

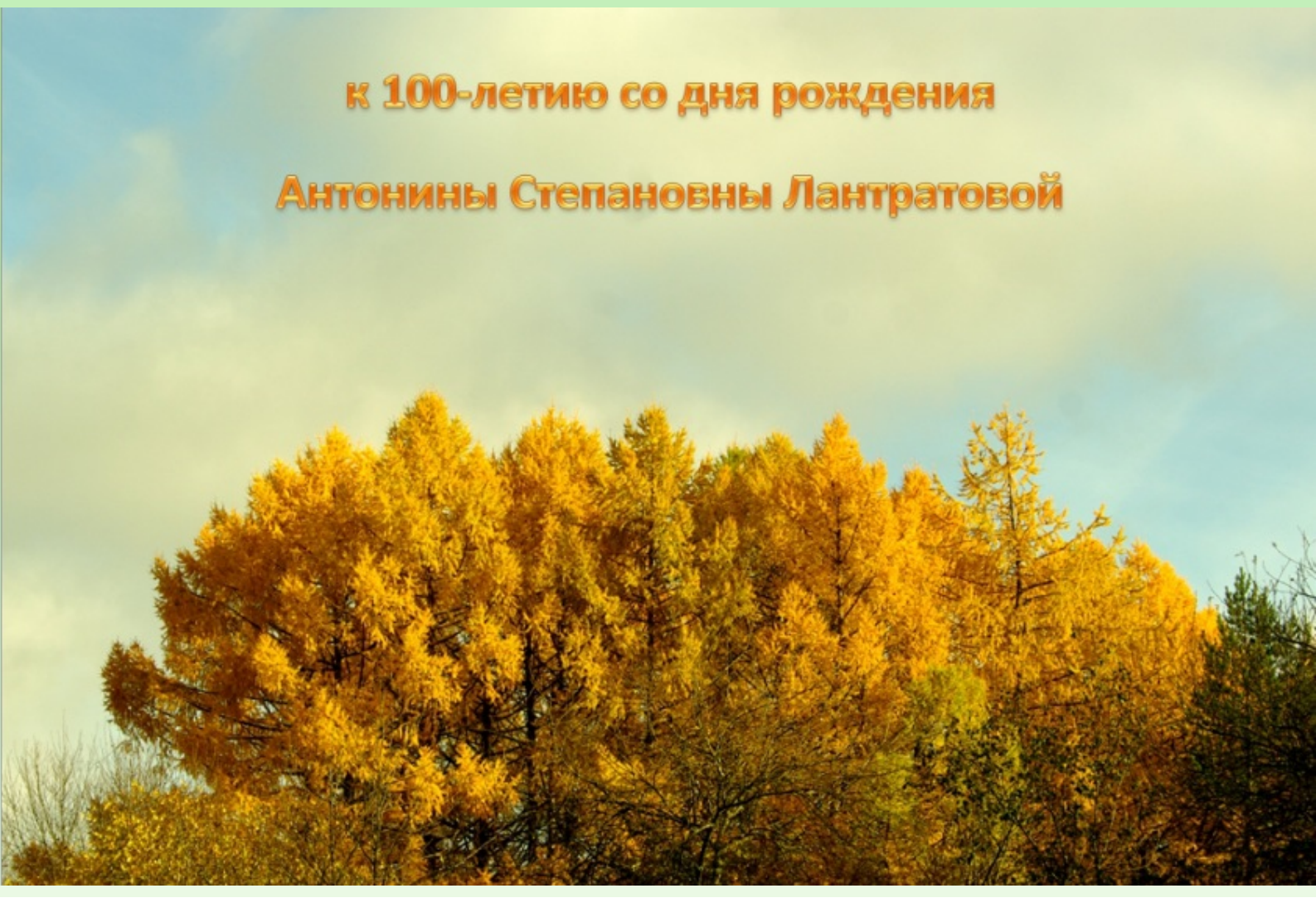


# HORTUS BOTANICUS

Журнал Совета ботанических садов СНГ при МААН

18 / 2023

**к 100-летию со дня рождения  
Антонины Степановны Лантратовой**



# HORTUS BOTANICUS

Журнал Совета ботанических садов СНГ при МААН

**18 / 2023**

ISSN 1994-3849

Эл № ФС 77-33059 от 11.09.2008

---

**Главный редактор**

А. А. Прохоров

**Редакционный совет**

П. Вайс Джексон  
Лей Ши  
Йонг-Шик Ким  
В. Н. Решетников  
М. С. Романов

**Редакционная коллегия**

Г. С. Антипина  
Е. М. Арнаутова  
А. В. Бобров  
Ю. К. Виноградова  
Е. В. Голосова  
Е. Ф. Марковская  
Ю. В. Наумцев  
Е. В. Спиридович  
К. Г. Ткаченко  
А. И. Шмаков

**Редакция**

Е. А. Платонова  
С. М. Кузьменкова  
Е. В. Голубев

---

**Адрес редакции**

185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Анохина, 20, каб. 408.

E-mail: hortbot@gmail.com

<http://hb.karelia.ru>

© 2001 - 2023 А. А. Прохоров

**На обложке:**

Лиственницы в Ботаническом саду ПетрГУ

**Разработка и техническая поддержка**

Отдел объединенной редакции научных журналов ПетрГУ, РЦ НИТ ПетрГУ,  
Ботанический сад ПетрГУ

Петрозаводск

2023

## Самоорошение. Неучтенные физические факторы среды и их роль в жизни растений

**ПРОХОРОВ**  
Алексей Анатольевич

Петрозаводский государственный университет,  
пр. Ленина, 33, Петрозаводск, 185910, Россия  
[alpro@onego.ru](mailto:alpro@onego.ru)

**Ключевые слова:**

обзор, наука, эксперимент, самоорошение растений, экологическая физиология растений, температура поверхности, точка росы

**Аннотация:** В представленном докладе подводятся итоги 11-летнего изучения явления самоорошения растений, являющегося следствием снижения температуры поверхности растений ниже точки росы. Особое внимание уделено последним экспериментам по изучению циркадных ритмов температуры и эффективности самоорошения растений с различными типами метаболизма.

Получена: 22 сентября 2023 года

Подписана к печати: 16 декабря 2023 года

\*



## Немного философии

- Науки бывают фундаментальными и прикладными.
  - ✓ Как только мы увлекаемся чем-то полезным для человечества, так сразу впадаем в антропоцентризм.
    - ✓ Наше поле зрения сужается, а объективность исчезает.
    - ✓ Растения становятся инвазионными или исчезающими, ядовитыми или лекарственными, сорняками или культурной флорой.
    - ✓ Циклические изменения климата превращаются в глобальные катастрофы.
  
- Борьба с антропоцентризмом в себе – одна из важнейших задач ученого. Иначе мы упускаем из виду то, что:
  - Мы – дневные звери, и не осознаем, что растениям нужен не только солнечный свет и тепло, но и звездное небо над кроной холодной ночью.
  - Мы – высшие сухопутные приматы, и не задумываемся о том, что выйдя на сушу, растения попали под влияние электромагнитных полей, гравитации, недостатка влаги и колебаний температуры, от которых раньше их защищали фантастические свойства воды.
  - Мы – жадные охотники-собиратели, превратившие многие растения в корм для себя и своего скота, и в цветочки для наших девочек.
  - Мы – жестокие тюремщики, придумавшие ботанические сады и оранжереи.
  - Мы – фитонекрофилы, чахнувшие над гербарными листьями.

## Эта история началась с вопроса



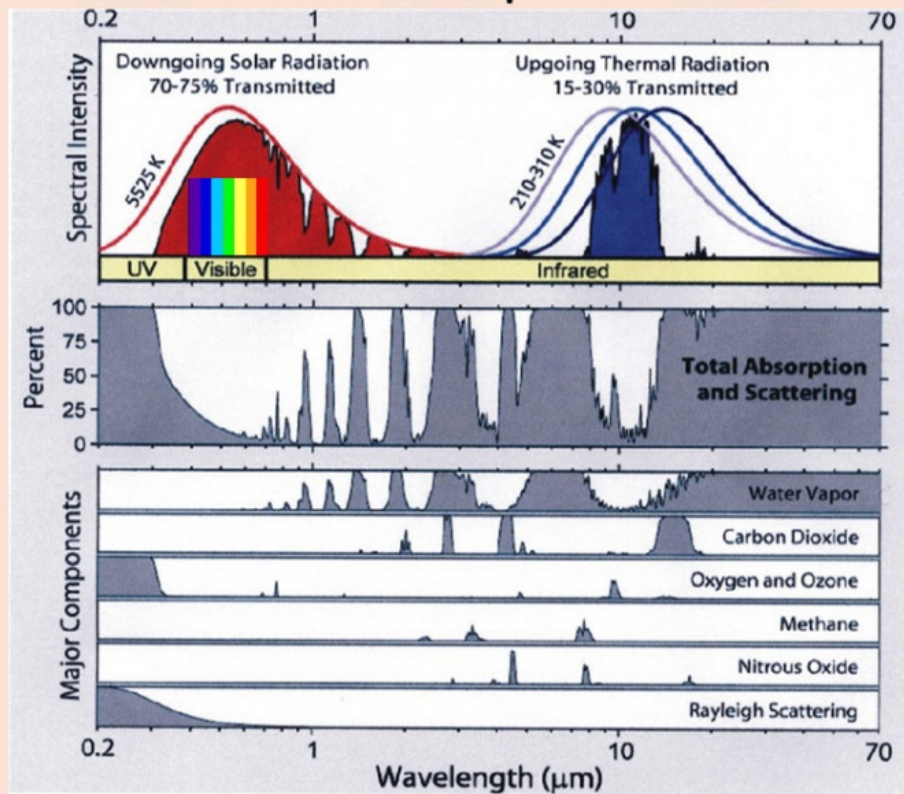
Однажды, в конце 2012 года, один мой друг, «старый морской волк», спросил о канарских соснах - *Pinus canariensis* C.Sm., орошающих почву в горах Тенерифа:

– А как они это делают?

