



Факультет географии и геоинформационных
технологий

Москва 2023

Метеорология и климатология

Методы и средства измерения параметров атмосферы
История и современность



Метеорология

- мет-έωρα — «небесные явления»
- Аристотель «Метеороλόγика» (IV век до н. э.)

Разделы:

- Физическая метеорология
- Динамическая метеорология
- Синоптическая метеорология
- Климатология
- Аэрология





Виды наблюдений

- Прямые
- Косвенные



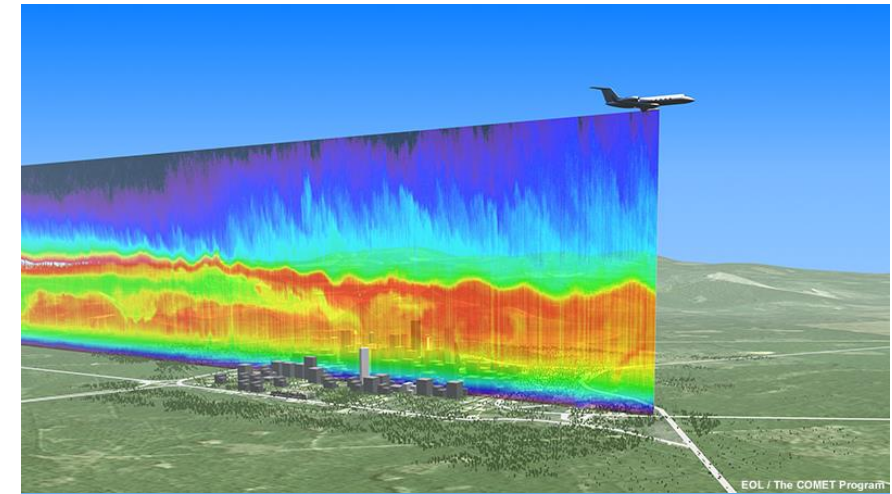
Виды наблюдений

- *in-situ* (т.е. на месте)
- дистанционные



Виды наблюдений

- *in-situ* (т.е. на месте)
- дистанционные





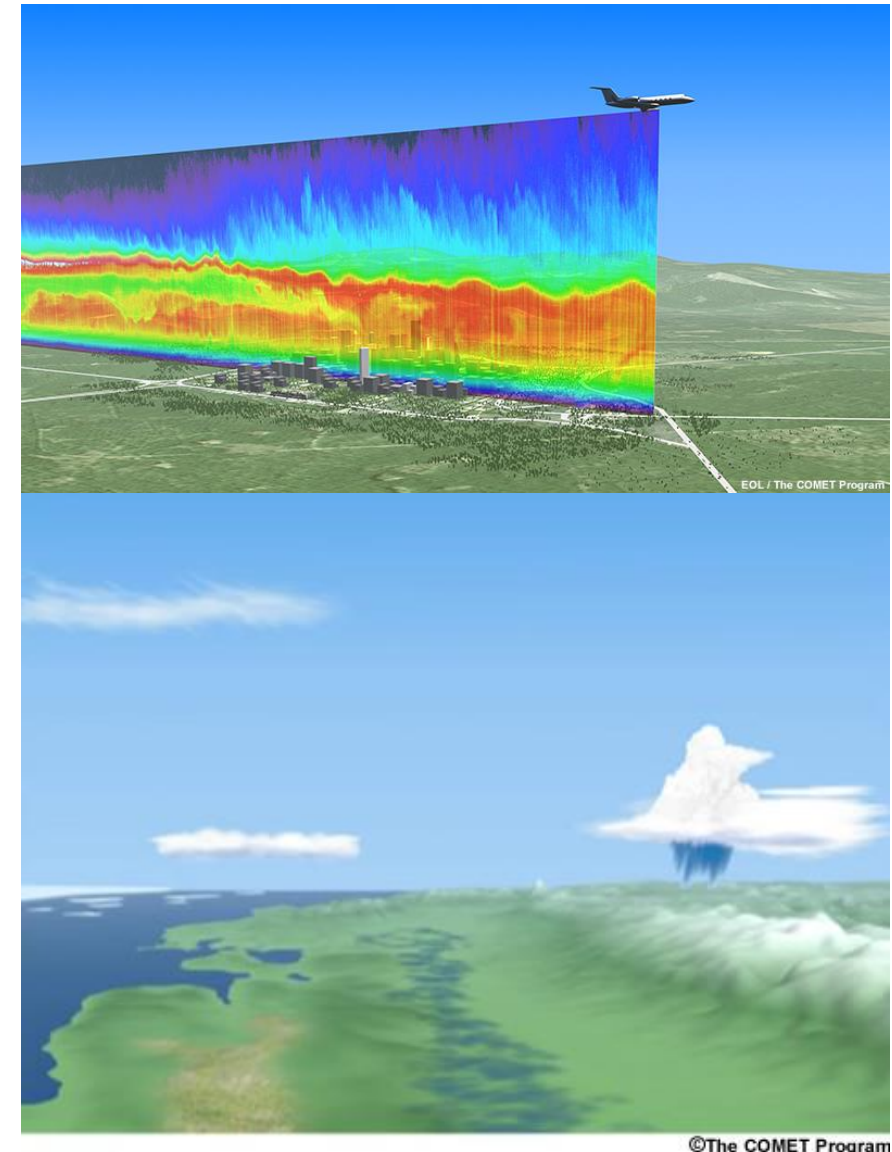
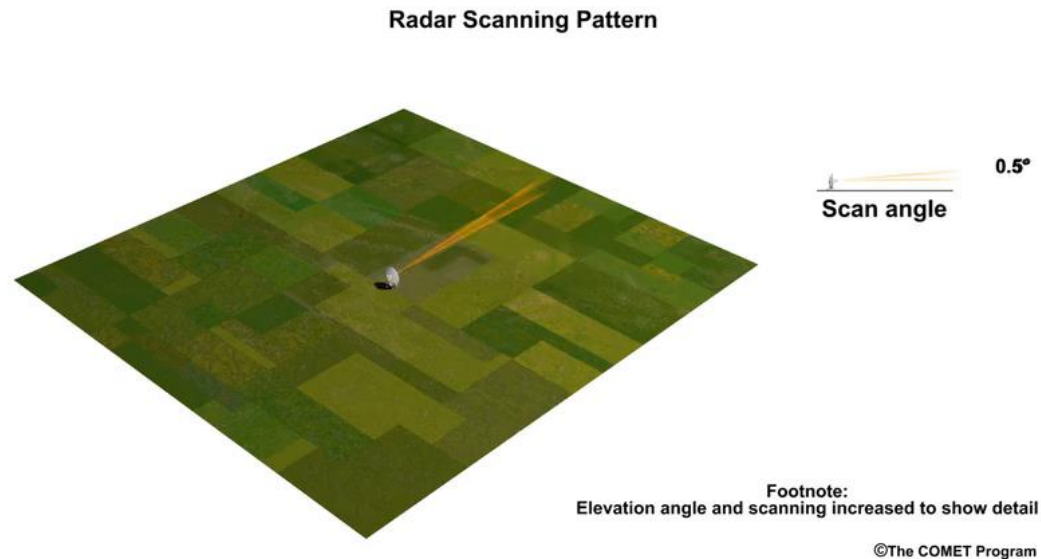
In-situ наблюдения

- Метеорологическая обсерватория
- Агрометеорологическая станция
- Аэрологический зонд
- Снегомерный маршрут



Дистанционные наблюдения

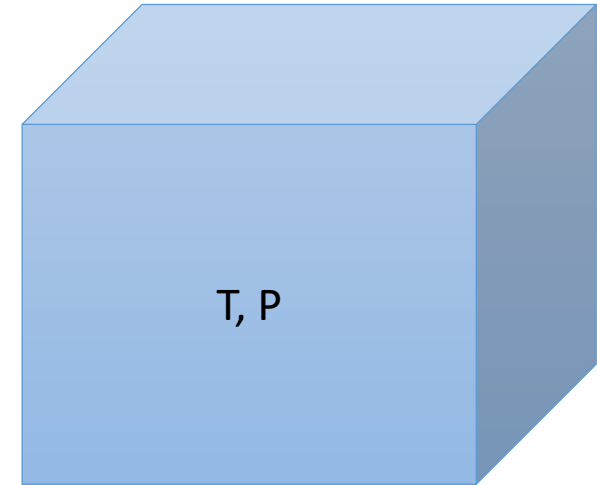
- Наземные
- Авиационные
- Спутниковые
- Пассивные
- Активные



