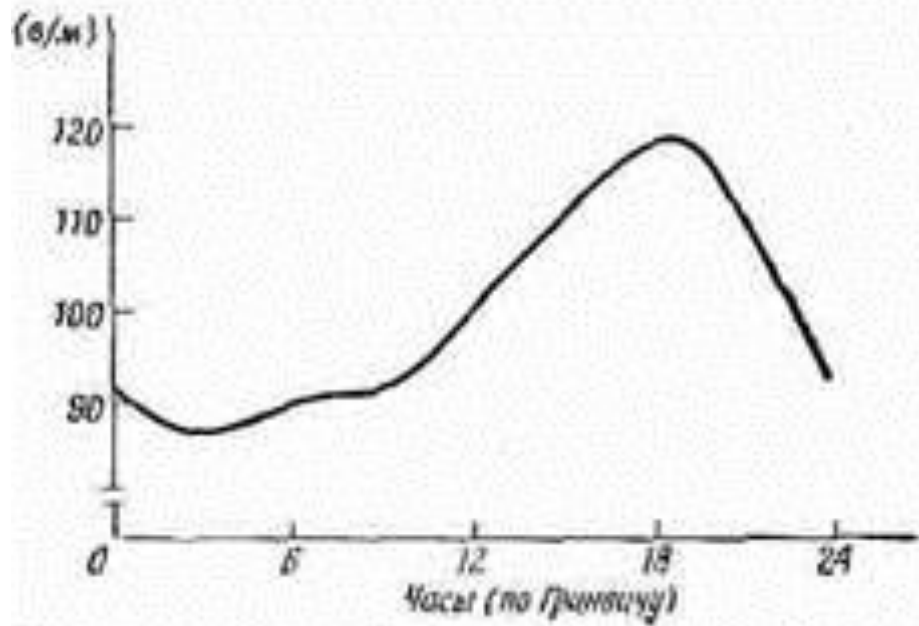
Всего – $40 \text{ к}/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$ bse.sci-lib.com/article125945.html

Мощность $1800 \text{ а/сек} \times 400 \text{ кВ} =$

700 МВт

Изменение напряжённости электрич. поля E с высотой H . 1 - Ленинград; 2 - Киев;
3 - Ташкент.