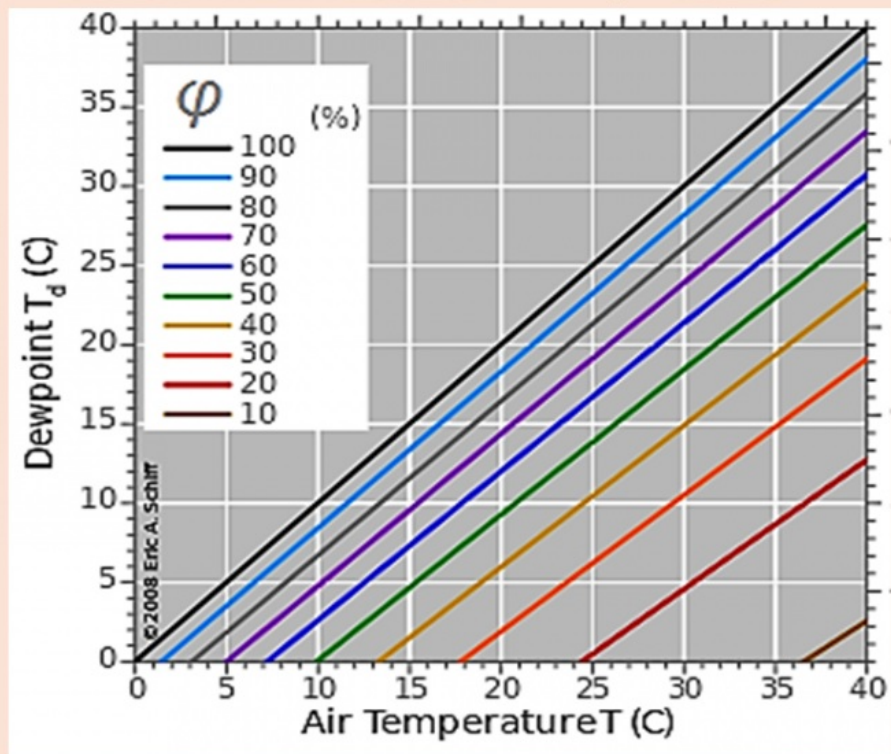
## Поиски ответа привели к гипотезе

- Высшее растение обычно неподвижно и, соответственно, адаптировано к этой неподвижности. Миллионы лет эволюции обеспечили его всеми необходимыми адаптациями для получения требуемых для жизнедеятельности ресурсов с "доставкой на дом".
- Обычно для того, чтобы обеспечивать себя водой растения могут: либо отрастить корни подлиннее, либо приспособиться дожидаться дождя или тумана.
- Однако в атмосфере Земли всегда есть вода. Просто надо уметь ее готовить.

## Немного физики



## А еще есть точка росы...



В 2013 году мною была предложена гипотеза, состоящая в том, что растения активно конденсируют атмосферную влагу на своей поверхности за счет снижения температуры поверхности ( $T_S$ ) побегов и листьев ниже точки росы ( $T_D$ )

$$T_S \leq T_D$$

при температуре воздуха выше точки росы

$$T_A > T_D,$$

т.е. при отсутствии тумана.

Под словом «**активно**» понимается:

- ✓ как снижение температуры поверхности растения за счет физиологических и физических механизмов,
- ✓ так и увеличение объема конденсируемой воды за счет увеличения доступной для воздуха поверхности растения.

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ, 2013, Т. 2., № 3(7).

<http://ecopri.ru>

5<sup>th</sup> International Conference on Fog, Fog Collection and Dew,  
25-30 July 2010, Münster (Westf.), Germany

## Highly effective fog-water collection with *Pinus canariensis*

Arnold Groh, Technical University of Berlin, Germany



Fog-collecting nets require constant manpower in terms of maintenance. Also, those nets are made of artificial material, and they do not really fit into the natural environment. They are, by far, not as effective as plants that are specialised for catching humidity from the air. The probably most effective plant to serve this purpose is *Pinus canariensis*, a tree native to the Canary Islands. It is well-known for its capability of collecting air moisture, and has already been used for many centuries for this purpose. This tree would allow a much more effective and environmentally friendly way of supplying arid regions with drinking water than this could be done with fog-catching nets. Moreover, it would also help to establish or re-establish vegetation in a natural way. Agriculture would profit from it, too, because vegetables could be produced, watered with the help of *P. canariensis*. In those places, where the net-projects are currently running, it is the right time now to plant *P. canariensis* seedlings underneath the nets, which they will soon replace. The surface of the trees is much larger than the surface of the nets, thus enabling much more water to condense. Within a few years, a population of *P. canariensis* will be established that collects many times more water than the nets. With regard to ecological aspects, the introduction of *P. canariensis* into the environments concerned does not cause a problem, since in those desert areas, there are no native trees that could be superseded, and the *P. canariensis* trees are easy to control. They are a natural alternative to the unnatural plastic nets, and can even help to enhance any local flora.



The functions of trees within different ecosystems with regard to collecting fog water have been studied intensively during the past years, both in general, and especially with regard to *P. canariensis*. The tree grows in a wide range of climatic conditions. It can survive drought, heat, and some frost, and it can live in areas from sea level up to more than 2.000 m above sea level. When a population of trees has been established, it additionally produces timber and fuel-wood.



Areas, in which *Pinus canariensis* could be used for obtaining drinking water from fog include: Chile, the Dominican Republic, Ecuador, Ethiopia, Guatemala, Haiti, Israel, Namibia, Nepal, Peru, the Sultanate of Oman, Venezuela and Yemen. Generally, these are areas where there is air moisture, but the climatic conditions do not allow for enough condensation of the humidity in the air, which is necessary for rainfall.



The research institution S.A.C.S. (Structural Analysis of Cultural Systems), based at the Technical University of Berlin, has recently suggested to the UN Human Rights Council that projects of implementing *Pinus canariensis* be carried out, targeted at serving the access to drinking water in such areas.<sup>1</sup>

- Учитывает только туман
- Не учитывает температуру растения
- Не учитывает вклад других видов растений

## Ответ

- ✓ Густая и длинная ниспадающая хвоя *Pinus canariensis* C.Sm., обитающей на горных склонах Канарских островов способна сорбировать влагу, что обеспечивает не только потребность самого растения, но и значительно повышает влажность почвы в монтеверде, что используется в сельском хозяйстве для выращивания растений.
- ✓ В условиях тумана конденсация осуществляется:
  - ✓ за счет механической сорбции микрокапель воды.
  - ✓ и за счет выпадения росы, при снижении температуры поверхности хвои ниже точки росы
- ✓ Однако в условиях монтеверде, в связи с суточным перемещением облачного слоя по горному склону, сосны оказываются вне зоны тумана, и тогда конденсация росы становится основным источником влаги.
- ✓ Более того, охлаждение кроны сосен приводит к задержке облачного слоя непосредственно вблизи кроны и, вероятно, к наблюдаемому в этих условиях «горизонтальному дождю».

— Короче, Склихасовский!!

➤ Собирает листьями туман и росу, и поливает почву под кроной.

## Методы проверки гипотезы



НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ  
ИНФРАКРАСНЫЙ РАДИОМЕТР

Рассматривая **ботанические сады**, как уникальный инструмент научных исследований, следует подчеркнуть главную их особенность – собрание в одном месте крупных коллекций систематически близких таксонов различного эколого-географического происхождения, что позволяет сравнить результаты исследований на таких разных и близких объектах.

Наблюдения в 2015 г. в Субтропическом ботаническом саду Кубани в Сочи подтвердили гипотезу и позволили определить некоторые условия конденсации атмосферной влаги.



В коллекции открытого грунта СБСК измерялась температура поверхности листьев растений вдоль маршрутного хода. При этом после 20:00 (RH 87%;  $T_A$  21,5-22,2 °C) температура листьев всех растений, была ниже точки росы ( $T_S < T_D = 19,4-19,6$  °C). Разница  $T_A$  и  $T_S$  составляла 3-5 °C.

Результаты измерений температуры поверхности растений ( $T_S$ ), точки росы ( $T_D$ ), температуры ( $T_A$ ) и относительной влажности (RH<sub>A</sub>) воздуха в питомнике СБСК. Полдень, солнечно, 7 июня, 11:30 – 12:30.

Название растения	$T_S$	$T_D$	$\Delta T_{DS}$	$T_A$	$\Delta T_{AS}, ^\circ C$	RH <sub>A</sub> , %
<i>Thuja occidentalis</i> 'Lutea LTA'	12,5	20,2	-7,7	32	19,5	50%
<i>Thuja occidentalis</i> 'Salaspils'	19,5	20,2	-0,7	32	12,5	50%
<i>Cupressus sempervirens</i> 'Russian Riviera'	20	20,2	-0,2	32	12	50%
<i>Chamaecyparis pisifera</i> 'Plumosa Albopicta'	17	20,2	-3,2	32	15	50%

Температура поверхности освещенных сухих листьев превышала 34 °C.

Измерение температуры в кроне растений осуществлялось с южной стороны в полдень на высоте 1 - 1,5 метра.

✓ Для молодых хвойных растений наблюдаемые значения  $T_S$  были ниже  $T_A$  и  $T_D$ .

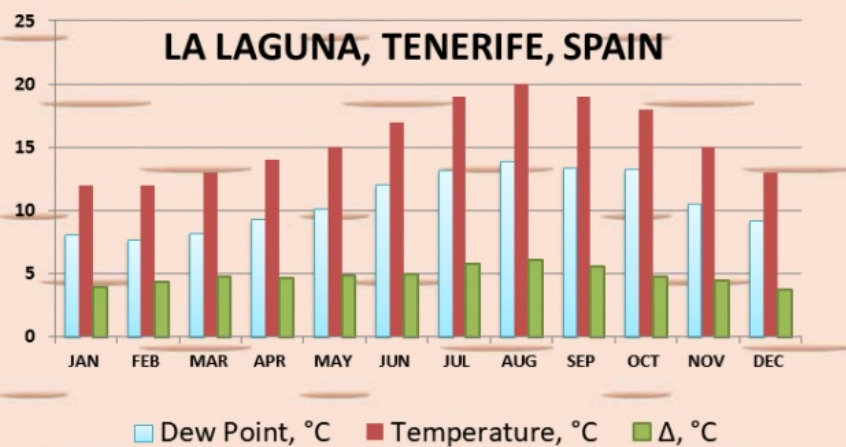
$$\Delta T_{AS} = T_A - T_S = 12 \leftrightarrow 19,5^\circ C$$

$$\Delta T_{DS} = T_D - T_S = -0,2 \leftrightarrow -7,7^\circ C$$

✓ Наиболее низкие значения  $T_S$  наблюдались у желтой и белопестрой форм, что позволяет считать уменьшение количества хлорофилла – адаптацией к высокому уровню инсоляции.