Метеорологические переменные

Характеристики атмосферы - интенсивные величины

- Температура
- Давление
- Влажность
- Скорость ветра
- Количество осадков
- Солнечная радиация
- Облачность
- Атмосферные аэрозоли
- Газовый состав



$$P = \rho R_d T$$

- P – давление
- ρ – плотность
- R_d – газовая постоянная сухого воздуха,
- $R_d = R/M_d$ $R = 8.3145$ Дж/Моль*К, $M_d = 0.02897$ кг/моль
- T – температура, К

Температура воздуха

- Закон Шэрля

$$p = p_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right)$$



Температура воздуха

- Закон Шáрля
- Термометр (ртутный, спиртовой)
- Габриель Даниель Фаренгейт (1717)
- Андерс Цельсий (1742)
- Уильям Томсон, лорд Кельвин (1848)

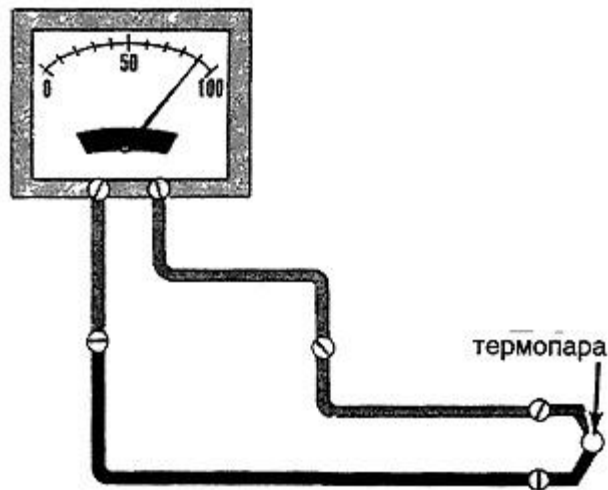
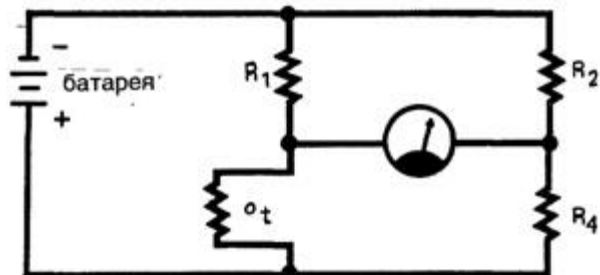
$$p = p_0 \left(1 + \frac{t}{273} \right)$$



Температура воздуха

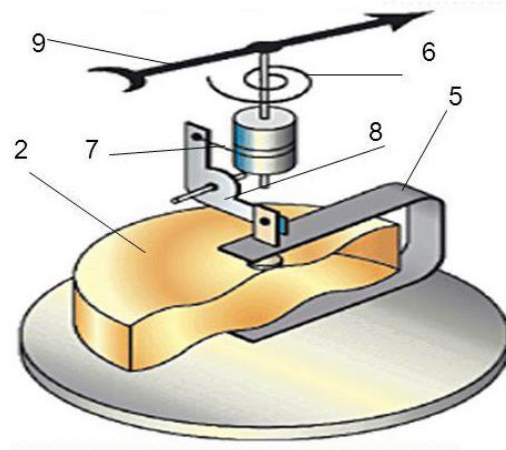
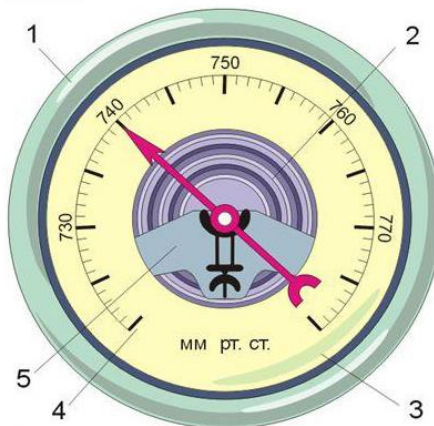
- Закон Шэрля
- Термометр (ртутный, спиртовой)
- Габриель Даниель Фаренгейт (1717)
- Андерс Цельсий (1742)
- Уильям Томсон, лорд Кельвин (1848)
- Термопара (термоэлектрический эффект)
- Термистор (терморезистор)

$$p = p_0 \left(1 + \frac{t}{273} \right)$$



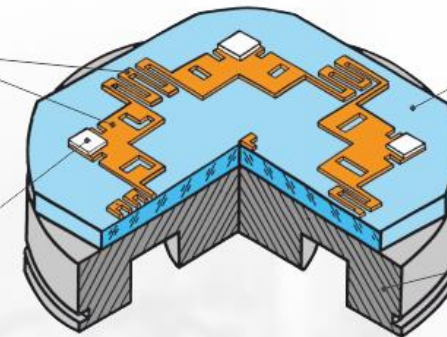
Атмосферное давление

- Торичелли (1643), Паскаль (1648) , фон Герике (1654)
- Ртутный барометр
- Барометр-анероид («безводный»)
- Пьезорезистивные датчики (BMP180)



Тензометрический мост
Уитстона из
монокристаллического
кремния

Контактные площадки
из алюминия



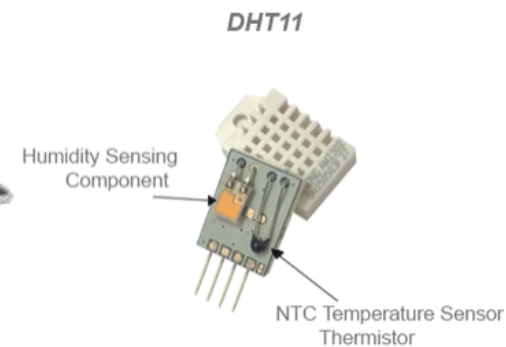
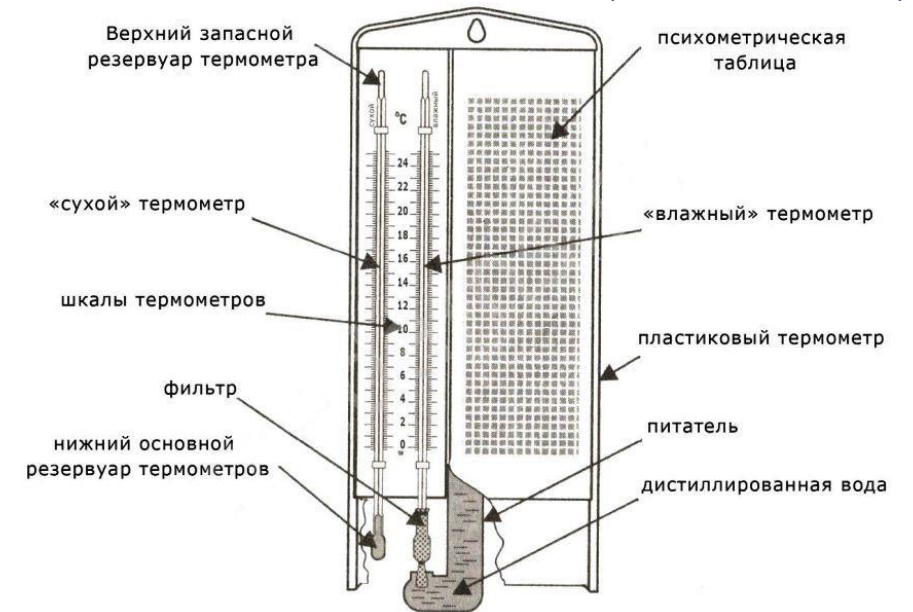
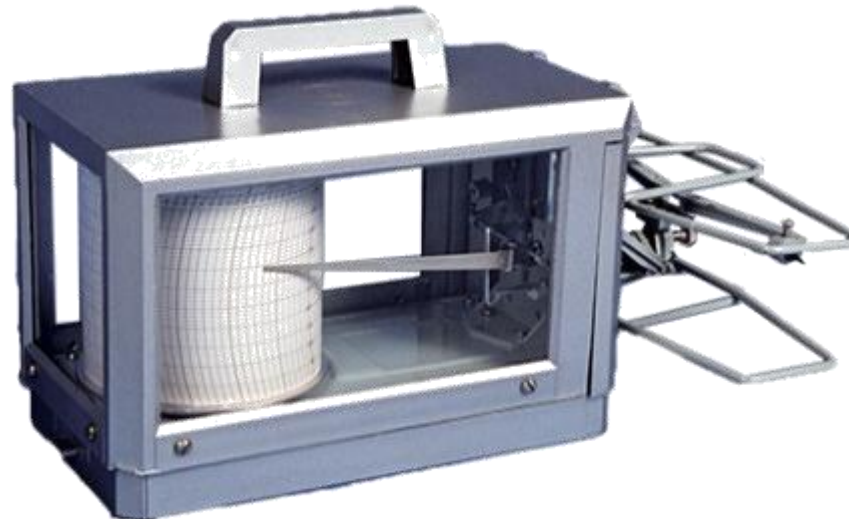
Монокристаллическая
сапфировая мембрана