Между Землей и ионосферой разность потенциалов 300-500 кВ

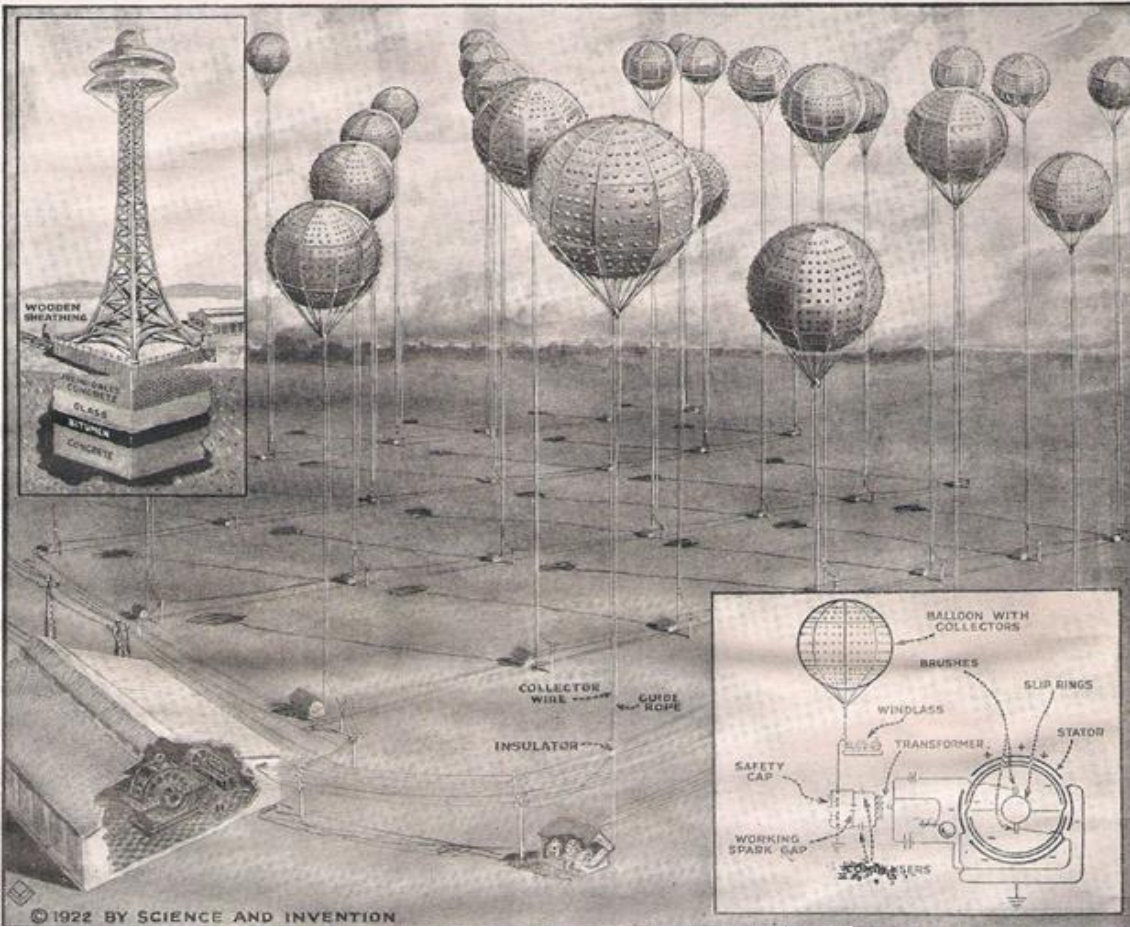


Ход напряжённости
электрического поля E с высотой
НВ зонах "хорошей" погоды. 1 - в
чистой атмосфере (океан,
арктические районы и т. д.); 2 -
над континентами.

http://www.femto.com.ua/articles/part_1/0217.html

E имеет наибольшее значение
в средних широтах, а к
полюсам и экватору убывает.

- Средняя суточная вариация градиента потенциала атмосферы в ясную погоду над океанами
- Ток меняется приблизительно на $\pm 15\%$ и достигает наибольшего значения в 19 часов вечера по лондонскому времени, а минимума — в 4.00 по тому же времени, ток **зависит от абсолютного** земного времени, а не от **местного** времени в точке наблюдения
скорость легких ионов около 1 см/сек в поле 1 в/см



Герман Плаусон

эксперименты с аэростатами, изготовленными из тонких листов магниево-алюминиевого сплава, покрытого очень острыми, электролитическим способом изготовленными иглами, получил мощность 0,72 кВт от одного аэростата и до 3,4 кВт от двух, поднятых на высоту 300 м. В 1920-х годах получил патенты США, Великобритании и Германии. Эти устройства так и не получили широкого практического применения ввиду громоздкости и нестабильности снимаемой мощности, которая целиком зависит от «электрической погоды» в атмосфере.

June 9, 1925.

1,540,998

H. PLAUSON

CONVERSION OF ATMOSPHERIC ELECTRIC ENERGY

Filed Jan. 13, 1921

12, Sheets-Sheet 1

Fig. 1.

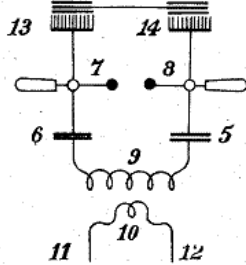
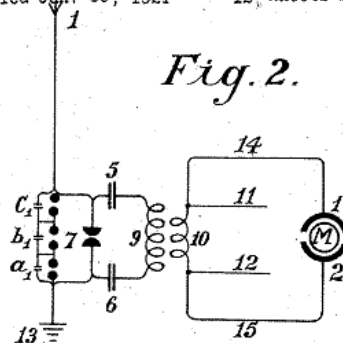


Fig. 2.



Эксперименты с атмосферным электричеством опасны, особенно при грозе и в предгрозовой обстановке. Сильная электризация наблюдается также во время метели и пыльных бурь.

Применение

- Подъем системы прекращается, когда начнет образовываться кучево-дождевое облако, если целью был дождь
- Если целью была вентиляция (выброс приземных загрязнений), то подъем прекращается при достижении высоты с рассеиванием на достаточные расстояния

A dramatic landscape photograph featuring a vast, dark, and turbulent storm cloud formation, possibly a supercell or the beginning of a tornado, dominating the sky. The clouds are dark blue and grey, with some lighter patches where sunlight breaks through. Below the storm, a bright green field stretches across the foreground, separated from the horizon by a simple wooden fence. The overall scene conveys a sense of awe and the power of nature.

Спасибо за внимание !



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2462026

СПОСОБ СОЗДАНИЯ ВОСХОДЯЩЕГО ПОТОКА ВОЗДУХА В АТМОСФЕРЕ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ (ГЕЛИАТОР)

Патентообладатель(ли): *Учреждение Российской академии наук
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН) (RU)*

Автор(ы): *Павлюченко Виктор Павлович (RU)*

Заявка № 2011111351

Приоритет изобретения 28 марта 2011 г.

