



HORTUS BOTANICUS

Журнал Совета ботанических садов СНГ при МААН

14 / 2019

HORTUS BOTANICUS

Журнал Совета ботанических садов СНГ при МААН

14 / 2019

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
Т. С. Мамедов
В. Н. Решетников

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
К. О. Романова
А. Г. Марахтанов

Адрес редакции

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

E-mail: hortbot@gmail.com

<http://hb.karelia.ru>

© 2001 - 2019 А. А. Прохоров

На обложке:

Ботанический сад Соловецкого историко-архитектурного музея-заповедника. Врата. Фото
Михаила Щеглова.

Разработка и техническая поддержка

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

Петрозаводск

2019

Определение возможного количества росы на поверхности растений

ПРОХОРОВ Алексей Анатольевич	<i>Петрозаводский государственный университет, пр. Ленина, 33, Петрозаводск, 185910, Россия alpro@onego.ru</i>
ПЯСКИН Роман Игоревич	<i>Петрозаводский государственный университет, Ленина, 33, Петрозаводск, 185910, Россия pri-tesla@mail.ru</i>

Ключевые слова:
технология, элемент
Пельтье, конденсация, точка
росы

Аннотация: Цель работы состояла в экспериментальном определении количества влаги, которое может сконденсироваться на поверхности растения при охлаждении ниже точки росы. Для оценки количества конденсируемой воды на поверхности, охлажденной ниже точки росы, была собрана установка с термоэлектрическим модулем площадью 9 см². Установлено, что коэффициент конденсации воды K_C изменяется в диапазоне от 1,3 до 2,1 мг/(см² × час × град) в зависимости от величины относительной влажности и температуры воздуха, что соответствует 156...252 граммам росы на 1 м² поверхности растений охлажденной на 1°C ниже точки росы или 780...1260 граммам на 1 м² поверхности растения, охлажденной на 5°C ниже точки росы за 12 часов (ночное время).

Рецензент: В. А. Гуртов

Получена: 20 сентября 2019 года

Подписана к печати: 31 октября 2019 года

Введение

В 2013 году была предложена гипотеза (Прохоров, 2013), состоящая в том, что растения активно конденсируют атмосферную влагу на своей поверхности за счет снижения температуры поверхности побегов и листьев (T_S) ниже точки росы (T_D), при температуре воздуха $T_A > T_D$, т.е. при отсутствии тумана. При этом под словом «активно» понимается как снижение температуры поверхности за счет физиологических и физических механизмов, так и увеличение объема конденсируемой воды за счет увеличения поверхности кроны.

Исследования циркадных ритмов температуры поверхности растений показали стабильное снижение температуры поверхности листьев винограда ниже точки росы на 1-2° С с 18-19 часов до 9-10 утра, а в ясные дни на 2-3° С до полудня (Прохоров, 2018). В других полевых исследованиях зарегистрировано снижение T_S на 1...8° С ниже точки росы (Прохоров, 2015а; Карпун и др., 2015).

Следующая задача состояла в экспериментальном определении количества влаги, которое может сконденсироваться на поверхности растения при охлаждении ниже точки росы. Однако количественное определение конденсата на поверхности живых растений практически невозможно, что затрудняет оценку значения данного явления как для отдельных растений, так и для экосистем.

Технически подобная задача решена с помощью устройств с использованием элементов Пельтье (Nikolayev et al., 1996), а в отдельных работах показана связь эффективности конденсации с влажностью воздуха и температурой (Joshi et al., 2017), а также влажностью и интенсивностью потока воздуха (Muñoz-García et al., 2013).

Объекты и методы исследований

Для оценки количества конденсируемой воды на поверхности, охлажденной ниже точки росы, была собрана установка на базе комплекта для создания холодильной системы № 1 с термоэлектрическим модулем (ТЭМ) ТВ-127-1,0-1,3, [Snowball-71](#) размером 3х3 см (производство «Криотерм») (рис. 1.) и блоком питания RS-100-12 (производство «Mean Well») с регулятором мощности.