Титановая мембрана

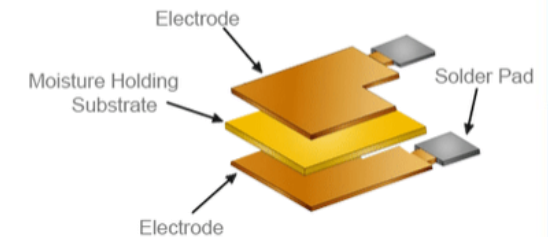
Влажность воздуха

- Парциальное давление водяного пара – давление только молекул газа в пределах объема воздуха
- Психрометр
- Гигрограф
- Затухание электромагнитных волн/лазерных лучей
- Резистивный сенсор (DHT11)

$$RH = \frac{P(H_2O)}{P^*(H_2O)} \times 100\%$$



Humidity Sensing Component





Скорость ветра

- Как правило, измеряется горизонтальная (u) компонента ветра
- Чашечный анемометр (кол-во оборотов в секунду)
- Ультразвуковой анемометр





Количество осадков

- Количество осадков
- Интенсивность осадков (количество за единицу времени)
- Вид осадков (твердые, жидкие, смешанные)
- Осадкомер Третьякова
- Суммарный осадкомер
- Чашечный осадкомер
- Плувиограф

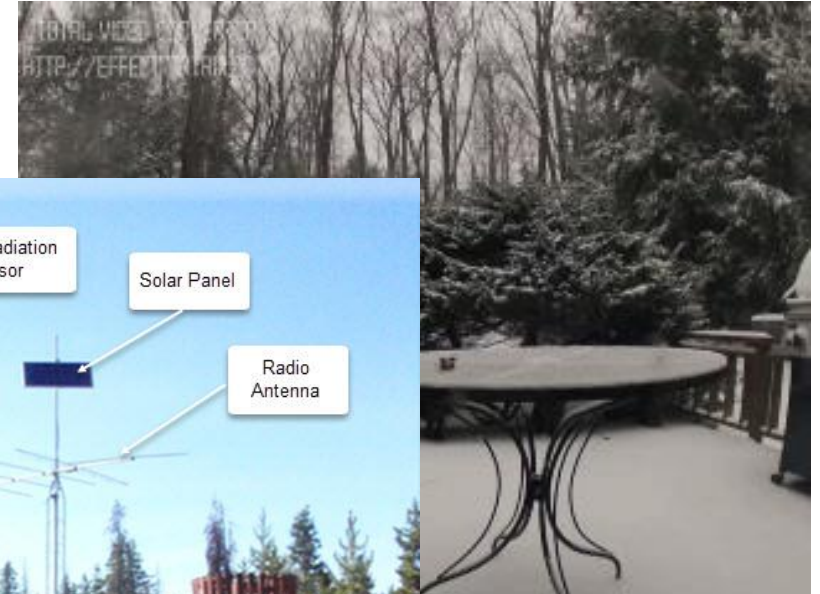
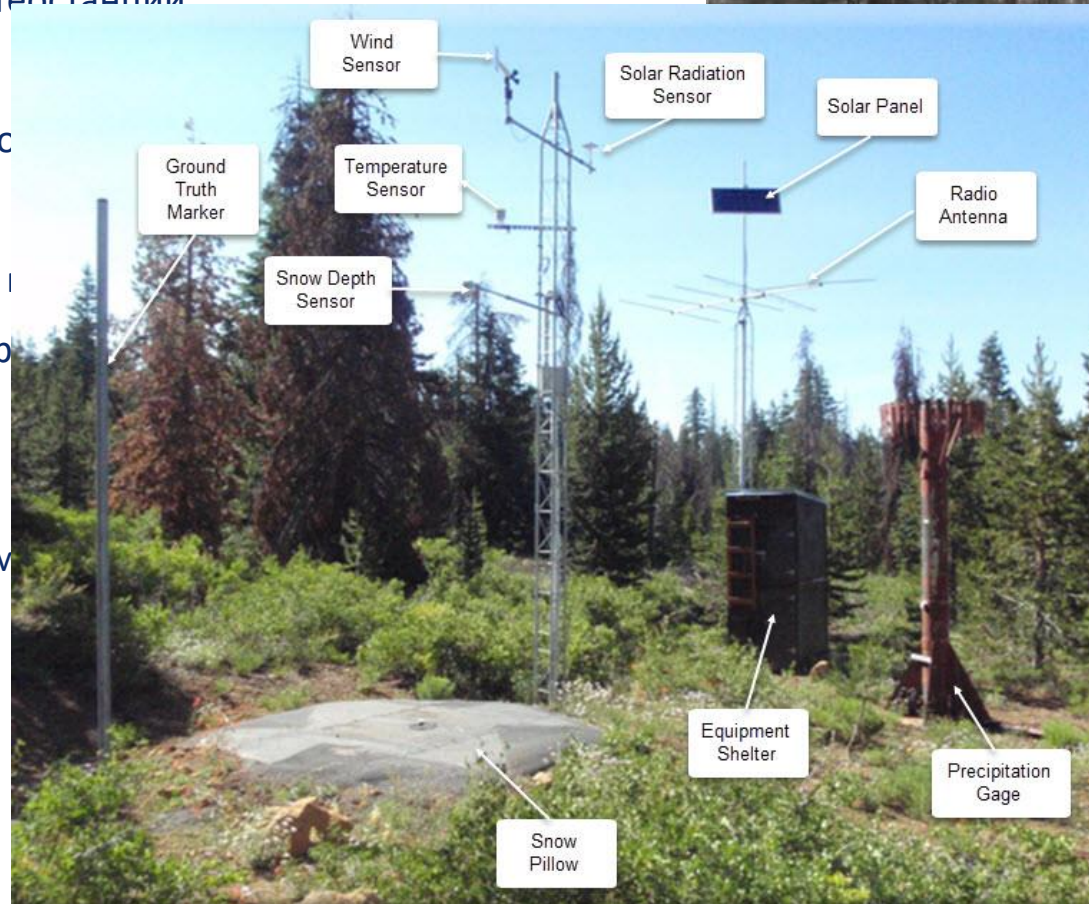
Количество осадков

Ежедневные данные о снежном покрове на метеостанции

- высота снега по рейке на метеостанции, см
- степень покрытия окрестности станции снегом

Декадные маршрутные снегомерные съемки (в т.ч. по маршрутам)