Вид	$T_s$	$T_D$	$\Delta T_{DS}$	$T_A$	$\Delta T_{AS}, ^\circ C$	$RH_A, \%$
<i>Phoenix canariensis</i> Chabaud	6,3	10,6	-4,3	16,3	10	69
<i>Pinus canariensis</i> C.Sm.	7,3	10,6	-3,3	16,3	9	69
<i>Dracaena draco</i> (L.) L.	6,5	10,6	-4,1	16,3	9,8	69
<i>Euphorbia canariensis</i> L.	5	10,6	-5,6	16,3	11,3	69



Hortus bot. 2015. Т. 10

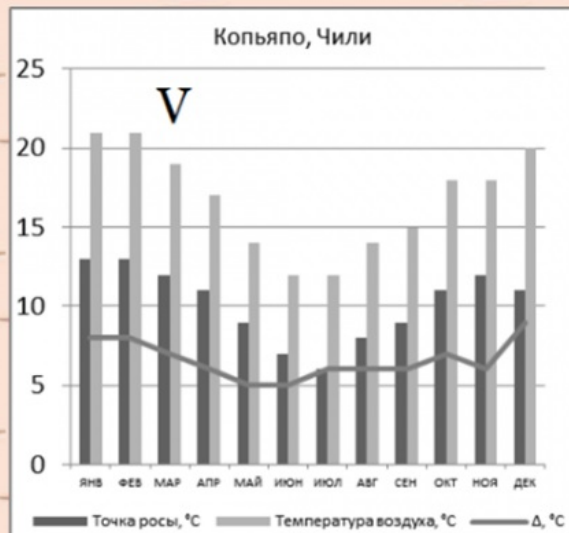
## Климат и роса

Сопоставление отклонений значений среднемесячных температур от точки росы в различных регионах мира позволяет утверждать практически повсеместную распространенность явления.

Достаточно, чтобы разница между величиной температуры воздуха и точкой росы не превышала  $10^{\circ}\text{C}$

- что типично даже для пустынь, находящихся вблизи побережья,
- и проблемно для континентальных аридных территорий с низкой относительной влажностью воздуха.

Hortus bot. 2015. Т. 10



## Как достичь точки росы?

Для растений существует две основных стратегии охлаждения поверхности, которые могут быть использованы одновременно или порознь – не нагреваться и быстро остывать.

Количество доступных растению механизмов охлаждения поверхности огромно:

- ✓ транспирация;
- ✓ тепловое излучение;
- ✓ испарение вторичных метаболитов;
- ✓ отражение и снижение поглощения тепла в ближней ИК-области спектра;
- ✓ использование особенностей теплоемкости и других температурных аномалий воды.

\*\*\*

- ✓ Кроме того, они обладают огромным количеством приспособлений для водоотведения, сбора и сохранения воды.

# Транспирация

**Отто Л. Ланге (1927-2017)**  
 директор ботанического сада  
 университета Вюрцбурга  
 (1967-1992)



«Ботанический сад – это вам не public garden, а инструмент научных исследований.»

Показано, что температура транспирирующего листа растений существенно ниже в сравнении с температурой нетранспирирующих листьев.

Если бы Отто Ланге, опубликовавший эти результаты в 1963 г., полученные в Ботаническом саду Коста-Браво, сопоставил свои данные со значением точки росы, то мне не о чем было бы сейчас говорить.

Статья про супра- и субтемпературные растения в учебниках экологии была бы намного длиннее, а экологическая физиология растений получила бы новую пищу для размышлений в середине 60-х годов прошлого века.



*Convolvulus althaeoides* - 13,9 °C



*Solanum melongea* - 15,7 °C

# Тепловое излучение

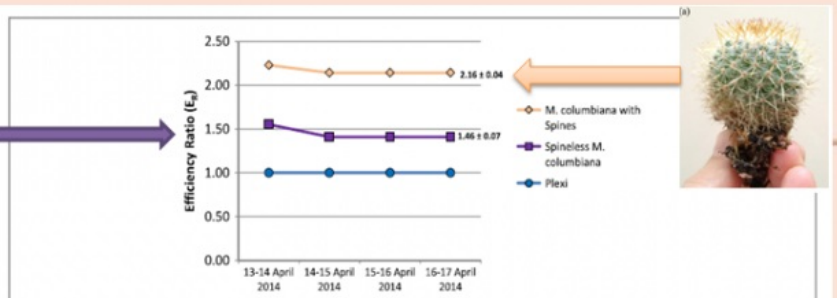
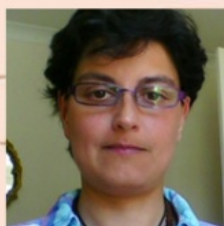


Figure 8. Dew harvesting efficiency ratio ( $E_d$ ) of spine versus spineless *M. columbiana* species on four dewy nights in 2014, with the mean  $E_d$  for these two plot lines given along with the uncertainty in the results that we get from repeated experimental runs on the same specimen.

## Бритый кактус теплее колючего?



Farhana Tegwen  
 Malik



Figure 9. Photographs of dew droplets on: (a) spines and stem of *C. cinerea*; (b) the stem only of *F. wislizenii*.

## Вторичные метаболиты



«...лаванда – это просто мечта садоводов.  
Она практически не нуждается в поливе.»

## Теплоотражение

Боб Урсем —  
голландский ботаник, директор  
ботанического сада  
Технологического университета  
Дельфта.

Изучает светоотражающие  
свойства листьев растений.

Получил патенты на  
светоустойчивые краски из  
растительных пигментов и  
восков.



Отражение солнечного света – эффективный  
метод достижения точки росы – *Leucadendron  
argenteum* (L.) R.Br.

## Водоотведение

Капли воды, формирующиеся на листе растения, не равномерно увлажняют его поверхность, а чаще всего формируют крупные капли, скатывающиеся с листа в почву или к основанию листа, у бромелиевых - в воронку, образованную листьями.

Все это происходит благодаря особенностям поверхности растений, их гидрофобным свойствам



**Вильгельм Бартлотт — немецкий ботаник, директор ботанического сада Университета Бонна.**

Открыл «**эффект лотоса**», заключающийся в несмачиваемости поверхности многих растений за счет гидрофобных свойств растительных восков на поверхности листа.



«Ботанический сад – это вам не public garden, а инструмент научных исследований.»

## Self-Cleaning Surfaces in Plants: The Discovery of the Lotus Effect as a Key Innovation for Biomimetic Technologies

- April 2023
- DOI: [10.1002/9783527690688.ch15](https://doi.org/10.1002/9783527690688.ch15)
- In book: Handbook of Self-Cleaning Surfaces and Materials
- Wilhelm Barthlott

***Растения умываются без помощи рук***

## Self-Cleaning Surfaces in Plants: The Discovery of the Lotus Effect as a Key Innovation for Biomimetic Technologies

- April 2023
- DOI: [10.1002/9783527690688.ch15](https://doi.org/10.1002/9783527690688.ch15)
- In book: *Handbook of Self-Cleaning Surfaces and Materials*
- Wilhelm Barthlott

*Растения умываются без помощи рук*



✓ Форма кактусов и молочаев, позволяет воде стекать к корням и увеличивает площадь затенения поверхности растения



✓ Листья злаков не перпендикулярны солнечным лучам, а идеальны для стока воды.



✓ Листья драконова дерева впитывают влагу пазухами листьев



✓ Бромелии собирают воду в воронки из листьев



*Rheum tataricum* L. f. - Ревень татарский

Растение с плодами. Казахстан, Алматинская обл., пойма р. Или. Май 2011 г.

[Нурлан Кальчинов](#) © 2012

## А сколько это будет в граммах?

Следующая задача состояла в экспериментальном определении количества влаги, которое может сконденсироваться на поверхности растения при охлаждении ниже точки росы.

- Меня уже спрашивали, почему мы просто не взвешивали горшки с растениями.
- 1. Потому что ночью растениям достается не только роса, но и туман, а разделить их невозможно.
- 2. Испарение и поглощение воды поверхностью почвы, зависит от большого числа факторов, учесть которые практически нереально.
- 3. Мы это пробовали в 2014-м в Сочи на офиопогоне и лириопе. Получилось, но велика ошибка.

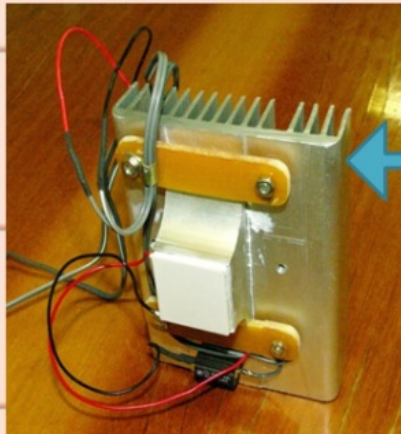
Лучше попробовать рассчитать по формуле:

Для оценки количества конденсируемой воды на поверхности, охлажденной ниже точки росы, была собрана установка с термоэлектрическим модулем (ТЭМ) ТВ-127-1,0-1,3 размером 3х3 см. Установка была размещена в климатической камере, объемом 4 м<sup>3</sup>, оснащенной системами поддержания температуры ( $T_A$ ) и относительной влажности воздуха (RH).

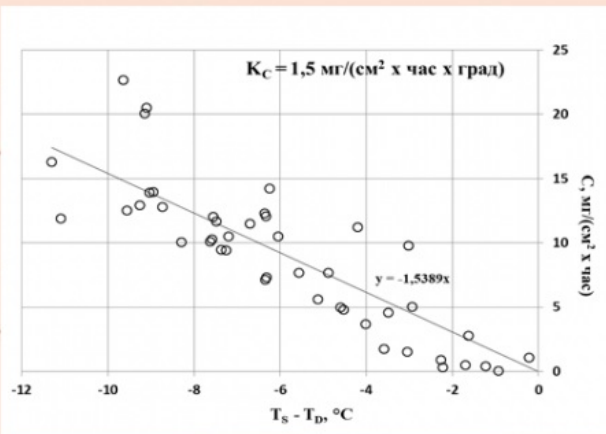
После достижения стабильных значений RH и  $T_A$  установка включалась на 30 минут.

$T_S$  поддерживалась в интервале от 0 до 12°C ниже  $T_D$ . Контроль температуры поверхности ТЭМ ( $T_S$ ), влажности (RH, %) и температуры воздуха ( $T_A$ ), а также точки росы ( $T_D$ ), осуществлялся с помощью инфракрасного термометра Testo 835-N1 с выводом данных на компьютер с интервалом 2 минуты. Сбор конденсата осуществлялся вручную с поверхности ТЭМ с помощью дисков фильтровальной бумаги диаметром 7 см и весом около 300 мг. Измерения количества конденсата осуществлялись сравнением массы фильтров до и после сбора конденсата.