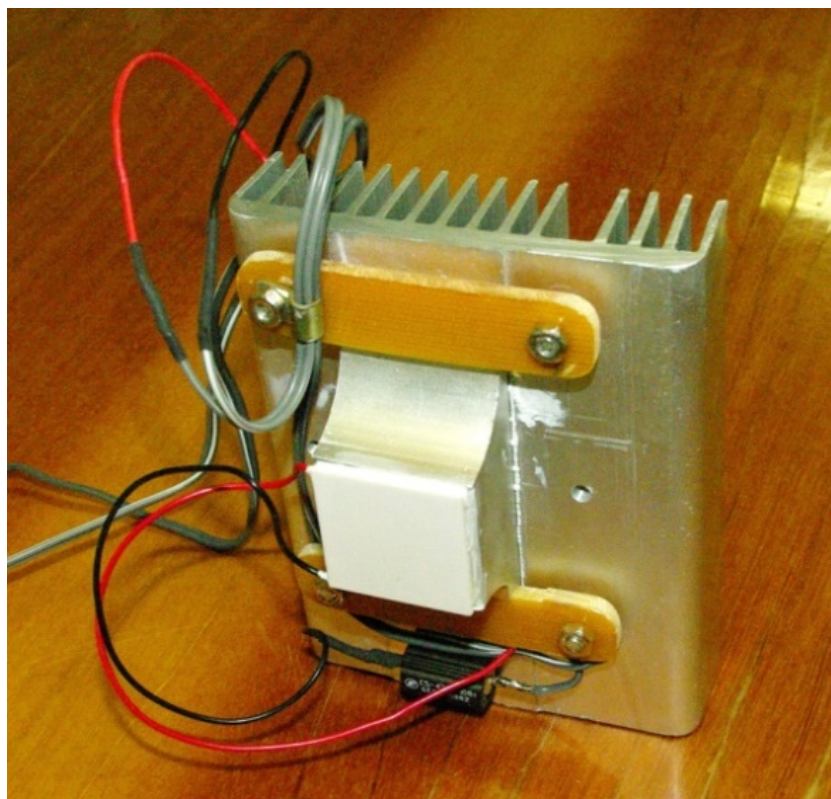


Рис. 1. Экспериментальная установка для сбора конденсата на поверхности ТЭМ (элемента Пельтье) с воздушно охлаждаемым радиатором для отвода тепла.

Fig. 1. Experimental installation for collecting condensate on the surface of TEM (Peltier element) with cooler.

Установка была размещена в климатической камере собственной разработки, объемом 4 м³, оснащенной системами поддержания температуры (T_A) и относительной влажности воздуха (RH). В ходе экспериментов дополнительные потоки воздуха отсутствовали, за исключением потока воздуха от кулера, охлаждающего радиатор.

После достижения стабильных значений RH и T_A установка включалась на 30 минут. Напряжение питания ТЭМ регулировалось с помощью потенциометра таким образом, чтобы достичь необходимой T_S в интервале 0...12° С ниже T_D . Сбор конденсата осуществлялся вручную с поверхности ТЭМ с помощью дисков фильтровальной бумаги Filtrak 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 (производство НПП «Госметр»). Пределы допускаемой погрешности весов - 0,5 мг.

Контроль температуры поверхности ТЭМ (T_S , °C), влажности (RH, %) и температуры воздуха (T_A , °C), а также точки росы (T_D , °C), осуществлялся с помощью инфракрасного термометра с интегрированным модулем влажности Testo 835-H1 (производство Testo) с выводом данных на компьютер с интервалом 2 минуты. Учитывая, что поверхность ТЭМ изготовлена из керамики на основе оксида алюминия, нами использовался коэффициент эмиссии инфракрасного термометра = 0,92.

В таблице 1 в качестве примера приведены данные об изменениях RH, T_A , T_S , T_D , средних значениях (Average) и стандартных отклонениях (STDEV.P) этих величин в течении 30 минут при максимальных и минимальных значениях T_A , использованных в эксперименте. Обработка полученных данных осуществлялась с помощью MS Excel 2010.

Таблица 1. Примеры флуктуации величин измеряемых параметров в ходе эксперимента при максимальных и минимальных значениях температуры воздуха

Table 1. An examples of the fluctuations of the measured parameters during the experiment at maximum and minimum values of air temperature