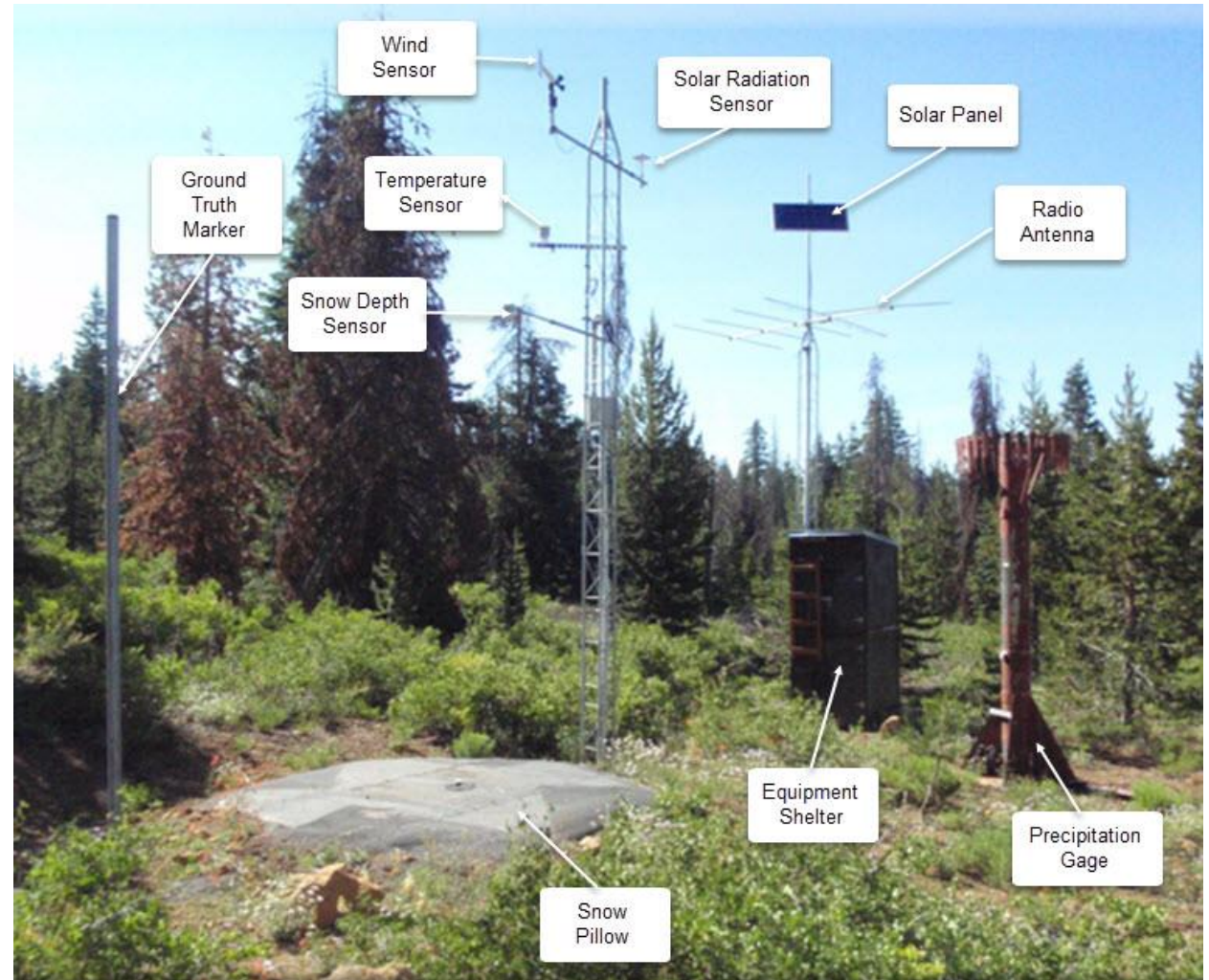
- высота снежного покрова в см (макс, мин, средн.)
- средняя плотность снега, г/см³
- толщина ледяной корки, мм
- толщина слоя снега, насыщенного водой, мм
- толщина слоя чистой воды, мм
- запас воды в снеге, мм
- запас воды общий, мм
- характер снежного покрова





Количество осадков

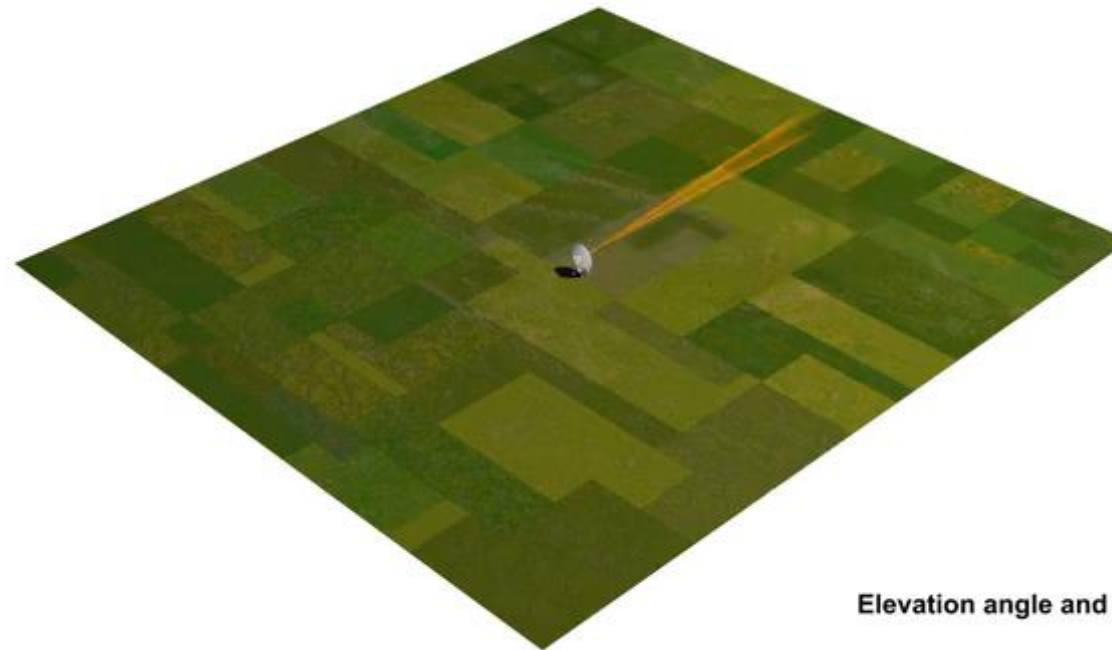
- SNOTEL (SNOW TELelemetry, США)



Количество осадков

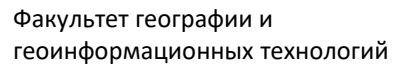
- Допплеровский радар
- Длина волны 10 см