Использовались весы лабораторные ВЛ-124В. Пределы допускаемой погрешности весов 0,5 мг.



Было определено количество росы, собираемой с известной площади, при известной продолжительности времени и известной температуре поверхности, в известных климатических условиях.



Диапазон испытанных климатических условий (RH 46,2... 65,6%;  $T_A$  13,2... 31,5°C;  $T_D$  6,7... 20,7°C) примерно соответствует условиям ряда пустынь и полупустынь в которых предполагается наличие эффективного самоорошения растений за счет конденсации атмосферной влаги.

Зависимость эффективности конденсации воды (C) от снижения  $T_S$  относительно  $T_D$ .

Из диаграммы видно, что количество конденсата практически линейно возрастает по мере снижения  $T_S$  относительно  $T_D$ . Линейная аппроксимация позволяет вывести коэффициент конденсации  $K_C \approx 1,5$  мг/(см<sup>2</sup> x час x град) в исследованном диапазоне RH,  $T_A$ . Наблюдаемый разброс данных определяется вкладом RH,  $T_A$  и  $T_D$ , который можно определить, ограничив выборку данных определенным диапазоном условий. Данные полученные при  $T_A < 20^\circ\text{C}$  и  $T_A > 30^\circ\text{C}$ , при RH < 50% и RH > 60%,  $T_D < 10^\circ\text{C}$  и  $T_D > 15^\circ\text{C}$  показали, что эффективность конденсации влаги возрастает с увеличением  $T_A$  и  $T_D$ , и снижается с возрастанием RH.  $K_C$  во всех случаях изменяется в диапазоне от 1,3 до 2,1 мг/(см<sup>2</sup> x час x град).

Hortus bot. 2019. Т. 14

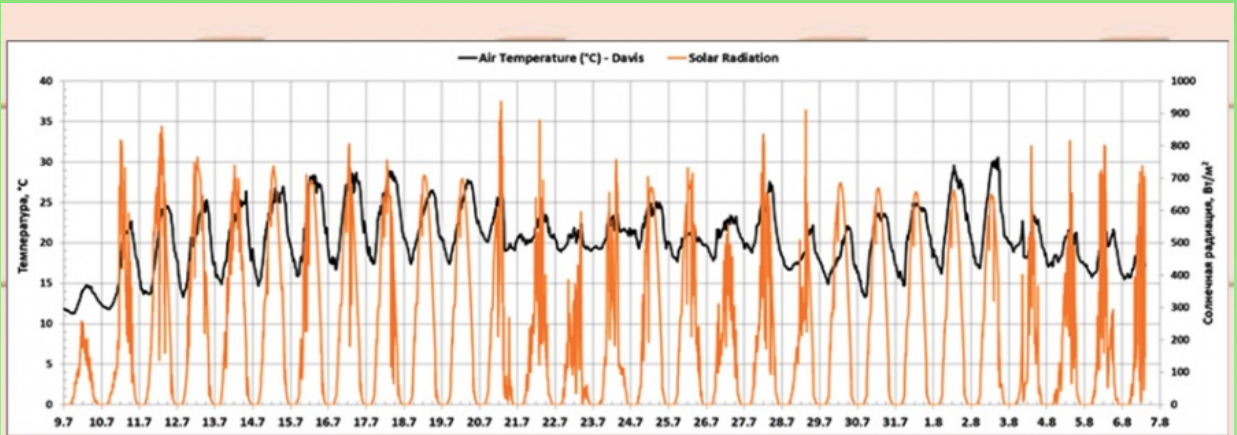


- Во всех экспериментах, данные о температуре ( $^{\circ}\text{C}$ )
  - воздуха –  $T_A$
  - почвы –  $T_S$ ,
  - поверхности растений –  $T_L$
  - точке росы –  $T_D$
  - отклонения температуры поверхности от точки росы  $\Delta T_{L-D} = T_L - T_D$ ,
  - а также, относительной влажности (%) воздуха – RH
- получены с помощью инфракрасного термометра с интегрированным модулем влажности **Testo 835-H1 (Testo)** с выводом данных на компьютер.

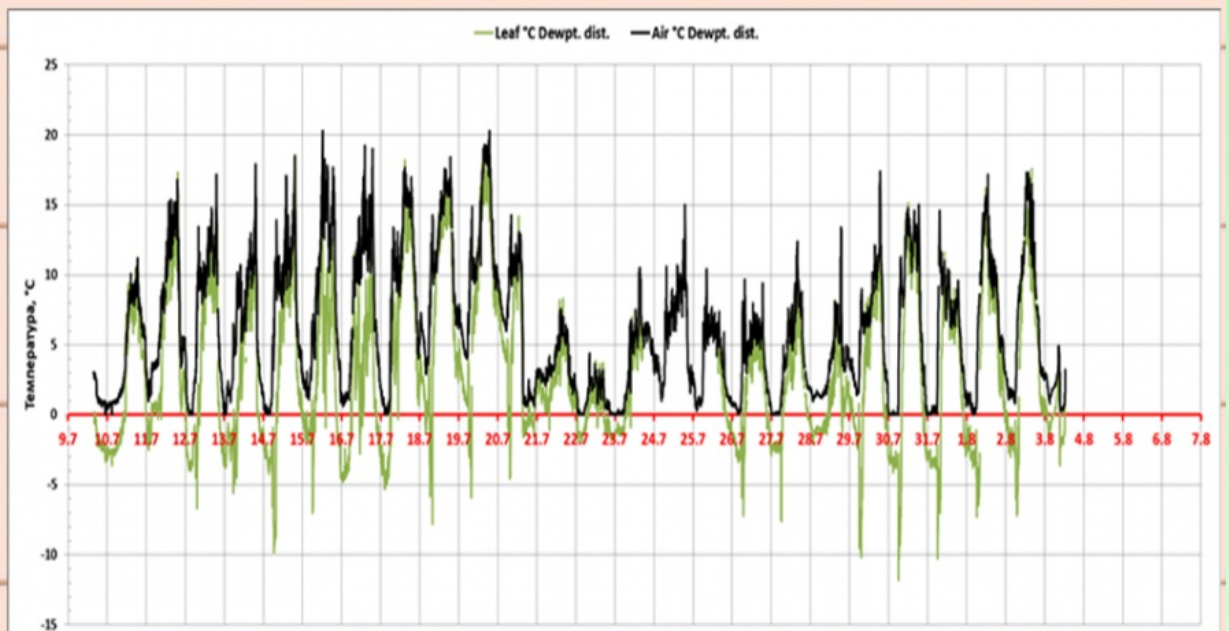
### Циркадные ритмы саморошения драконова дерева



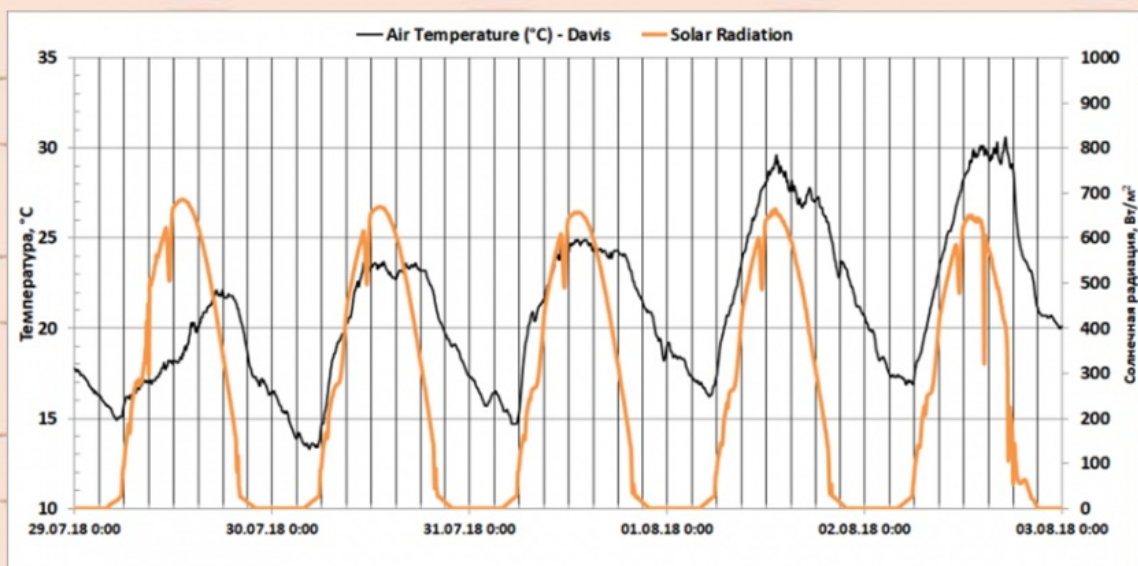
- Жарким летом 2018 года в Карелии сложились необходимые (сходные с весной на Канарах) условия для изучения циркадных ритмов температуры поверхности листьев драконова дерева – *Dracaena draco* L. – солнце, жара, наличие объекта исследований и необходимых приборов



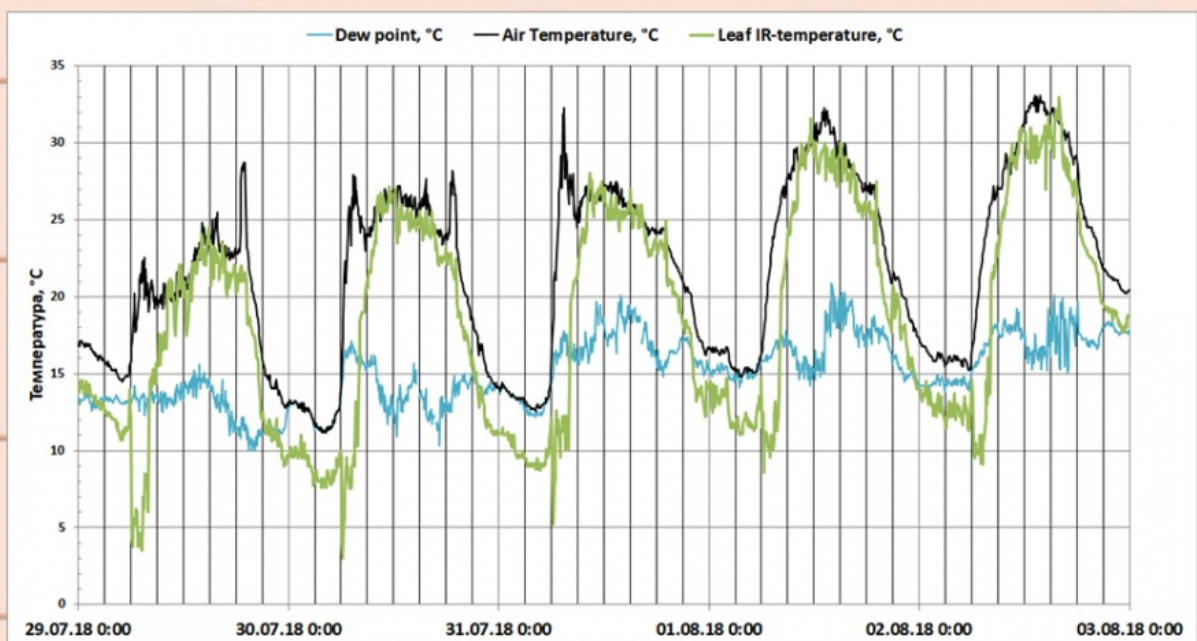
Температура воздуха (°C) и уровень солнечной радиации (Вт/м<sup>2</sup>) по данным метеостанции Davis Vantage Pro2 Plus в период с 9 июля по 7 августа 2018 г.