Time	RH, %	T _A , °C	T _S , °C	T _D , °C	Time	RH, %	T _A , °C	T _S , °C	T _D , °C
16:31:29	50,3	31,5	15,5	19,9	8:34:59	64,1	13,0	-1,5	6,4
16:33:29	50,9	31,4	15,6	20,0	8:36:59	64,3	13,0	-1,4	6,4
16:35:29	51,5	31,4	15,7	20,2	8:38:59	64,3	13,1	-1,0	6,5
16:37:29	52,1	31,4	15,7	20,4	8:40:59	64,6	13,2	-1,0	6,7
16:39:29	52,4	31,3	15,7	20,4	8:42:59	64,6	13,1	-1,0	6,6
16:41:29	52,9	31,4	15,7	20,6	8:44:59	64,7	13,1	-0,9	6,6
16:43:29	53,1	31,4	15,7	20,7	8:46:59	64,6	13,2	-0,9	6,7
16:45:29	53,4	31,3	15,7	20,7	8:48:59	64,7	13,2	-0,8	6,7
16:47:29	53,6	31,4	15,8	20,8	8:50:59	64,7	13,2	-0,7	6,7
16:49:29	53,8	31,4	15,8	20,9	8:52:59	64,8	13,3	-0,7	6,8
16:51:29	54,0	31,5	15,8	21,0	8:54:59	64,9	13,3	-0,7	6,8
16:53:29	54,2	31,5	15,8	21,1	8:56:59	64,9	13,3	-0,7	6,8
16:55:29	54,3	31,5	15,9	21,1	8:58:59	64,9	13,3	-0,7	6,9
16:57:29	54,5	31,4	15,9	21,1	9:00:59	65,0	13,3	-0,7	6,9
16:59:29	54,6	31,5	15,9	21,2	9:02:59	65,1	13,4	-0,6	7,0
Average	53,0	31,4	15,7	20,7	Average	64,7	13,2	-0,9	6,7
STDEV.P (α=0,05)	1,3	0,1	0,1	0,4	STDEV.P (α=0,05)	0,3	0,1	0,3	0,2

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 (Прохоров, 2015b).

Результаты и обсуждение

В таблице 2 приведены данные о количестве собранного конденсата за 30 минут (C₀) и пересчитанные на единицу поверхности в час (C), а также усредненные значения RH, T_A, T_S, T_D, T_S - T_D за период сбора конденсата.

Таблица 2. Данные о количестве собранного конденсата за 30 минут (C₀) и пересчитанные на единицу поверхности в час (C), а также усредненные значения RH, T_A, T_S, T_D, за период сбора конденсата

Table 2. Data on the amount of condensate collected in 30 minutes (C₀) and calculated per unit surface per hour (C), as well as the average values of RH, T_A, T_S, T_D, for the period of condensate collection

C ₀ , mg	C, mg/(cm ² x hour)	RH, %	T _A , °C	T _S , °C	T _D , °C
51,7	11,5	63,5	21,6	7,6	14,3
0,2	0,0	58,6	23,1	13,6	14,5
7,8	1,7	56,4	24,1	11,3	14,9
50,5	11,2	54,9	24,9	11,0	15,2
12,6	2,8	54,0	26,7	15,0	16,6
44,1	9,8	52,5	28,5	14,8	17,8
0,7	0,2	51,1	29,4	19,0	18,2

4,8	1,1	48,0	30,9	18,3	18,6
34,5	7,7	52,8	31,4	15,7	20,6
64	14,2	52,8	31,5	14,4	20,7
46,3	10,3	64,7	13,2	-0,9	6,7
45,4	10,1	65,0	13,9	-0,2	7,4
42,7	9,5	65,1	14,3	0,5	7,8
53,6	11,9	64,8	14,9	-2,8	8,3
73,4	16,3	65,6	15,5	-2,2	9,1
21,7	4,8	65,1	15,9	4,9	9,4
20,6	4,6	64,7	16,2	6,1	9,6
22,4	5,0	64,2	16,2	4,9	9,5
6,9	1,5	59,9	19,9	8,8	11,9
1,5	0,3	56,3	20,8	9,6	11,8
1,9	0,4	55,7	21,0	10,6	11,8
34,5	7,7	55,3	21,2	6,3	11,9
25,2	5,6	54,1	21,3	6,5	11,6
16,5	3,7	53,0	21,4	7,4	11,4
54,1	12,0	52,2	21,5	3,7	11,3
52,6	11,7	51,4	21,6	3,6	11,1
47,3	10,5	50,7	21,7	3,8	11,0
2,2	0,5	46,2	27,5	13,2	14,9
4,1	0,9	47,0	27,9	13,3	15,5
22,6	5,0	48,7	29,0	14,1	17,1
54,3	12,1	47,0	30,0	11,2	17,5
55,3	12,3	47,5	30,2	11,4	17,8
47,2	10,5	47,0	30,8	12,1	18,2
92,3	20,5	46,5	30,7	8,9	18,0
90,3	20,1	47,2	30,9	9,2	18,3
101,9	22,6	47,3	31,1	8,9	18,6
42,5	9,4	60,6	20,3	5,2	12,4
32,9	7,3	58,4	20,4	5,7	12,0
32,2	7,2	57,5	20,5	5,4	11,8
56,4	12,5	56,6	20,6	2,2	11,7
58,2	12,9	55,2	20,9	2,3	11,6
45,3	10,1	52,3	21,6	3,1	11,4
62,8	14,0	59,6	21,6	4,5	13,4
62,7	13,9	60,9	21,7	4,8	13,8
57,6	12,8	60,4	21,6	4,9	13,6