Radar Scanning Pattern



Footnote:
Elevation angle and scanning increased to show detail

©The COMET Program

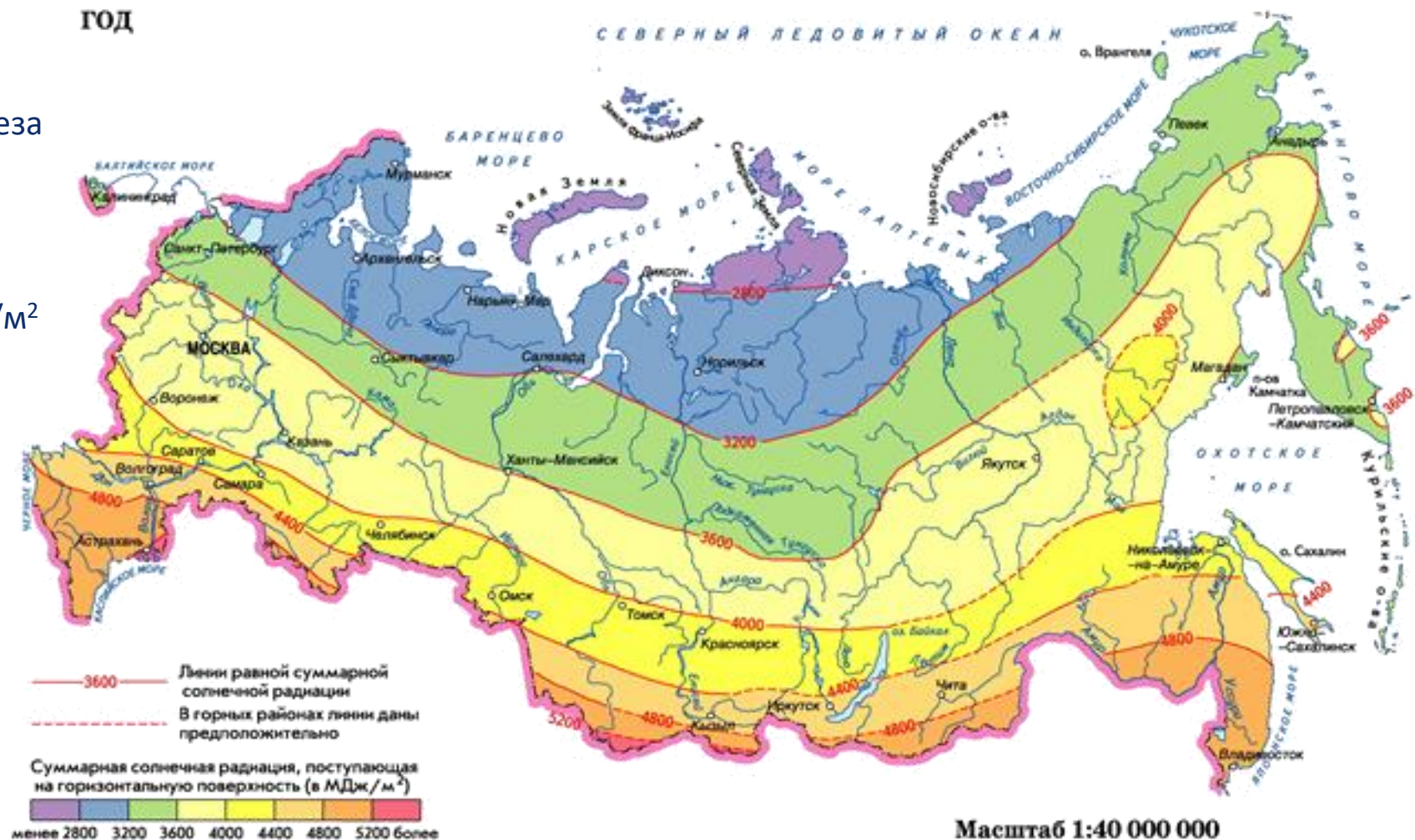


- Гелиограф
- Солнечная панель



Солнечная радиация

- Доступная энергия для фотосинтеза
- Солнечная энергетика
- Изменение климата
- Измеряется в МДж/м² или кВт*ч/м²
- Суммарная С.Р.
- Отраженная С.Р.
- Радиационный баланс



Солнечная радиация

Радиационный баланс

$$B = Q(1 - a) - E_{\text{эф}}$$

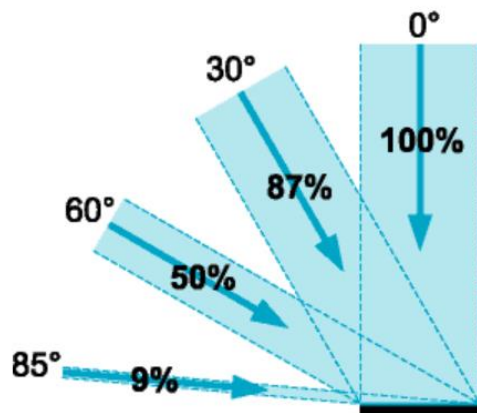
B – баланс

Q – суммарная солнечная радиация

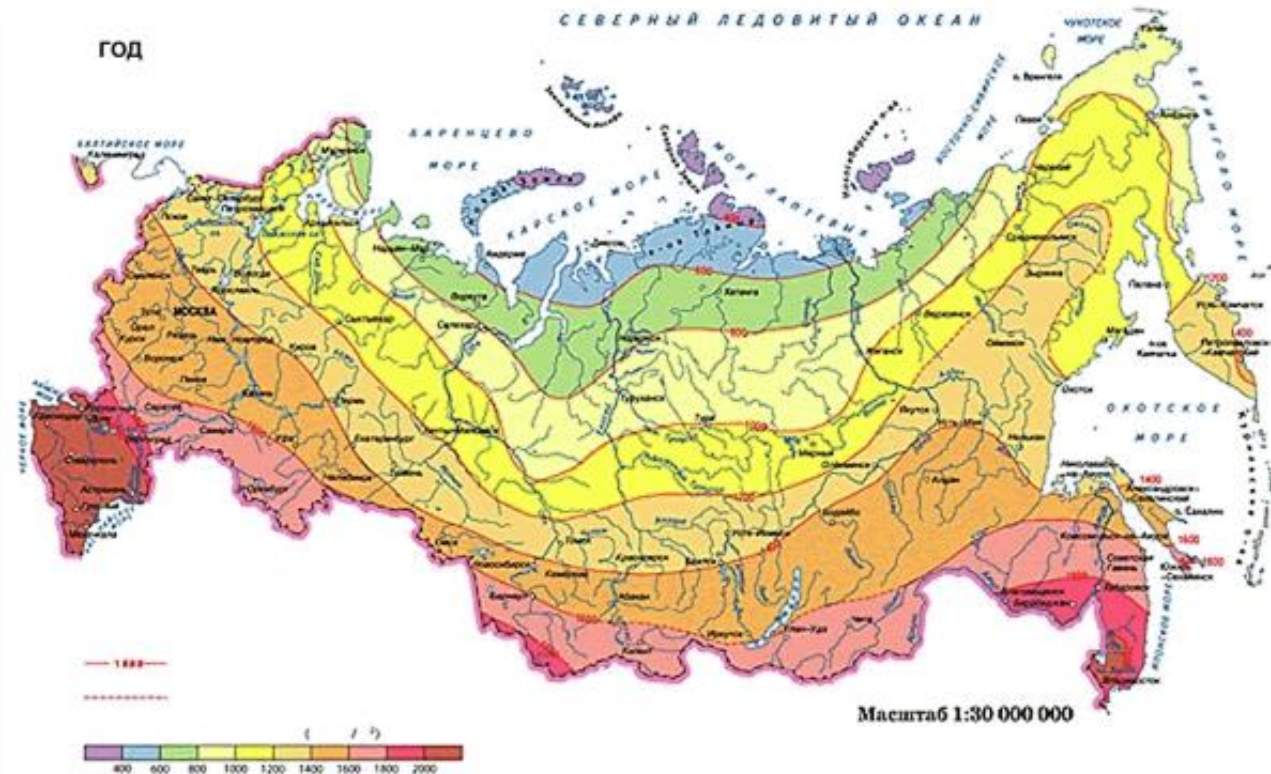
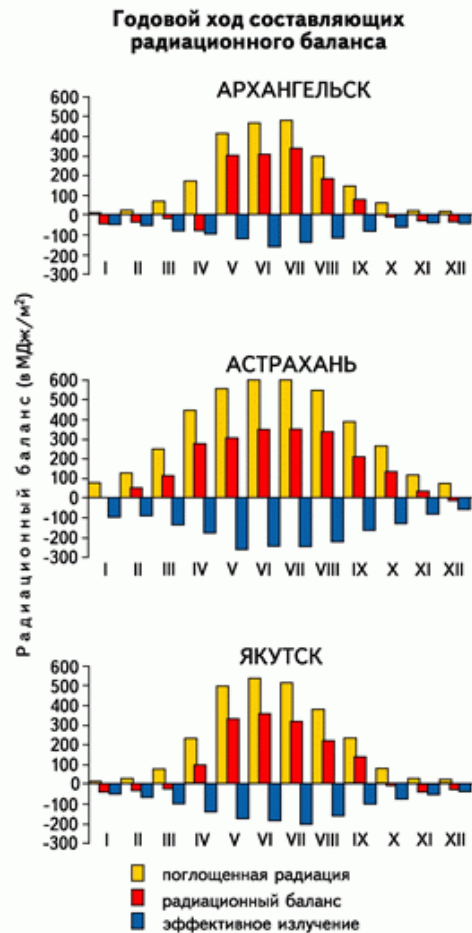
a – альbedo поверхности