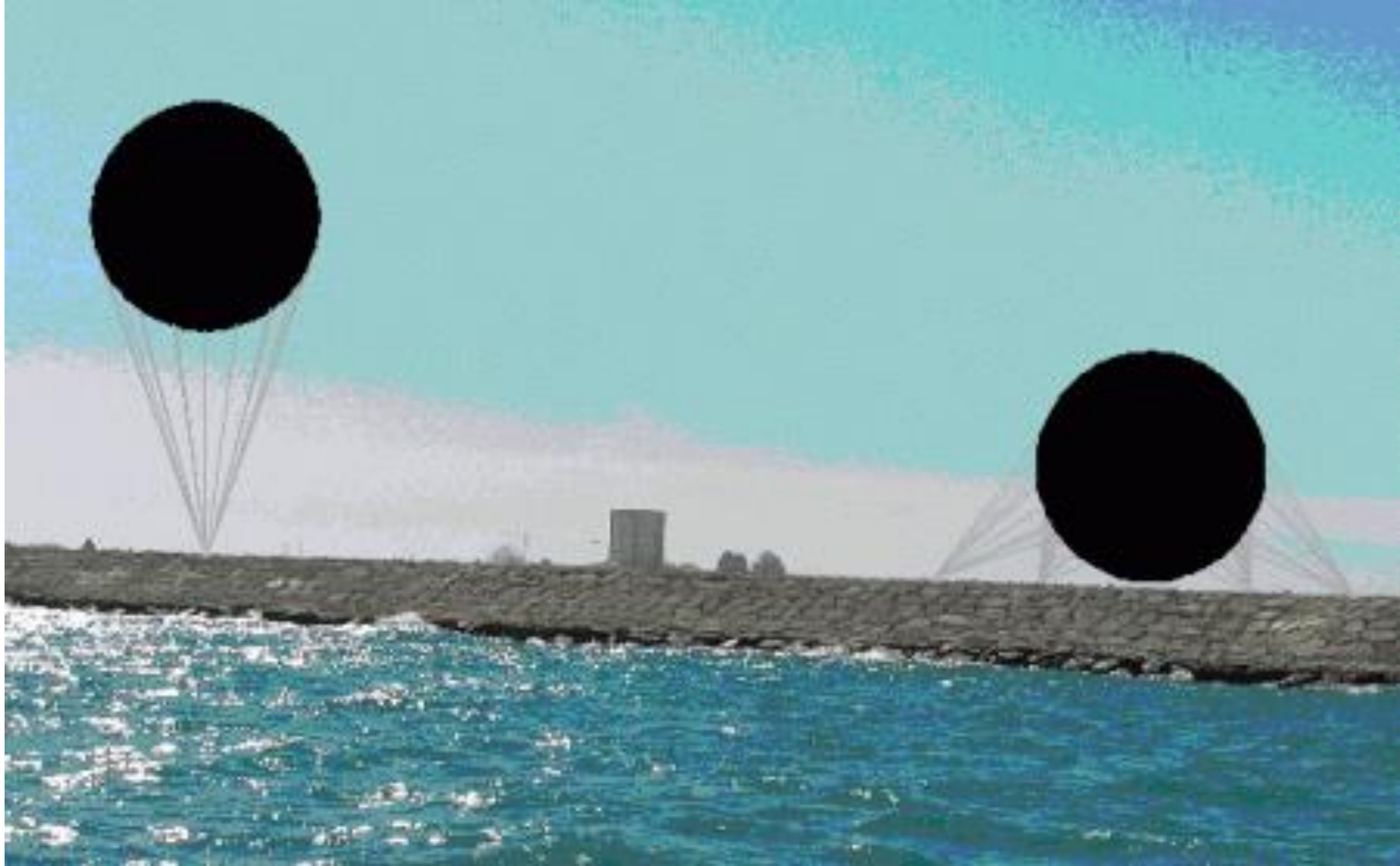
Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации 27 сентября 2012 г.

Срок действия патента истекает 28 марта 2031 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов





Солнечные электростанции «Черная луна» и «Черная жемчужина», Тайвань 2003
патент RU 2170852, Коровкин С.В.

Параметр	Размерность	Величина	Примечание
Диаметр баллона	м	300	В дневное время при солнечной погоде
Максимальная электрическая мощность	кВт	6000	Электрическая мощность на клеммах электрогенератора
Давление пара на входе в турбину (на выходе)	Атм	1 0.06÷0.08	
Температура пара на входе в турбину	°С	120÷130	В зависимости от времени суток
Запас водяного пара в баллоне	м ³ кг	14×10 ⁶ 9×10 ⁶	При максимальном заполнении баллона
Время работы электростанции за счет запасов пара в баллоне	Сутки	4	При среднесуточной электрической мощности 5000 кВт
Потери тепла через оболочку баллона КПД	%	7 15	По отношению к поглощенному излучению
Масса баллона	т	1900	Без учета массы водяного пара

При атмосферном давлении перегретый пар в баллоне имеет плотность 0.6 кг/м³. Плотность наружного воздуха составляет 1.3 кг/м³. Таким образом, каждый кубический метр внутреннего пространства баллона, заполненного водяным паром, создает подъемное усилие 0.7 кг/м³. Подъемная сила всего водяного пара в баллоне составляет 8 400 тонн. Если вычесть массу оболочки баллона (1900 тонн), то вертикальная подъемная сила составит 6 500 тонн.