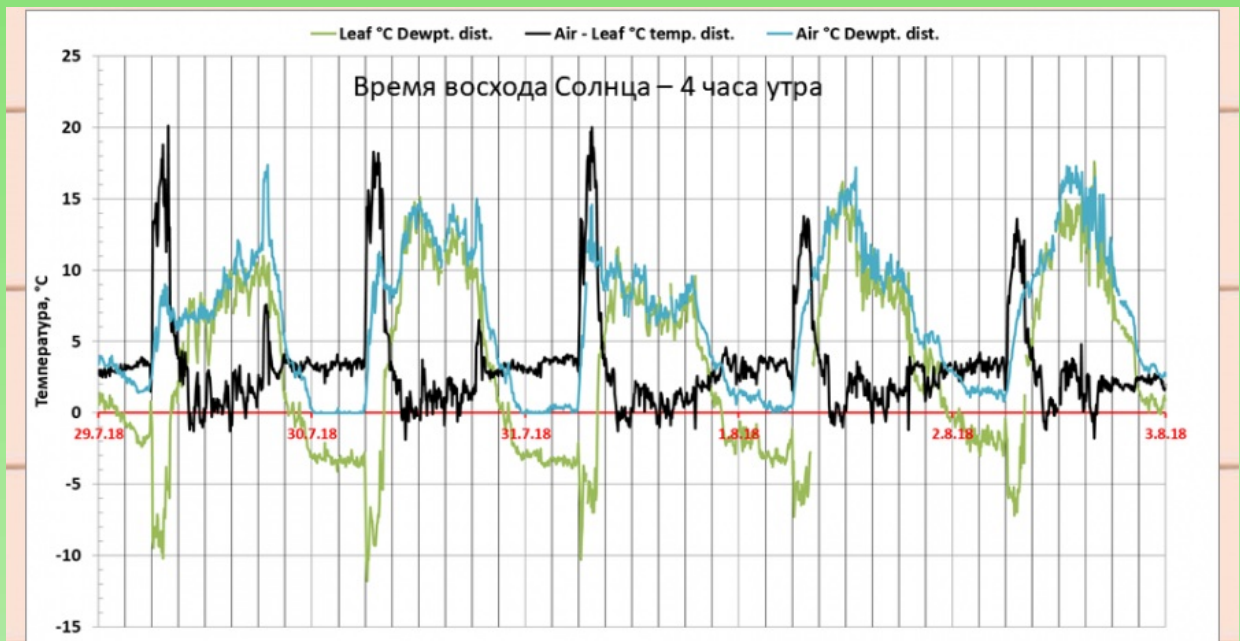
- Отклонение температуры воздуха и температуры поверхности листьев *D. draco* ( $\Delta T_{L-D}$ ) от точки росы в период с 9 июля по 3 августа 2018 г.



- Температура воздуха (°C) и уровень солнечной радиации (Вт/м<sup>2</sup>) по данным метеостанции Davis Vantage Pro2 Plus в период с 29 июля по 3 августа 2018 г.



- Точка росы, температура воздуха и листьев (°C), по данным инфракрасного термометра Testo 835-N1.



- Отклонения температуры поверхности листьев *Dracaena draco* и температуры воздуха от точки росы и отклонения температуры воздуха от температуры листьев.
- Отклонения температуры воздуха от температуры листьев составляли : 0-2°C с 10:00 до 18:00, 3-4°C с 22:00 до 6:00, 13-20°C с 6 до 9 часов утра.
- Температура поверхности листьев ночью на 1-5°C ниже точки росы, а с 6 до 9 часов утра на 7-10°C ниже  $T_D$

## Расчет количества росы

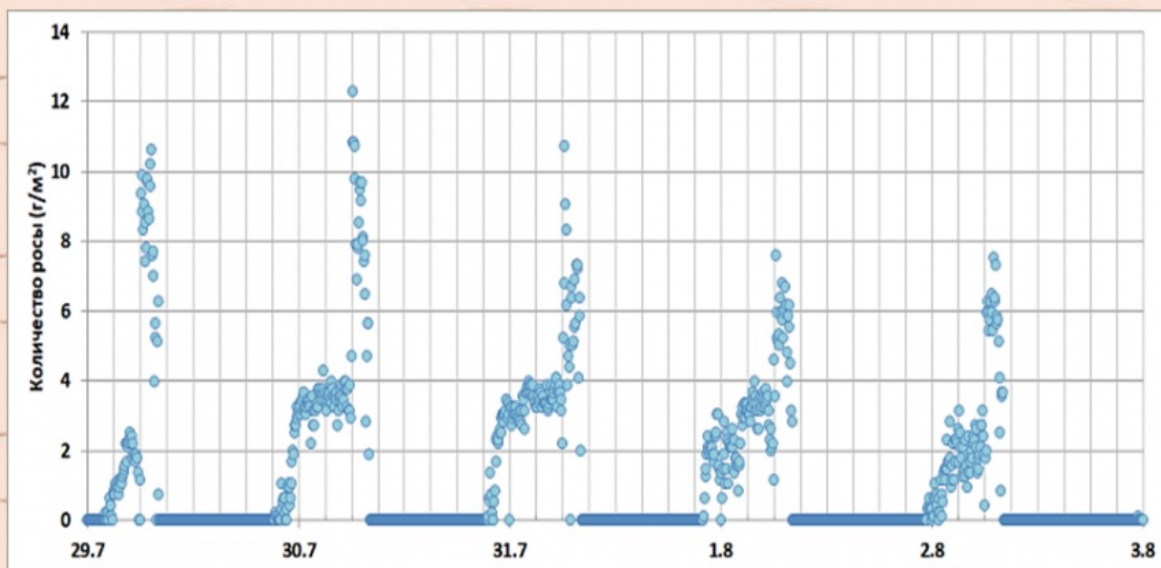
- Для оценки количества конденсируемой влаги на поверхности растений необходимы данные
  - о площади поверхности ( $S_L$ ),
  - отклонениях температуры поверхности от точки росы ( $\Delta T_{D-L} = T_D - T_L$ )
  - температуре и влажности воздуха, определяющих выбор  $K_C$
  - продолжительности периода времени при которой фиксируются отрицательные значения  $\Delta T_{D-L}$ .
- Расчет объема выпадающей росы ( $V_D$ ) велся на основе определенных нами коэффициентов конденсации по формуле:

$$V_D = K_C \times \Delta T_{D-L} \times \tau \times S_L$$

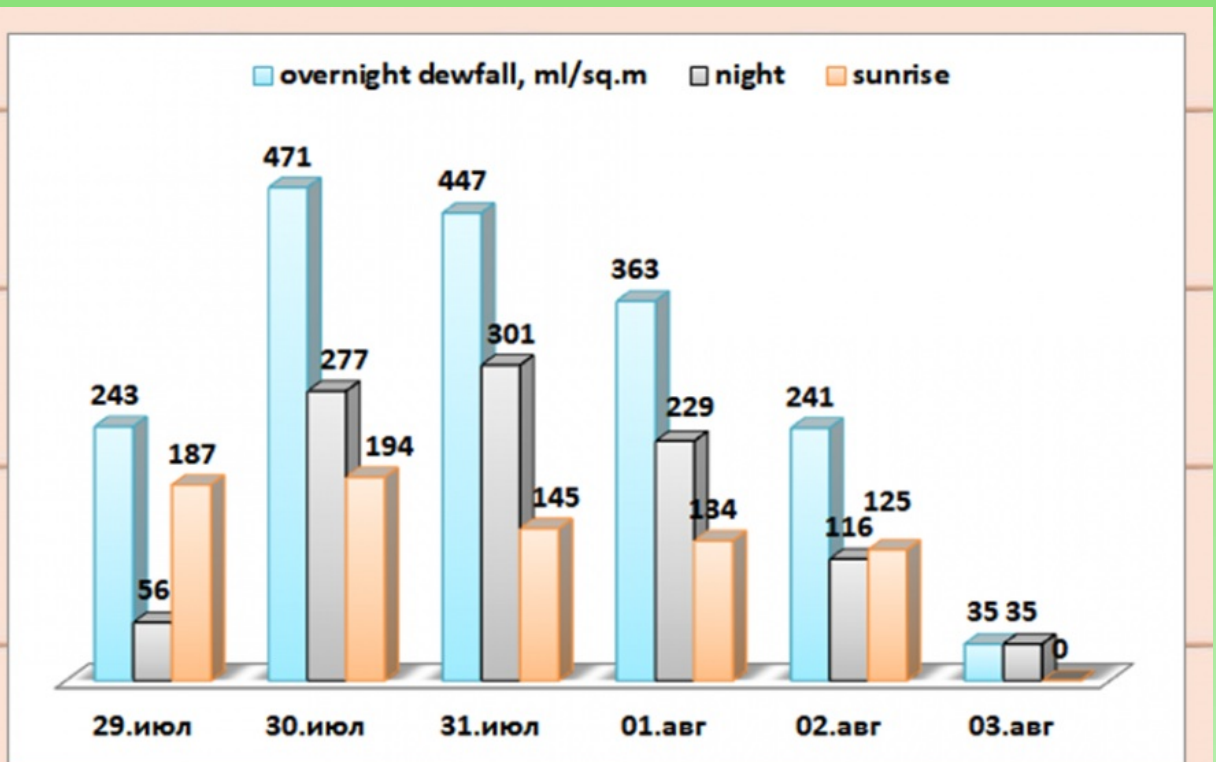
- где коэффициент конденсации,  $K_C = 1,25 \text{ мкл}/(\text{см}^2 \times \text{час} \times \text{град})$  – для условий  $RH \geq 80\%$  и  $T_A \leq 20^\circ\text{C}$ ;
- $\Delta T_{D-L}$  – отклонение температуры поверхности от точки росы;
- $\tau$  – продолжительность времени конденсации (период измерения 5 минут или 1/12 часа);
- $S_L$  – площадь поверхности листьев.