$E_{\text{эф}}$ - эффективное излучение

Cosine Law: $E_{\theta} = E * \cos(\theta)$



NCAR/EOL





Солнечная радиация

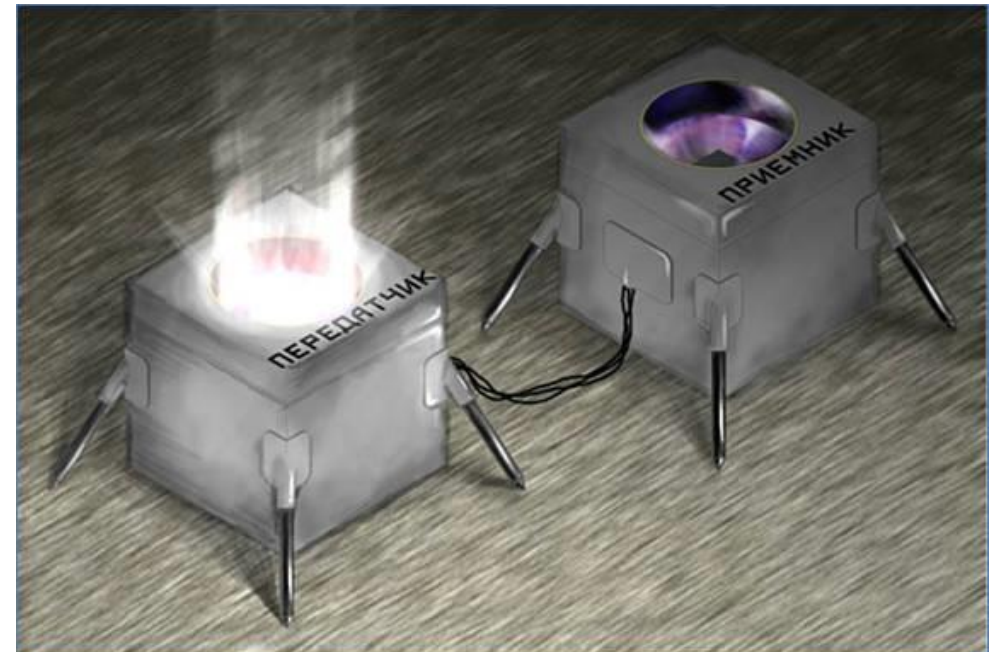
- Пиранометр





Облачность и аэрозоли

- Вид облачности
- Высота нижней границы
- Количество облаков по 10-балльной шкале
- Горизонтальная дальность видимости (визуально)
- Дымка
- Измерители НГО - ДВО-2



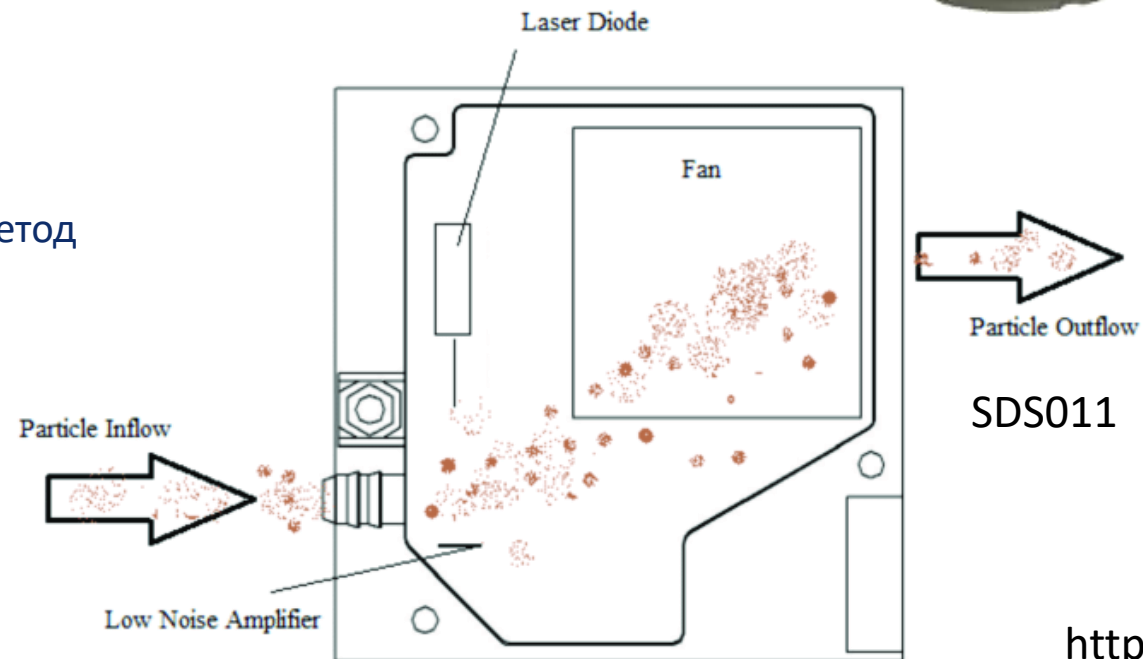
Атмосферные аэрозоли

Цели

- Контроль взвешенных частиц в воздухе
- Смог, дым от пожаров, пыльца
- Фракции PM2.5, PM10