Из диаграммы (рис. 2) видно, что количество конденсата практически линейно возрастает по мере снижения T_S относительно T_D . Линейная аппроксимация позволяет вывести коэффициент конденсации $K_C \approx 1,6 \text{ мг}/(\text{см}^2 \times \text{час})$ для усредненных значений $RH = 55 \%$, $T_A = 23,3^\circ \text{C}$ и $T_D = 13,6^\circ \text{C}$. Наблюдаемый разброс данных определяется вкладом RH , T_A и, соответственно, $T_D \approx T_A - (1 - RH)/0,05$, который можно определить, ограничив выборку данных определенным диапазоном условий.

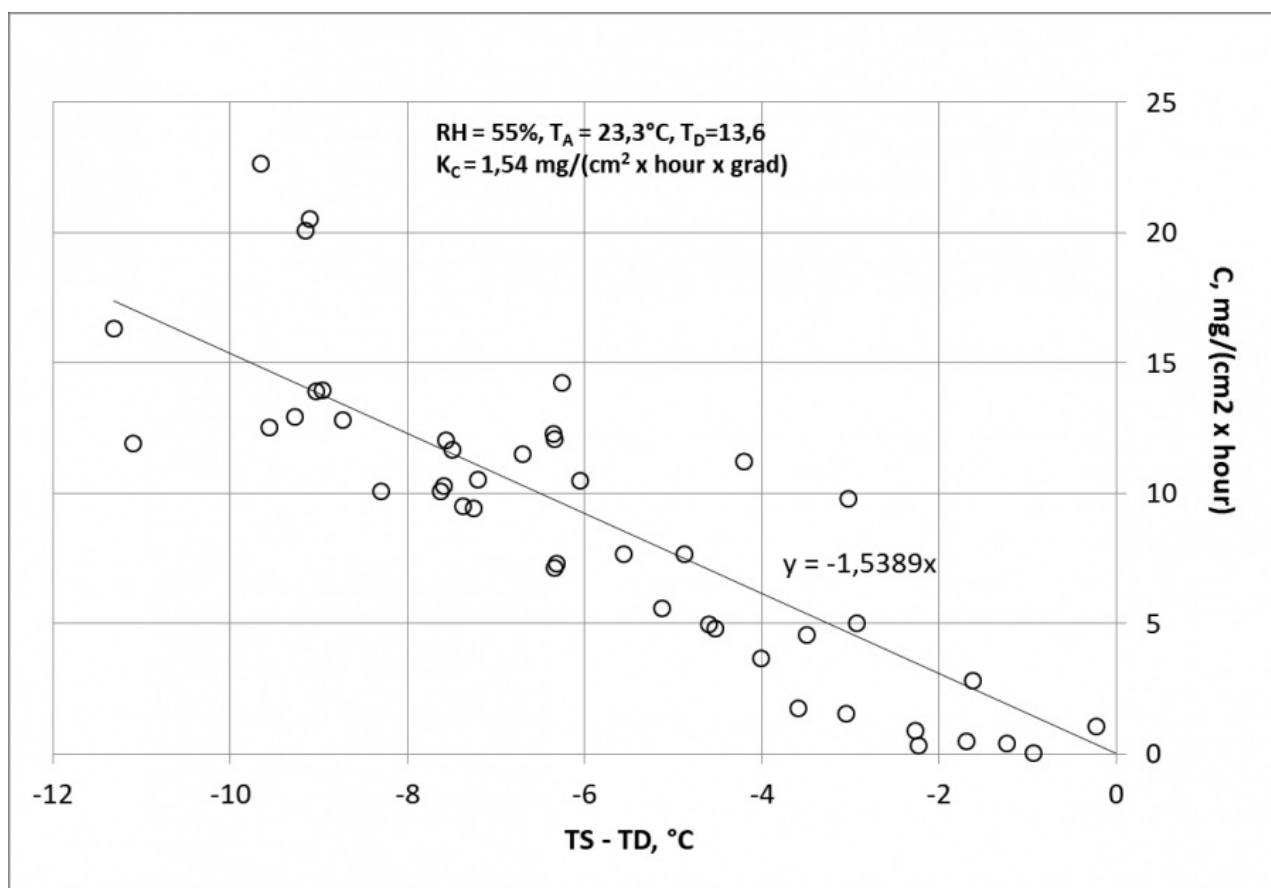


Рис. 2. Зависимость эффективности конденсации воды (C) от снижения T_S относительно T_D .

Fig. 2. The dependence of the efficiency of water condensation (C) on the reduction of T_S relative to T_D .

Из приведенных ниже диаграмм (рис. 3 A-F), включающих данные 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 $T_D > 15^\circ\text{C}$ видно, 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 $\text{mg}/(\text{cm}^2 \times \text{час} \times \text{град})$.

Более насыщенный влагой воздух имеет более высокую теплоемкость, следовательно, более сухой воздух остывает быстрее около поверхности ТЭМ, что приводит к повышению эффективности конденсации при снижении RH , что подтверждается независимыми данными (Muñoz-García et al., 2013 (Fig. 10)).

При повышении температуры до 35°C теплоемкость воды (водяных паров) снижается, и в эксперименте мы наблюдаем повышение эффективности конденсации воды.