- Можно посчитать листья и объем контейнеров для воды



- Средняя длина листа *D. draco* (в природе) составляет  $79,7 \pm 13,02$  см, а ширина  $3,3 \pm 0,4$  см, что дает среднюю суммарную площадь абаксиальной и адаксиальной поверхности одного листа ( $S_L$ )  $\sim 250$  см<sup>2</sup>. На диаграмме приведены результаты расчета количества росы, выпадающей на 1 м<sup>2</sup> поверхности (40 листьях *D. draco*) каждые 5 минут в темное время суток в открытом грунте.



- Расчетное количество росы (мл), выпадающей за сутки на 1 м<sup>2</sup> поверхности листьев, в т.ч. в ночное время и в утренние часы.

## Размышления

- Среди САМ-растений есть представители семейства Asparagaceae, для которых атмосферная влага является важным источником воды, часто имеющие розеточную форму роста. Показана эффективность такой морфологии в отношении сорбции тумана (Martorell & Ezcurra, 2007). Общее количество тумана, перехваченного розеточными растениями, росло с увеличением общей площади листьев, за счет того, что многочисленные узкие листья максимизировали эффективность перехвата на единицу площади. Наблюдалась тенденция к развитию «синдрома узколистности», по мере приближения ареала вида к районам, где часто бывает туман.
- Изучение микроморфологии устьиц (Klimko, Wiland-Szymańska, 2008) показало особенности строения кутикулы и восковых структур. Показано, что замыкающие клетки устьиц *D. draco* менее защищены восками. Следовательно, замыкающие клетки, как обладающие наиболее гидрофильной поверхностью, могут являться центрами образования микрокапель росы. Кроме того, устьица *D. draco* равномерно распределены рядами на адаксиальной и абаксиальной сторонах листа, что имеет существенное значение для поглощения воды. Вода поглощается по градиенту осмотического давления устьицами и вполне вероятно, что ночью невозможно наблюдать формирование крупных капель росы.

- Известно, что *Dracaena draco* L. (Nadezhdina & Nadezhdin, 2017) способна направлять атмосферную воду через пазухи своих листьев в стволовые ткани. Также показано (Jura-Morawiec, Marcinkiewicz, 2020), что поверхность листьев *Dracaena draco* может впитывать воду. Розеточная форма и гидрофобная поверхность, позволяют влаге быстро стекать к пазухам, где и происходит поглощение воды. Толстая базальная часть листа работает как резервуар для воды. Этот механизм представляет собой альтернативный способ поглощения воды растениями и, по мнению авторов, особенно важен в туманных районах засушливого и полусухого климата.
- Роса, выпадающая в утренние часы при быстром росте температуры, в значительной степени испаряется, однако ее количество сильно возрастает за счет роста градиента температуры между поверхностью листа и точкой росы. В это время устьица САМ-растения должны быть закрыты. Формирующиеся на поверхности замыкающих клеток капли росы быстро увеличиваются в размере и вся вода стекает в пазухи листьев.
- На примере драконова дерева (*Dracaena draco* L.) показано, что САМ-растение в аридных условиях способно конденсировать и поглощать в течение ночи воду, добываемую из тумана за счет большой поверхности листьев, и в виде росы из воздуха за счет снижения температуры листьев ниже точки росы.

**Туман и роса – две составные части, два источника самоорошения растений.**

## Народно-хозяйственное значение САМ растений



*Agave tequilana* F.A.C.Weber

## Циркадные ритмы саморошения мятлика лугового



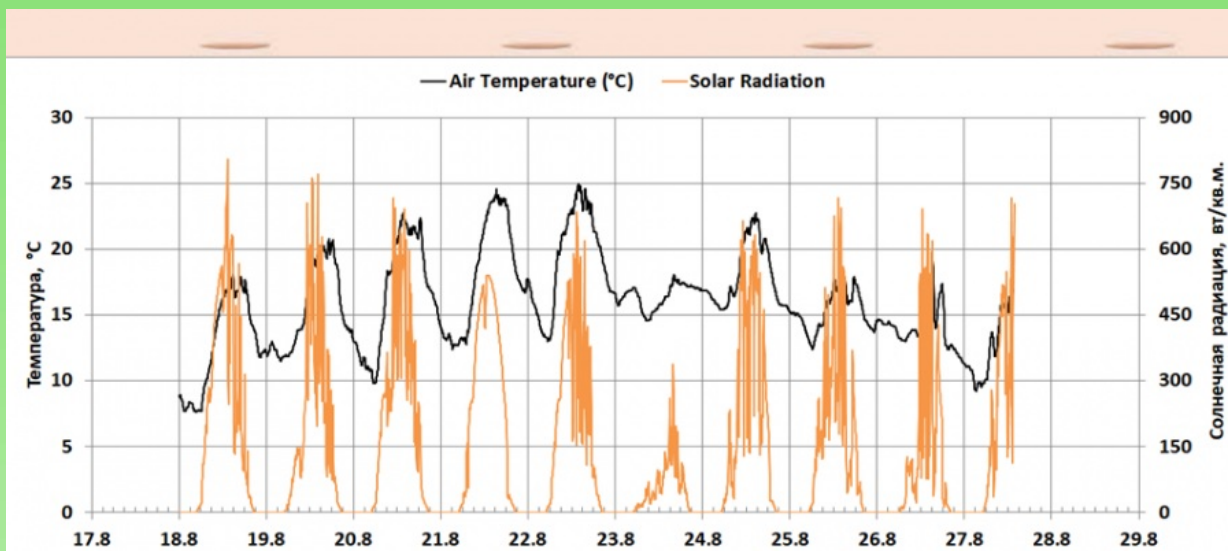
- Поводом для исследования стал некачественный покос газонов лугового типа в Ботаническом саду ПетрГУ в жаркий июнь 2020 года.
- Нельзя при покосах низко срезать всю траву – самоорошение прекращается, а это основной источник воды в верхнем слое почвы при отсутствии дождя.



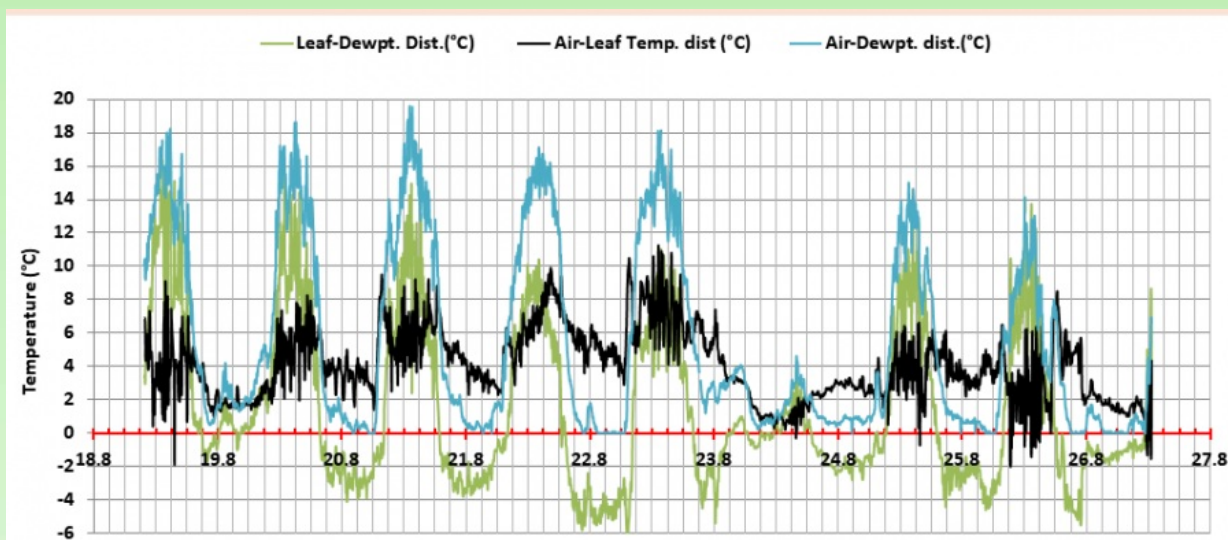
- Задача состояла в регистрации циркадных ритмов температуры поверхности растений с нормальным метаболизмом.
- Измерить температуру поверхности узких листьев злаков с помощью инфракрасного термометра проблематично, но зато легко оценить температуру поверхности газона при достаточно плотном травостое.

### • **Объект исследований**

Семена *Poa pratensis* 'Sobra' были посеяны 22.07.2020. на участке площадью ~2 кв.м. на территории метеостанции Ботанического сада ПетрГУ. Измерения начаты 18.08 и завершены 26.08 при высоте травы 10-15 см



- Температура воздуха и уровень солнечной радиации по данным метеостанции Vantage Pro2 Plus.