Методы

- Гравиметрический метод
- Оптический (нефелометрический) метод

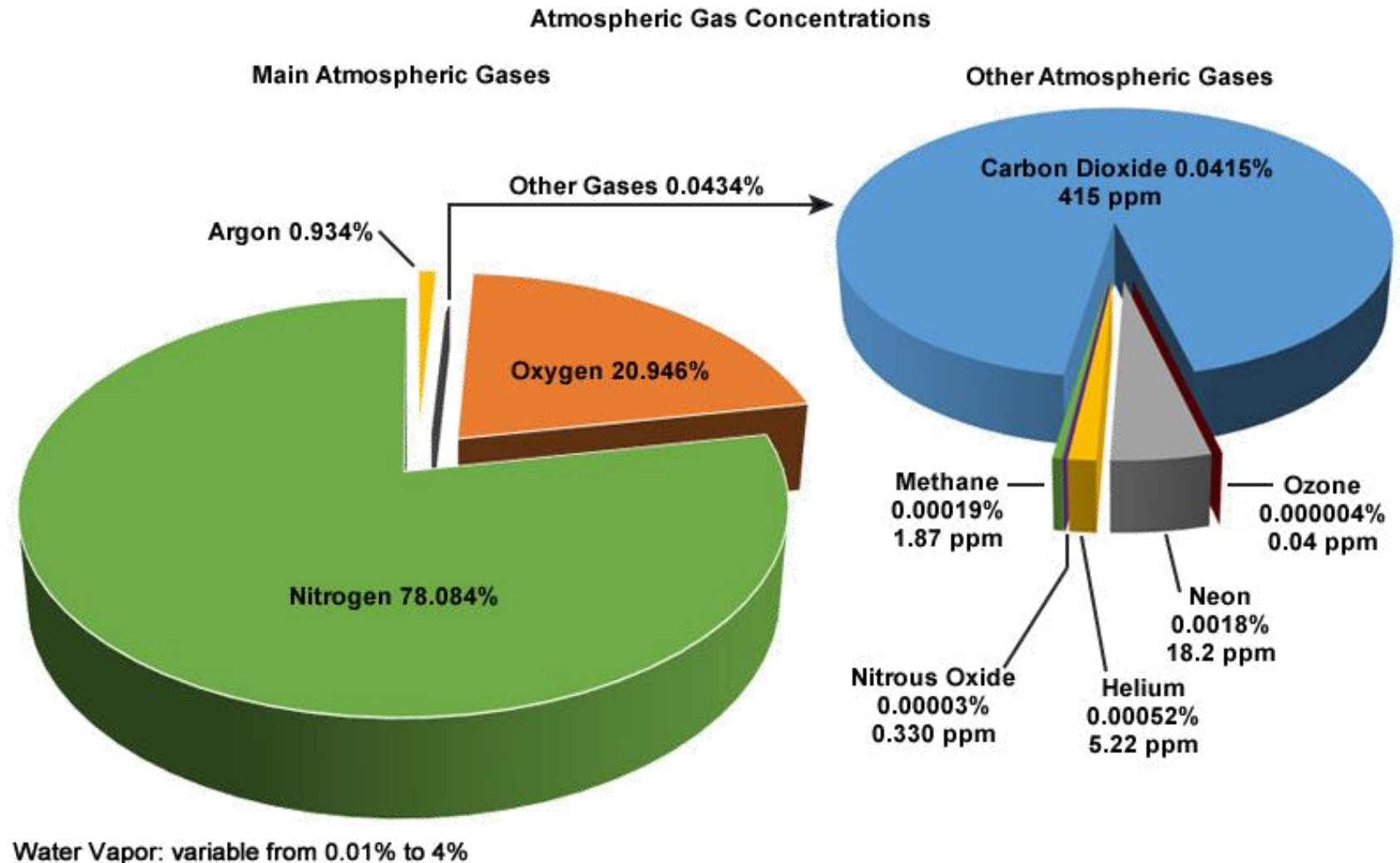


SDS011

Газовый состав

Методы

- Оптические и лазерные газоанализаторы





Газовый состав

Компонент воздуха	Процессы, которые добавляют или удаляют газ из атмосферы
Углекислый газ (CO_2)	горение; фотосинтез; дыхание человека, почвы и растений; обмен атмосферы и океана
Оксид углерода (CO)	горение, стратосферное фотохимическое окисление
Метан (CH_4)	ДВС, анаэробные процессы (оттаивание вечной мерзлоты, заболоченные земли, животноводство, кормовые операции), добыча и переработка нефти и природного газа
Органический углерод (например, неметановые алканы, алкены, алкины, спирты и ароматические соединения)	биогенные выбросы, ДВС, добыча и переработка нефти и природного газа, фотохимические превращения
Озон, O_3	фотохимия смога, стратосферно-тропосферный обмен
Оксид азота, NO	горение, молния
Двуокись азота, NO_2	окисление оксида азота
Заись азота, N_2O	микробные процессы в почве и океане; стратосферное фотохимическое окисление
Аммиак, NH_3	сельское хозяйство, сжигание
Метилнитрат, CH_3NO_2	окисление углеводородов, химическая реакция с морской водой, потери от сухого осаждения
Пероксиацетилнитрат, $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{NO}_2$	продукт NO_x -химии и антропогенных процессов; перенос NO_x на большие и средние расстояния
Диоксид серы, SO_2	вулканы, сжигание топлива, содержащего уголь, и некоторых видов авиационного топлива
Серная кислота, H_2SO_4	ДВС, конденсация и трансформация в облаках
Диметилсульфид, $(\text{CH}_3)_2\text{S}$	выбросы морских водорослей и фитопланктона

Радиозондирование

1930 г. – П.А. Молчанов

Измеряемые:

- Температура
- Давление
- Влажность

Рассчитываемые:

- Скорость ветра
- Количество осадков



Радиозондирование

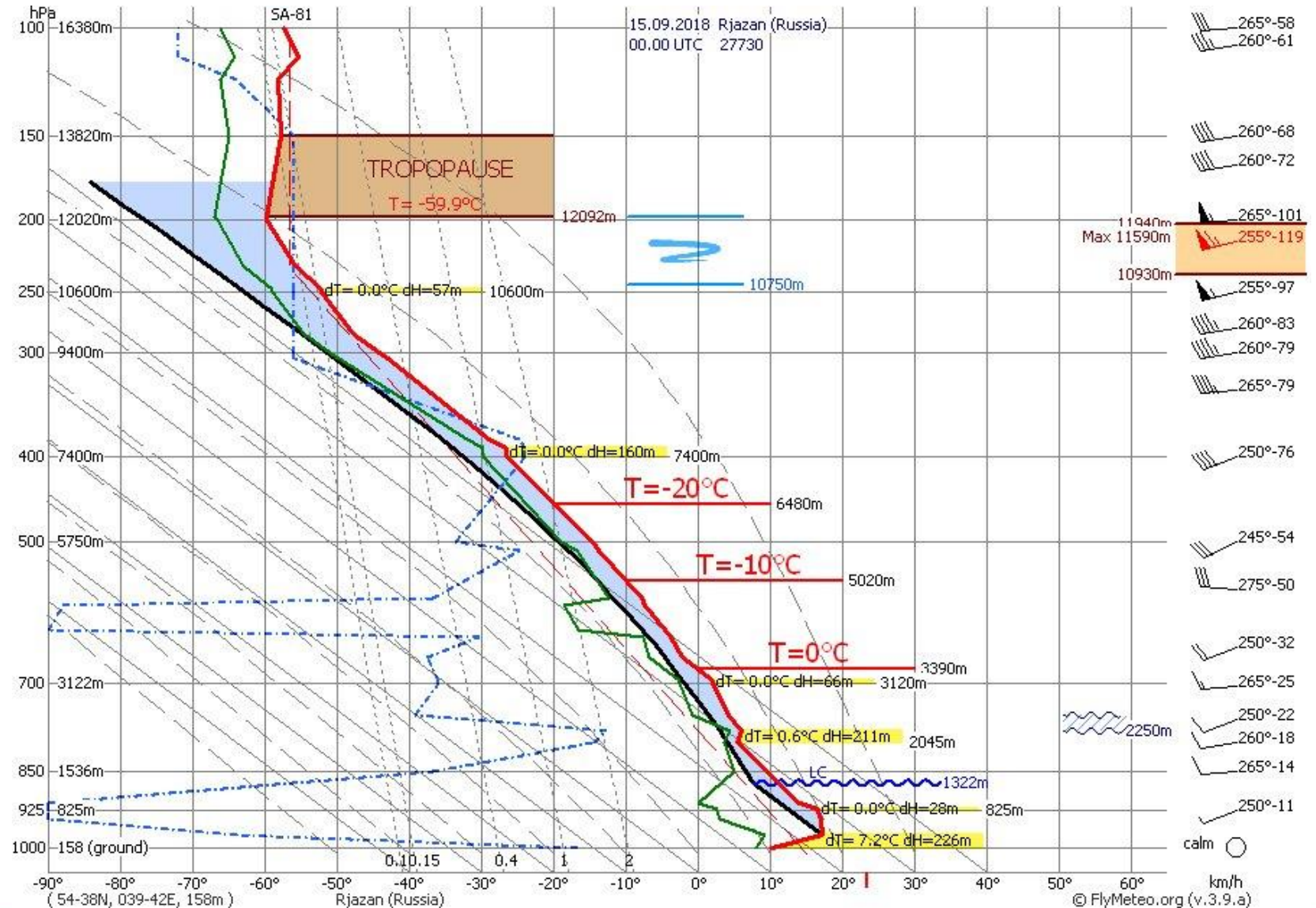
1930 г. – П.А. Молчанов

Измеряемые:

- Температура
- Давление
- Влажность

Рассчитываемые:

- Скорость ветра



Глобальная сеть наблюдений

- Всемирная метеорологическая организация (WMO) – регламентирование наблюдений и обмена данными
- Синоптические наблюдения
- Аэрологические наблюдения
- Агрометеорологические наблюдения
- Радарные наблюдения
- Наблюдения с самолетов
- Спутниковые наблюдения

Global Synoptic Surface Observation Network



Передача данных наблюдений

Код КН-01 SYNOP

СИНОПТИЧЕСКИЙ КОД КН-01

[illegible]

СХЕМА КОДА

Раздел 0 **M_iM_iM_jM_j YYGGi_w Iiii**

Раздел 1 **i_Ri_XhVV** **Nddff** **1s_nTTT** **2s_nT_dT_dT_d** **3P₀P₀P₀P₀** **4PPPP (или 4a₃hhh)** **5appp** **6RRRt_R**

$$7\mathbf{w}\mathbf{w}\mathbf{W}_1\mathbf{W}_2 \quad 8\mathbf{N}_h\mathbf{C}_L\mathbf{C}_M\mathbf{C}_H$$

Раздел 3 **333** $1s_n T_x T_x T_x$ $2s_n T_n T_n T_n$ $3Es_n T_\sigma T_\sigma$ $4E'_{sss}$ $5SSS$ $6RRRt_R$ $8N_s Ch_s h_s$ $9S_p S_p S_p S_p$

Раздел 5 **555** $1E_n T'_{gg} T'_{gg}$ $(5s_n T_{24} T_{24} T_{24})$ $(52s_n T_2 T_2)$ $(530f_{12} f_{12})$ $7R_{24} R_{24} R_{24}/$ $88R_{24} R_{24} R_{24}$

[illegible]

Рис. 1. Диаграммы для определения направления ветра. В центре — круговая диаграмма с 16 направлениями ветра, обозначенными цифрами от 0 до 15. Справа — таблица, сопоставляющая названия направлений ветра с их номерами. Слева — таблица, сопоставляющая названия направлений ветра с их номерами и указанием, в каком направлении дует ветер.