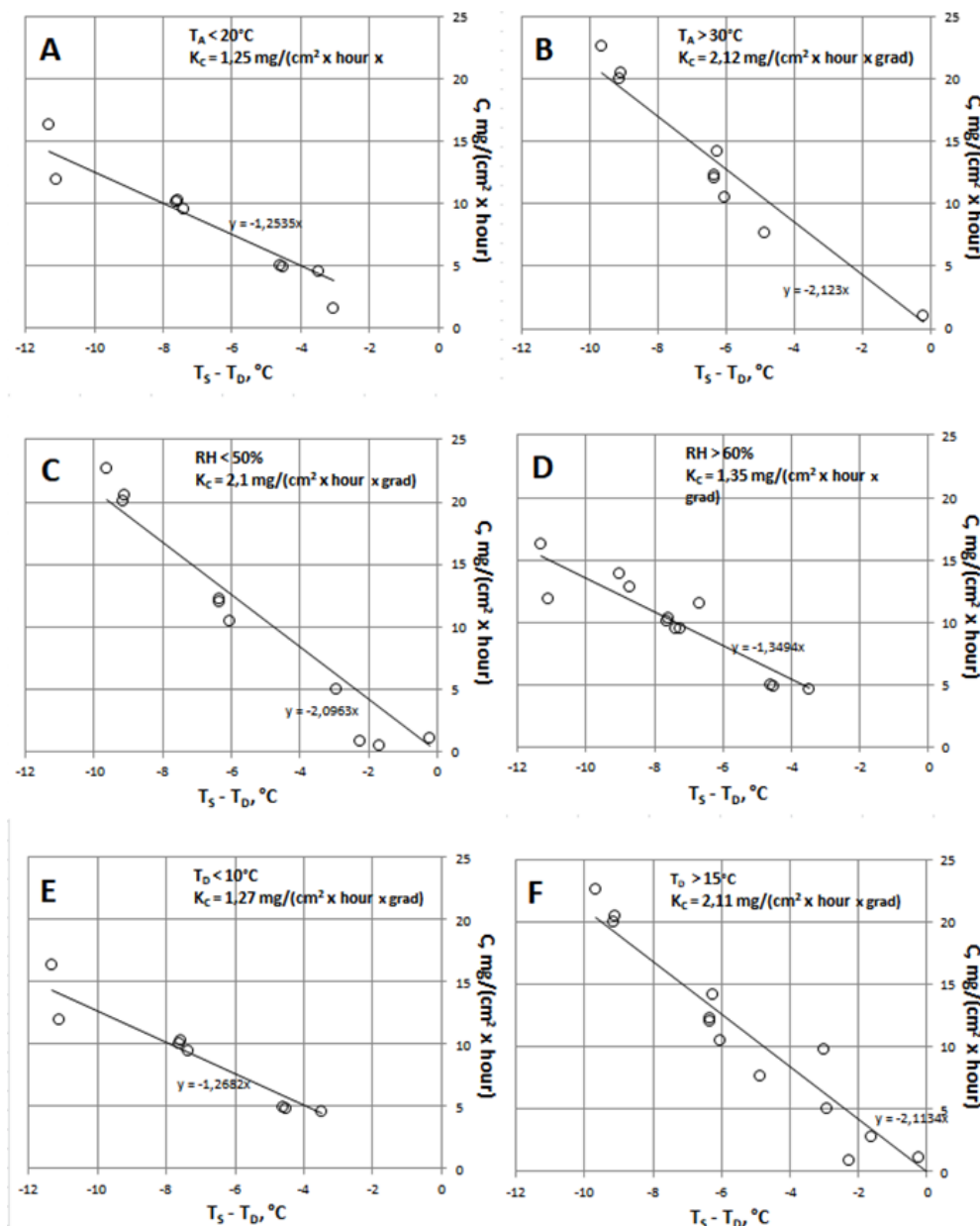


Рис. 3. Зависимость эффективности конденсации воды (C) от снижения T_S относительно T_D при $T_A < 20^{\circ}\text{C}$ (A) и $T_A > 30^{\circ}\text{C}$ (B), при $RH < 50\%$ (C) и $RH > 60\%$ (D), при $T_D < 10^{\circ}\text{C}$ (E) и $T_D > 15^{\circ}\text{C}$ (F).

Fig. 3. The dependence of the efficiency of water condensation (C) on the reduction of T_S relative to T_D at $T_A < 20^{\circ}\text{C}$ (A) and $T_A > 30^{\circ}\text{C}$ (B), at $RH < 50\%$ (C) and $RH > 60\%$ (D), at $T_D < 10^{\circ}\text{C}$ (E) and $T_D > 15^{\circ}\text{C}$ (F).

Выводы и заключение

В ходе проведенных экспериментов получены данные, позволяющие рассчитать количество росы, конденсируемой на поверхности надземной части растений.

Эффективность конденсации влаги, при отсутствии ветра, изменяется в диапазоне от 1,3 до 2,1 $\text{mg}/(\text{cm}^2 \times \text{час} \times \text{град})$, что соответствует 156...252 граммам на 1 m^2 поверхности растений, охлажденной на 1°C ниже точки росы, или 780... 1260 граммам на 1 m^2 поверхности растения, охлажденной на 5°C ниже точки росы за 12 часов (ночное время). Это равноценно ежемесячному выпадению 4,7–38,2 мм осадков, что значительно превышает среднее месячное количество осадков не только в пустынях и полупустынях, но и в засушливый период в семиаридных климатических условиях.

Количество росы снижается с ростом влажности воздуха в интервале 46...65 % и возрастает с