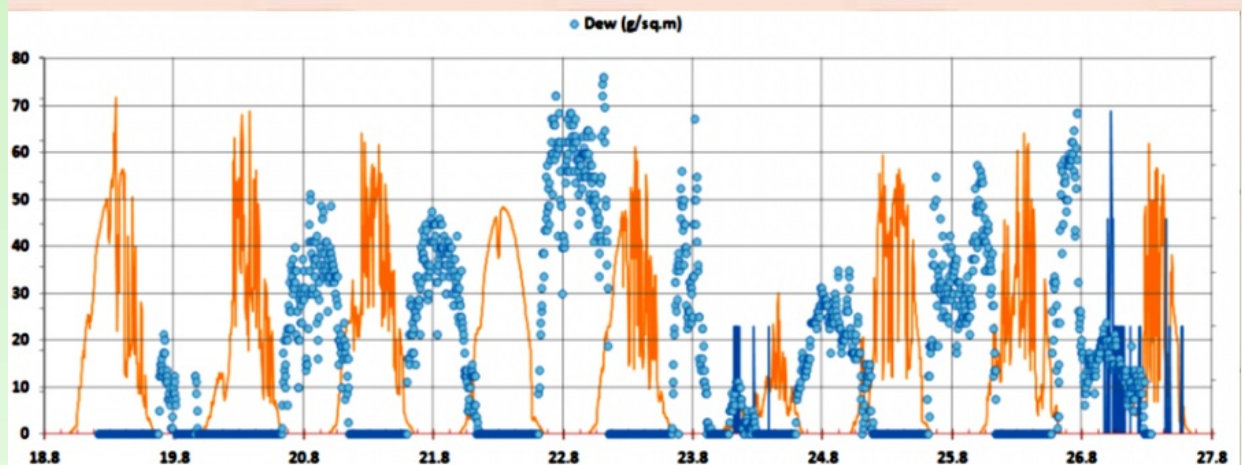
- Отклонения температуры поверхности газона и температуры воздуха от точки росы и отклонения температуры воздуха от температуры поверхности газона
- Температура поверхности листьев
  - на 2-11°C ниже температуры воздуха днем (транспирация)
  - на 1- 6°C ниже точки росы ночью (тепловое излучение)

## Определение количества листьев и площади поверхности газона.

- По окончании измерений были собраны образцы свежей травы с  $200 \text{ см}^2$ . Вес образцов с длиной травы 10 см составил = 16,5 грамм. Вес 20 листьев длиной 10 см и шириной 1 мм = 0,2858 гр.
- Таким образом при равной длине листьев (10 см) на площади  $200 \text{ см}^2$  собрано ~1150 листьев что составляет 57500 листьев на квадратный метр, адаксиальная и абаксиальная поверхность ( $S_L$ ) которых при длине листа 10 см и ширине 0,1 см равна  $115000 \text{ см}^2$ , т.е. в 11,5 раз превышает поверхность почвы, на которой произрастают растения.

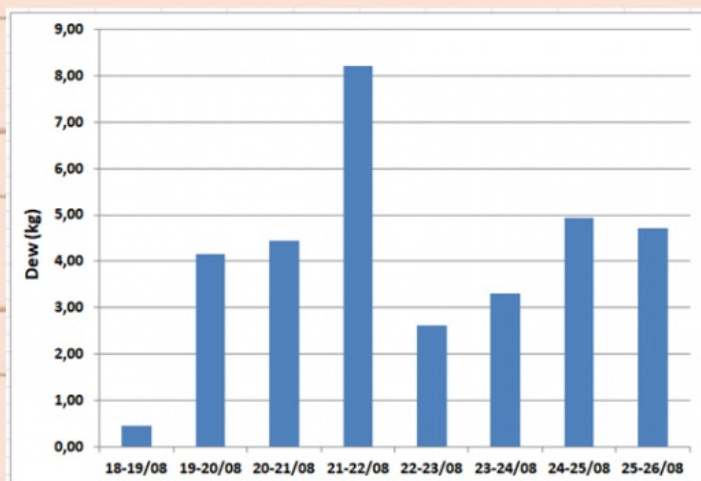
- За время измерений (195 часов) температура поверхности газона была ниже точки росы на протяжении 1172 5-минутных интервалов измерений, или в течение 97,7 часа, что составляет в среднем  $\approx 12 \frac{1}{4}$  часа в сутки.
  - При  $K_C = 1,3 \text{ мг}/(\text{см}^2 \times \text{час} \times \text{град})$  – для условий  $RH > 60\%$  и  $T_A < 20^\circ\text{C}$  рассчитано количество росы, выпадающей на  $1 \text{ м}^2$  поверхности газона каждые 5 минут в темное время суток в открытом грунте.

– Приведены данные по солнечной радиации и осадкам.



## Результаты

- Согласно расчетам за указанный интервал времени (~8 суток) на 1 кв.м. поверхности газона при высоте травостоя 10 см выпадает не менее 30 кг росы.

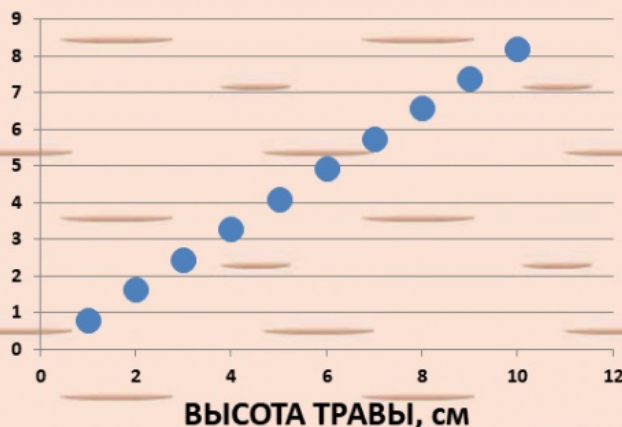


- Количество росы, выпадающей за ночь на 1 кв.м газона при высоте травы 10 см.
  - Учитывая морфологию побегов злаков, понятно, что вся роса по действием гравитации стекает в почву.

## Выводы

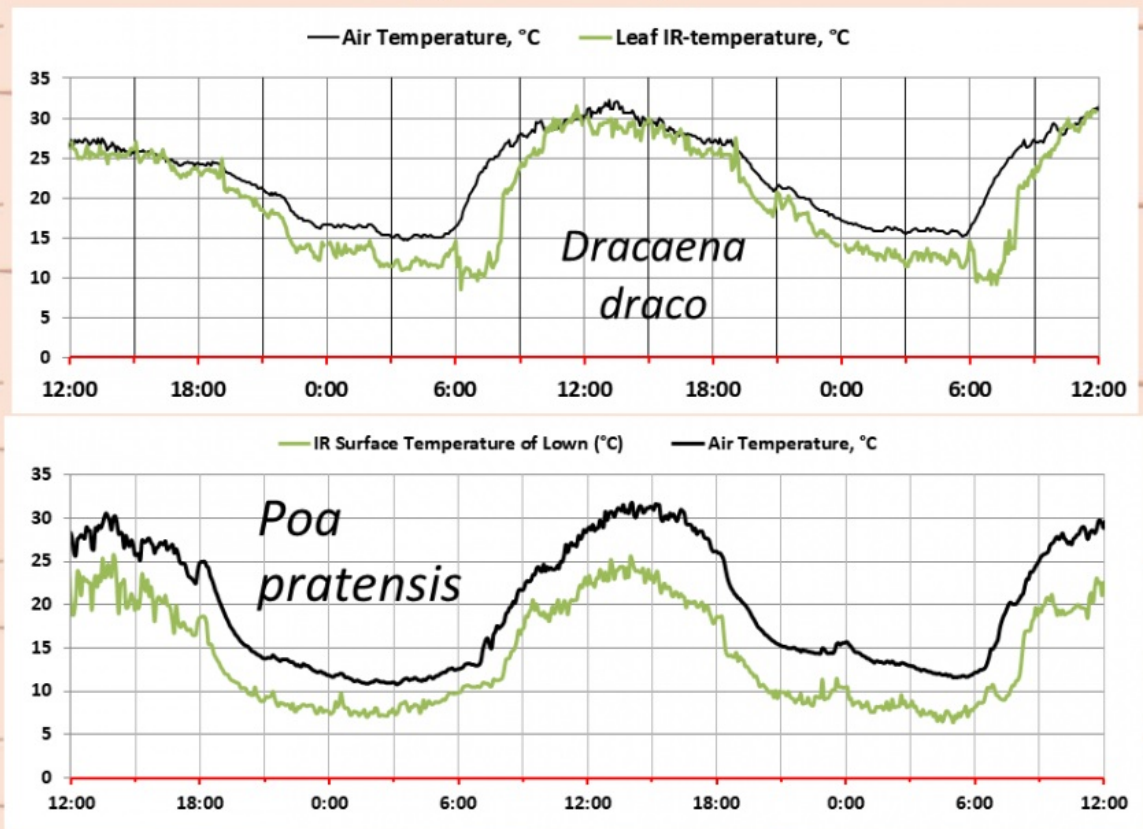
- При снижении высоты газона, количество выпадающей росы, будет снижаться пропорционально уменьшению площади листьев.

### Объем росы, л/сутки x кв.м.



- Зависимость эффективности самоорошения газона от высоты покоса.
  - Садовники должны руководствоваться прогнозом погоды и не косить в жару и перед ней

## Идеальный день



Перед **экологической физиологией растений** открытие саморощения растений ставит новые цели и задачи, т.к. полученные данные связывают многие ранее известные явления и показывают, что:

- ✓ пигментация, опушенность и аналогичные адаптации – инструмент светоотражения или снижения поглощения в инфракрасном диапазоне, не только препятствующий нагреву поверхности растений, но и способствующий их быстрому охлаждению;
- ✓ устьица не только «нос» растений, но и их «рот» помощью которого можно поглощать сконденсированную влагу по градиенту осмотического давления;
- ✓ колючки и заостренные листья – инструмент для охлаждения растений, вероятно, с помощью биоэлектрических процессов с тепловой радиацией;
- ✓ гидрофобная поверхность листьев служит для формирования крупных капель конденсата, не успевающих испариться и скатывающихся к корням, или в розетку из листьев;
- ✓ форма пустынных кактусов, молочаев и других суккулентов, позволяет конденсату стекать прямо к корням растений, а зачастую и увеличивает поверхность стебля для конденсации влаги;

### **Значимость конденсации атмосферной влаги для экосистем трудно переоценить.**

- ✓ В первую очередь, речь идет о механизме сохранения воды разнообразными растительными сообществами, например – лесами. Не только атмосферная влага, но и транспирируемая вода возвращаются в экосистему за счет конденсации.
- ✓ Учитывая, что площадь поверхности листьев каждого дерева многократно превосходит площадь почвы, то следует пересмотреть существующие оценки экологического ущерба от уничтожения лесов. Ситуация может быть более удручающей и приводящей к ускоренному опустыниванию земель в субаридных условиях.
- ✓ Устойчивость аридных экосистем, прохлада лесов и тени саксаула получает корректное объяснение.
- ✓ Для почвопокровных растений, корневая система которых зачастую не достигает глубоких водоносных слоев, данное явление позволяет выдержать кратковременное высыхание поверхностных слоев почвы в дневное время или препятствовать такому высыханию.