Направление ветра	Номер	Направление ветра	Номер
Северный ветер	0	Восточный ветер	8
Северо-восточный ветер	1	Юго-восточный ветер	9
Восточный ветер	2	Южный ветер	10
Юго-восточный ветер	3	Юго-западный ветер	11
Южный ветер	4	Западный ветер	12
Юго-западный ветер	5	Северо-западный ветер	13
Западный ветер	6	Северный ветер	14
Северо-западный ветер	7		

1- УКАЗАТЕ ВЛИЯЮЩИЕ ФАКТОРЫ НА ДОСРОЧНОЕ ПРЕКРАЩЕНИЕ	
СРЕДНЯЯ КОЛИЧЕСТВО ОПРЕДЕЛЕННЫХ ПОСЫЛКОВ ВЕТЕР	ЕДИНИЦА ИЗМЕРЕНИЯ
0 ВНЕЗАПНО	М/СЕК
1 ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ	
3 ВНЕЗАПНО	УЗЫД
4 ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ	
2- УКАЗАТЕ ВЛИЯЮЩИЕ В ТЕЛЕГРАММУ ГРУППЫ 6RRR1E	
СРЕДНЕЕ О ВКЛЮЧЕНИИ ГРУППЫ 6RRR1E	
1 ВКЛЮЧЕНИЕ В ДОСРОЧ	
2 ВКЛЮЧЕНИЕ В ДОСРОЧ	
3 НЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ТА ОСНОВАНО НЕ БЫЛО	
4 НЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ТА КОЛИЧЕСТВО ОСНОВАНО НЕ ИЗМЕНЯЕТСЯ	
3- УКАЗАТЕ ВЛИЯЮЩИЕ В ТЕЛЕГРАММУ ГРУППЫ 7WVW1E	
СРЕДНЕЕ О ВКЛЮЧЕНИИ ТА 7WVW1E ТИП СТАНЦИИ	
1 ВКЛЮЧЕНИЕ	ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ
2 НЕ ВКЛЮЧЕНИЕ (НЕ ПОДДАВАЮЩИЙСЯ ПЕРЕМЕН)	ПЕРИОДОМ
3 НЕ ВКЛЮЧЕНИЕ НЕ ПОДДАВАЮЩИЙСЯ	
4 ВКЛЮЧЕНИЕ	
5 НЕ ВКЛЮЧЕНИЕ (НЕ ПОДДАВАЮЩИЙСЯ ПЕРЕМЕН)	АВТОМАТИЧЕСКИЙ
6 НЕ ВКЛЮЧЕНИЕ НЕ ПОДДАВАЮЩИЙСЯ	

S_n - шаг температуры возмущающего потока, критичной температуры
 $S_n = 0$ - при положительной температуре и 0°C
 $S_n = 1$ - при отрицательной температуре

Наблюдения за осадками

Осадкомеры:

- Емкостные
- Капельные (дисдрометры)

Обслуживаемые осадкомеры:

- Емкостные

Необслуживаемые:

- Плювиограф
- Чашечный
- Дисдрометр
- Оптический осадкомер

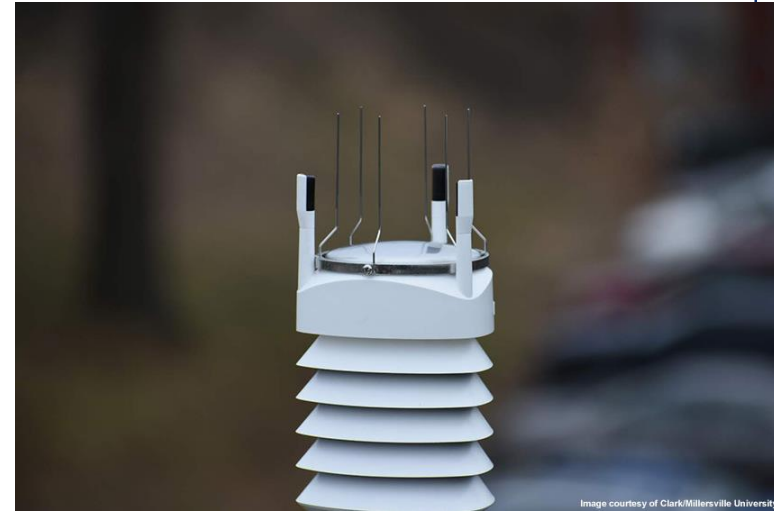


Image courtesy of Clark/Millersville University

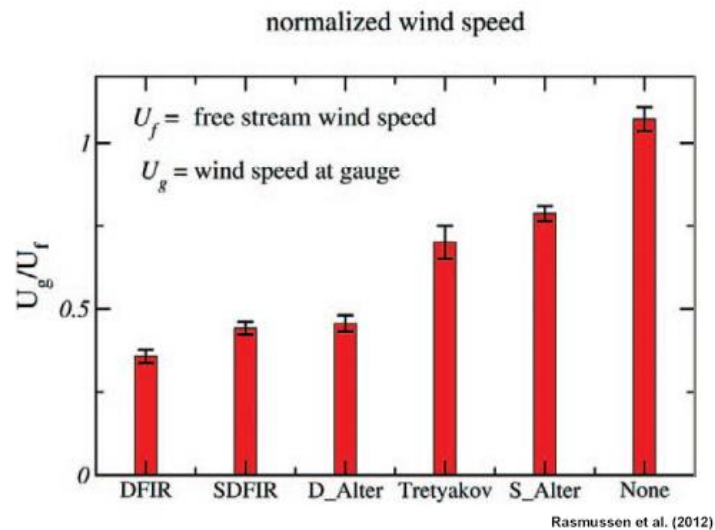


Creative Commons Famartin



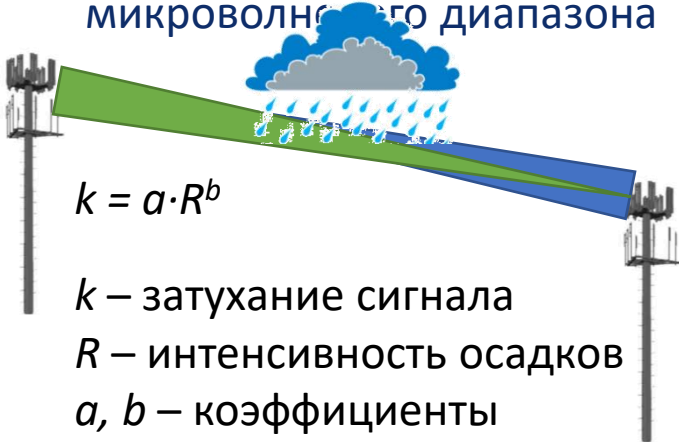
Потери в осадкомерах

- Потери на выдувание осадков
- Потери на смачивание
- Потери на испарение
- Недоучет осадков в чашечном осадкомере



Наблюдения за осадками

Определение интенсивности осадков с помощью сотовых сетей
микроволнового диапазона



$$\langle R \rangle = a \cdot \left(\frac{P_{ref}(L) - P(L)}{L} \right)$$

$P_{ref}(L)$ – фоновый уровень сигнала

$P(L)$ – измеренный уровень сигнала

L – расстояние между вышками