ростом температуры воздуха в интервале 0...31° С, вероятно, во взаимосвязи с изменением термодинамических характеристик воздуха, зависящих от влажности и температуры.

Благодарности

Исследования частично выполнены в рамках проекта РФФИ 18-44-100002 р_а.

Литература

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

Прохоров А. А. Точка росы - неизученный фактор в экологии, физиологии и интродукции растений // Hortus bot. 2015a. Т. 10. С. 4—10. URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=2801> . DOI: 10.15393/j4.art.2015.2801 .

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

Прохоров А. А. Температура поверхности растений и конденсация атмосферной влаги // Ботаника в современном мире. Труды XIV Съезда Русского ботанического общества и конференции «Ботаника в современном мире». Махачкала, 2018. Т. 3. С. 319—321.

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

Joshi V.P., Joshi V.S., Kothari H.A., Mahajan M.D., Chaudhari M.B., Sant K.D. Experimental Investigations on a Portable Fresh Water Generator Using a Thermoelectric Cooler // Energy Procedia. 2017. Т. 109. С. 161—166.

Muñoz-García M.A., Moreda G.P., Raga-Arroyo M.P., Marín-González O. Water harvesting for young trees using Peltier modules powered by photovoltaic solar energy // Comput. Electron. Agric. 2013. Т. 93. С. 60—67.

Nikolayev V.S., Beysens D., Gioda A., Milimouka I., Katiushin E., Morel J.-P. Water recovery from dew // J. Hydrol. 1996. Т. 182. № 1—4. С. 19—35.