### **ПРАКТИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ**

- Изучение механизма явления позволит в дальнейшем осуществлять модификацию растений путем селекции и генной инженерии с использованием близкородственных засухоустойчивых видов с эффективной конденсацией воды.
- Такие растения могут принести огромную пользу для повышения засухоустойчивости сельскохозяйственных культур и для борьбы с опустыниванием.
- В последнем случае целесообразен подбор интродуцентов с максимально эффективной конденсацией воды.

- В интродукции растений и при формировании дендрологических коллекций самоорошение, требующее строго определенных условий культивирования каждого вида, определяет возможность и успешность устойчивого существования растения:
- ✓ сведения о диапазоне изменения температуры поверхности становятся критерием отбора потенциальных интродуцентов;
  - ✓ выраженная способность к самоорошению повышает шансы интродукции растений в более аридные условия;
  - ✓ с другой стороны, снижается устойчивость к заболеваниям в более влажном климате;
  - ✓ в низкотемпературных регионах, излишнее снижение температуры поверхности листьев и побегов приведет к обмораживанию надземной части.

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОЛЛЕКЦИЙ БОТАНИЧЕСКИХ САДОВ

Способность растений к самоорошению позволяет ботаническим садам создавать экспозиции растений, не нуждающихся в поливе в местных условиях, формируя своеобразные полузащищенные коллекции, когда влажность воздуха и температура не регулируются, но прозрачная крыша защищает растения от переувлажнения.

Таким образом, мы можем создать коллекции абсолютно засухоустойчивых растений для своих регионов, и подготовиться к жесткому сценарию изменения климата.



### Литература

Прохоров А. А. Циркадные ритмы температуры листьев драконова дерева и количество выпадающей на них росы // Hortus bot. 2022. Т. 17, URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=8605>. DOI: 10.15393/j4.art.2022.8605

Прохоров А.А. Эффективность самоорошения растений //Ботанические сады в XXI веке: сохранение биоразнообразия, стратегия развития и инновационные решения: сборник научных материалов II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 20-летию образования Ботанического сада НИУ «БелГУ» / отв. ред. В.К. Тохтарь, Е.Н. Дунаева. – Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2019. – 210 с. (С. 123\_ - 126)

Прохоров А. А., Пяскин Р. И. Определение возможного количества росы на поверхности растений // Hortus bot. 2019. Т. 14, URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=6526>. DOI: 10.15393/j4.art.2019.6526

Прохоров А. А. Температура поверхности растений и конденсация атмосферной влаги // Ботаника в современном мире : Труды XIV Съезда Русского ботанического общества и конференции, Махачкала, 18–23 июня 2018 года / Русское ботаническое общество, Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Дагестанский научный центр РАН, Горный ботанический сад ДНЦ РАН, Дагестанский государственный университет. – Махачкала: Общество с ограниченной ответственностью "АЛЕФ", 2018. – С. 319-321. – EDN UVVYSG.

Прохоров А. А. Самоорошение растений и устойчивость дендрокolleкций // Hortus bot. 2017. Т. 12, прил. II, URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=4622>. DOI: 10.15393/j4.art.2017.4622

Прохоров А. А. О самоорошении растений // Роль ботанических садов и дендрариев в сохранении, изучении и устойчивом использовании разнообразия растительного мира : Материалы Международной научной конференции, посвященной 85-летию Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси. В 2-х частях, Минск, Беларусь, 06–08 июня 2017 года. – Минск, Беларусь: Медисонт, 2017. – С. 94-97. – EDN ZBPVHF.

Прохоров А. А. Возможные механизмы охлаждения поверхности растений // Hortus bot. 2016. Т. 11, URL:

<http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=3862>. DOI: 10.15393/j4.art.2016.3862

Прохоров А.А. Точка росы, как свойство поверхности растений // Биологическое разнообразие. Интродукция растений. - Санкт-Петербург : БИН РАН, 2016. - С.8-10. Источник: <https://petsu.ru/persons/804/prokhorov/publication/32#t20c>

Прохоров А. А. Точка росы - неизученный фактор в экологии, физиологии и интродукции растений = Hortus bot. // Hortus botanicus. — 2015. —Т. 10. — стр. 4-10. — URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=2801>. — DOI: 1.10.15393/j4.art.2015.2801.

Прохоров А.А. Оптимальные климатические условия для конденсации атмосферной влаги на поверхности растений = Hortus bot. // Hortus botanicus. — 2015. —Т. 10. — стр. 18-24. — URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=3143>. — DOI: 10.15393/j4.art.2015.3143.

Карлун Ю. Н., Коннов Н. А., Кувайцев М. В. и Прохоров А. А. Активная конденсация атмосферной влаги как механизм самоорошения почвопокровных растений = Hortus bot. // Hortus botanicus. — 2015. —Т. 10. — стр. 11-17. — URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=2802>. — DOI: 10.15393/j4.art.2015.2802.

Прохоров А. А. Активная конденсация воды растениями // Принципы экологии. 2013. № 3. С. 58–61.

## The Dewfall. Unaccounted physical environmental factors and their role in plant life

**PROKHOROV**  
**Alexey Anatolievich**

Petrozavodsk state university,  
Leninskiy av., 33, Petrozavodsk, 185910, Russia  
[alpro@onego.ru](mailto:alpro@onego.ru)

### Key words:

review, science, experiment,  
dewfall, ecological physiology of  
plants, surface temperature, dew  
point

### Summary:

The presented report summarizes the results of an 11-year study of the phenomenon of self-irrigation of plants, which is a consequence of a decrease in plant surface temperature below the dew point. Particular attention is paid to recent experiments on the study of circadian rhythms of temperature and the efficiency of dewfall on plants with different types of metabolism.

**Is received:** 22 september 2023 year

**Is passed for the press:** 16 december 2023 year

### References

- Karpun Yu. N., Konnov N. A., Kuvajtsev M. V. i Prokhorov A. A. Aktivnaya kondensatsiya atmosfernoj vlagi kak mekhanizm samoorosheniya potchvopokrovnykh rastenij = Hortus bot. // Hortus botanicus. — 2015. —V. 10. — p. 11-17. — URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=2802>. — DOI: 10.15393/j4.art.2015.2802.
- Prokhorov A. A. O samooroshenii rastenij // Rol botanicheskikh sadov i dendriev v sokhraninii, izutchenii i ustojtchivom ispolzovanii raznoobraziya rastitel'nogo mira : Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii, posvyatshennoj 85-letiyu Tsentralnogo botanicheskogo sada Natsionalnoj akademii nauk Belarusi. V 2-kh tchastyakh, Minsk, Belarus, 06–08 iyunya 2017 goda. – Minsk, Belarus: Medisont, 2017. – P. 94-97. – EDN ZBPBHF.
- Prokhorov A. A. Aktivnaya kondensatsiya vody rasteniyami // Printsipy ekologii. 2013. No. 3. P. 58–61.
- Prokhorov A. A. Samooroshenie rastenij i ustojtchivost dendrokolleksij // Hortus bot. 2017. V. 12, pril. II, URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=4622>. DOI: 10.15393/j4.art.2017.4622
- Prokhorov A. A. Temperatura poverkhnosti rastenij i kondensatsiya atmosfernoj vlagi // Botanika v sovremennom mire : Trudy XIV Sezda Russkogo botanicheskogo obtshestva i konferentsii, Makhatchkala, 18–23 iyunya 2018 goda, Russkoe botanicheskoe obtshestvo, Botanicheskij institut im. V.L. Komarova RAN, Dagestanskij nauchnyj tsentr RAN, Gornyj botanicheskij sad DNTs RAN, Dagestanskij gosudarstvennyj universiteV. – Makhatchkala: Obtshestvo s ogranichennoj otvetstvennostyu "ALEF", 2018. – P. 319-321. – EDN UVVYSG.
- Prokhorov A. A. Totchka rosy - neizutchenyj faktor v ekologii, fiziologii i introduksii rastenij = Hortus bot. // Hortus botanicus. — 2015. —V. 10. — p. 4-10. — URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=2801>. — DOI: 1.10.15393/j4.art.2015.2801.
- Prokhorov A. A. Tsirkadnye ritmy temperatury listev drakonova dereva i kolichestvo vypadayutshej na nikh rosy // Hortus bot. 2022. V. 17, URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=8605>. DOI: 10.15393/j4.art.2022.8605
- Prokhorov A. A. Vozmozhnye mekhanizmy okhlazhdeniya poverkhnosti rastenij // Hortus bot. 2016. V. 11, URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=3862>. DOI: 10.15393/j4.art.2016.3862
- Prokhorov A. A., Pyaskin R. I. Opredelenie vozmozhnogo kolichestva rosy na poverkhnosti rastenij // Hortus bot. 2019. V. 14, URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=6526>. DOI: 10.15393/j4.art.2019.6526
- Prokhorov A.A. Effektivnost samoorosheniya rastenij //Botanicheskie sady v XXI veke: sokhranenie bioraznoobraziya, strategiya razvitiya i innovatsionnye resheniya: sbornik nauchnykh materialov II Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym utchastiem, posvyatshennoj 20-letiyu obrazovaniya Botanicheskogo sada NIU «BelGU», otv. red. V.K. Tokhtar, E.N. Dunaeva. – Belgorod: ID «Belgorod» NIU «BelGU», 2019. – 210 p. (P. 123\_- 126)
- Prokhorov A.A. Optimalnye klimaticheskie usloviya dlya kondensatsii atmosfernoj vlagi na poverkhnosti rastenij = Hortus bot. // Hortus botanicus. — 2015. —V. 10. — p. 18-24. — URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=3143>. — DOI: 10.15393/j4.art.2015.3143.
- Prokhorov A.A. Текст// Biologicheskoe raznoobrazie. Introduksiya rastenij, Sankt-Peterburg : BIN RAN, 2016, P.8-10. Istotchnik: <https://petsu.ru/persons/804/prokhorov/publication/32#t20c>

Цитирование: Прохоров А. А. Самоорошение. Неучтенные физические факторы среды и их роль в жизни растений // Hortus bot. 2023. Т. 18, 2023, стр. 395 - 427, URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=8865>.

DOI: [10.15393/j4.art.2023.8865](https://doi.org/10.15393/j4.art.2023.8865)

Cited as: Prokhorov A. A. (2023). The Dewfall. Unaccounted physical environmental factors and their role in plant life // Hortus bot. 18, 395 - 427. URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=8865>