Determination of the possible amount of dew on the surface of plants

PROKHOROV
Alexey Anatolievich

Petrozavodsk state university,
Leninskiy av., 33, Petrozavodsk, 185910, Russia
alpro@onego.ru

PYASKIN
Roman

Petrozavodsk State University,
Lenina Av., 33, Petrozavodsk, 185910, Russia
pri-tesla@mail.ru

Key words:

technology, Peltier element,
condensation, dew point

Summary:

The purpose of the work was to experimentally determine the amount of moisture that can condense on the surface of the plant when cooled below the dew point. To estimate the amount of condensed water on a surface cooled below the dew point, a unit with a thermoelectric module with an area of 9 cm² was assembled. It was established that the water condensation coefficient K_C varies in the range from 1.3 to 2.1 mg / (cm² x hour x grad) depending on the value of relative humidity and air temperature, which corresponds to 156...252 grams of dew per 1 m² of plant surface chilled 1°C below the dew point or 780...1260 grams per 1 m² of the surface of the plant, cooled 5°C below the dew point, in 12 hours (night time).

Reviewer: V. Gurtov

Is received: 20 september 2019 year

Is passed for the press: 31 october 2019 year

References

- Joshi V.P., Joshi V.S., Kothari H.A., Mahajan M.D., Chaudhari M.B., Sant K.D. Experimental Investigations on a Portable Fresh Water Generator Using a Thermoelectric Cooler // *Energy Procedia*. 2017. T. 109. C. 161—166.
- Muñoz-García M.A., Moreda G.P., Raga-Arroyo M.P., Marín-González O. Water harvesting for young trees using Peltier modules powered by photovoltaic solar energy // *Comput. Electron. Agric.* 2013. T. 93. C. 60—67.
- Nikolayev V.S., Beysens D., Gioda A., Milimouka I., Katiushin E., Morel J.-P. Water recovery from dew // *J. Hydrol.* 1996. T. 182. № 1—4. C. 19—35.
- Joshi V.P., Joshi V.S., Kothari H.A., Mahajan M.D., Chaudhari M.B., Sant K.D. Experimental Investigations on a Portable Fresh Water Generator Using a Thermoelectric Cooler, *Energy Procedia*. 2017. T. 109. P. 161—166.
- Karpun Yu. N., Konnov N. A., Kuvajtsev M. V., Prokhorov A. A. Active condensation of the atmospheric moisture as a self-irrigation mechanism for the ground-covering plants, *Hortus bot.* 2015. T. 10. P. 11—17. <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=2802> . DOI: 10.15393/j4.art.2015.2802 .
- Muñoz-García M.A., Moreda G.P., Raga-Arroyo M.P., Marín-González O. Water harvesting for young trees using Peltier modules powered by photovoltaic solar energy, *Comput. Electron. Agric.* 2013. T. 93. P. 60—67.
- Nikolayev V.S., Beysens D., Gioda A., Milimouka I., Katiushin E., Morel J, P. Water recovery from dew, *J. Hydrol.* 1996. T. 182. No. 1—4. P. 19—35.
- Prokhorov A. A. Active condensation of water by plants // *Principy èkologii*. 2013. No. 3. P. 58—61.
- Prokhorov A. A. Dewpoint - unstudied factor in ecology, physiology and plant introduction, *Hortus bot.* 2015a. T. 10. P. 4—10. URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=2801> . DOI: 10.15393/j4.art.2015.2801 .
- Prokhorov A. A. Ideal climatic conditions for condensation of atmospheric moisture on the plants' surface, *Hortus bot.* 2015b. T. 10. P. 18—24. <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=3143> . DOI: 10.15393/j4.art.2015.3143 .
- Prokhorov A. A. Surface temperature of plants and condensation of atmospheric moisture // *Botany in the modern world. Proceedings of the XIV Congress of the Russian Botanical Society and the conference "Botany in the modern world"*. Makhatchkala, 2018. T. 3. P. 319—321.

Цитирование: Прохоров А. А., Пяскин Р. И. Определение возможного количества росы на поверхности растений // Hortus bot. 2019. Т. 14, 2019, стр. 78 - 86, URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=6526>. DOI: [10.15393/j4.art.2019.6526](https://doi.org/10.15393/j4.art.2019.6526)

Cited as: Prokhorov A. A., Pyaskin R. (2019). Determination of the possible amount of dew on the surface of plants // Hortus bot. 14, 78 - 86. URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=6526>